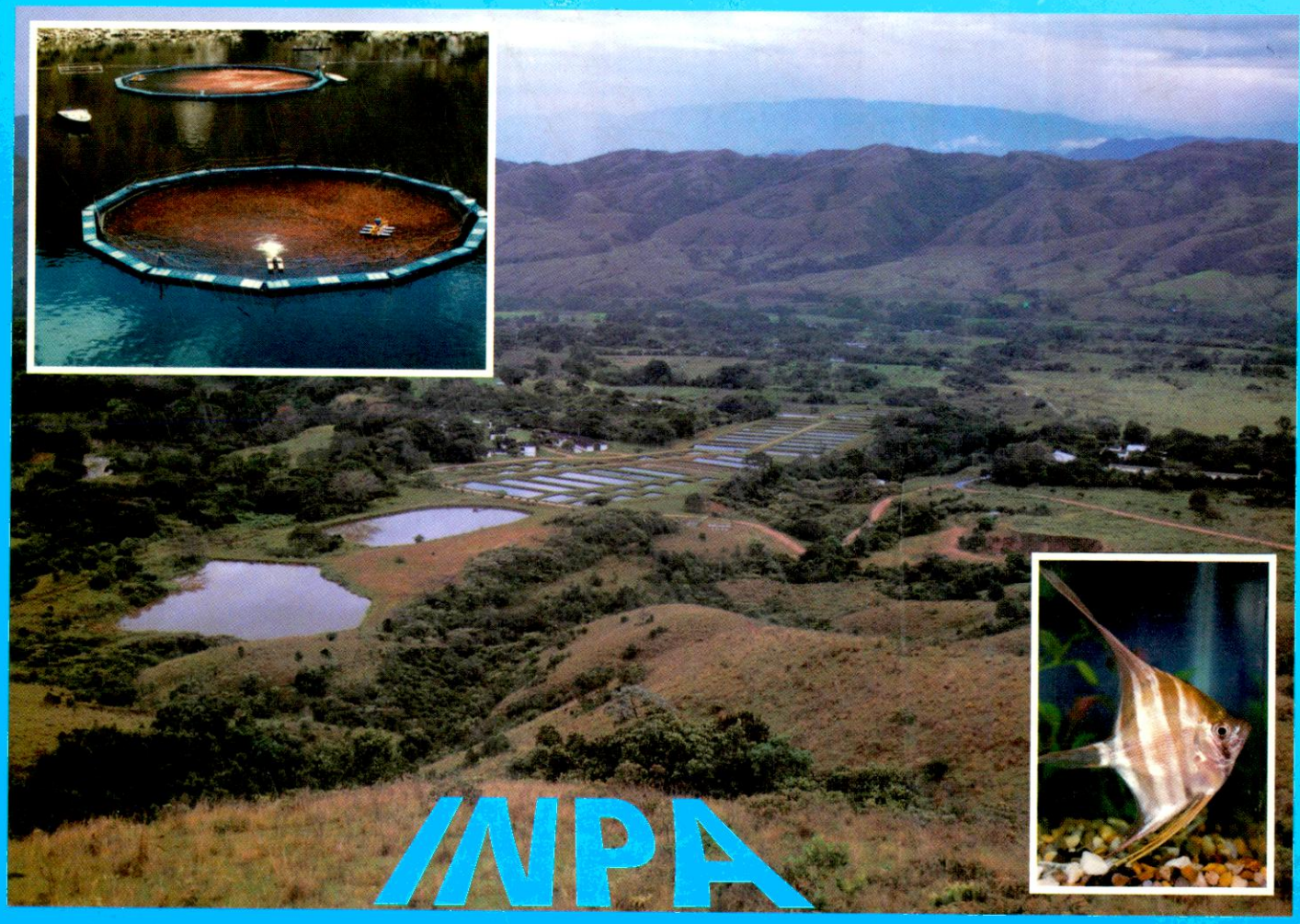
Serie Fundamentos No. 1
Segunda Edición

FUNDAMENTOS DE ACUICULTURA CONTINENTAL



EDITORES: HORACIO RODRÍGUEZ GÓMEZ
PIEDAD VICTORIA DAZA
MAURICIO CARRILLO AVILA

INSTITUTO NACIONAL DE PESCA Y ACUICULTURA
REPÚBLICA DE COLOMBIA

INSTITUTO
20684
3 cop.

Doc 20684
3 co9

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA
26 FEB. 2004

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

INSTITUTO NACIONAL DE PESCA Y ACUICULTURA

INPA

FUNDAMENTOS DE ACUICULTURA CONTINENTAL

Editores:
HORACIO RODRÍGUEZ GÓMEZ
PIEDAD VICTORIA DAZA
MAURICIO CARRILLO ÁVILA

REPÚBLICA DE COLOMBIA
Bogotá, diciembre 2001

RODRIGO VILLALBA MOSQUERA
Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

FABIO ÁVILA ARAUJO
Director General del INPA

RODRIGO RAFAEL SÁNCHEZ
Subdirector de Investigaciones

HORACIO RODRÍGUEZ GÓMEZ
Jefe División de Recursos Acuícolas

Publicación financiada y auspiciada por el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. INPA

Fotografías: Gustavo Salazar Ariza, Francisco José Díaz Guzmán, Andrés Erazo Keller, Luis Martínez Silva, Isabel Cristina Beltrán Galeano, Horacio Rodríguez Gómez, Maria Del Pilar Dorado Longas, Gustavo Polo Romero, Eduardo Anzola Escobar, Carlos Espejo, Rafael Rosado Puccini, José Ariel Rodríguez, Ricardo González Alarcón, María Claudia Merino Archila, Miguel Ángel Landinez.

Diseño e ilustraciones: HOLLMAN ECHEVERRY CUBILLOS

Portada: HOLLMAN ECHEVERRY CUBILLOS

RODRIGUEZ, H., P., VICTORIA, y M., CARRILLO (Editores), Fundamentos de Acuicultura Continental.

ISBN: 958-9356-06-0

Diseño electrónico: OSCAR TORRES, HOLLMAN ECHEVERRI, MAURICIO CARRILLO.

Impreso en Colombia por: GRAFIMPRESOS QUINTERO. Calle 25A No. 26-06, Bogotá

La autoría concerniente a los temas que se publican en esta obra, así como de los conceptos, tesis y conclusiones de cualquier índole que en ella se expresan, son responsabilidad exclusiva de los autores.

FUNDAMENTOS DE ACUICULTURA CONTINENTAL.

EDITORES

HORACIO RODRÍGUEZ GÓMEZ
PIEDAD VICTORIA DAZA
MAURICIO CARRILLO ÁVILA

AUTORES

EDUARDO ANZOLA ESCOBAR
MONICA AVILES BERNAL
CLAUDIA ESTELLA BELTRAN T.
CONSUELO BURBANO
MAURICIO CARRILLO AVILA
FRANCISCO JOSE DIAZ GUZMAN
MARIA DEL PILAR DORADO LONGAS
ANDRES ERAZO KELLER
CARLOS ESPEJO
FERNANDO GALLEGO ALARCON
ESPERANZA GONZALEZ
RICARDO GONZALEZ ALARCON
MIGUEL ANGEL LANDINEZ
LUIS MARTINEZ SILVA
MARIA CLAUDIA MERINO ARCHILA
HERMES ORLANDO MOJICA BENITEZ
GUSTAVO POLO ROMERO
HORACIO RODRIGUEZ GOMEZ
JOSE ARIEL RODRIGUEZ
RAFAEL ROSADO PUCCINI
GUSTAVO SALAZAR ARIZA
MARTHA TORRES VIRVIESCAS
ENRIQUE TORRES QUEVEDO
CARLOS USECHE LOPEZ
WALTER VASQUEZ
CONSUELO VASQUEZ DIAZ
ALBERTO VILLANEDA JIMENEZ
MARGY VILLANUEVA SOTO

I. C. A. - BAC
No. Acceso
Compra
Canje
Donación
Procedencia
Fecha. 26 FEB 2004 Costo

AGRADECIMIENTOS

Los editores quieren expresar su agradecimiento a la bióloga Rocío Ramírez, Directora del Centro de Documentación y a los profesionales del Grupo de Sistemas del INPA y en especial al ingeniero Humberto Pulido por su constante apoyo e interés para el desarrollo de este documento.

A la señora Marlén Villamizar por su labor de secretariado. Al señor Hollman Echeverry por el diseño e ilustraciones manuales y electrónicas.

A los autores de los artículos por el profesionalismo mostrado en cada uno de los temas tratados y finalmente a todos aquellos que de una u otra forma contribuyeron a la culminación de este texto.

PRESENTACIÓN

Como Director General del Instituto Nacional de Pesca y en conmemoración de sus diez años de labores me es grato y satisfactorio presentar a los interesados en la acuicultura la segunda edición del Libro Fundamentos de Acuicultura Continental, la cual se caracteriza por ser una revisión y actualización de los diferentes aspectos tratados en la versión anterior. Vale la pena resaltar que en esta edición se incluyen nuevos temas como son el mejoramiento genético, la manipulación cromosómica, la citogenética, experiencias en el cultivo de peces ornamentales, criopreservación de semen, evaluación económica y financiera de la producción de las principales especies. La decisión que tuvo el INPA para sacar esta nueva edición se fundamenta en la gran acogida tanto nacional como internacional de la primera edición que alcanzó un tiraje de 4000 ejemplares.

De acuerdo con el documento de la FAO El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2000, la producción pesquera para el año 1999 registró la cifra de 125.2 millones de toneladas y manifiesta que el aumento en 20 millones de toneladas con respecto al decenio anterior se debió principalmente a la acuicultura, ya que la producción de la pesca de captura se mantuvo relativamente estable. Para la acuicultura en ese mismo año se reportó 32.9 millones de toneladas, de las cuales 19.8 millones son de origen continental y 13.1 son marinas

Para el caso colombiano y de acuerdo con el Boletín Estadístico Pesquero del INPA la producción por acuicultura en 1999 fue de 52 213 toneladas, de las cuales 9 244 son de origen marino y 42 969 continental, llegando esta última a ser casi el doble de la producción por pesca en aguas continentales, que fue de 26 531 toneladas. Las cifras anteriores muestran claramente la importancia económica y social que está adquiriendo esta práctica de producción de recursos pesqueros y la cual el gobierno nacional está muy interesado en apoyar.

El propósito fundamental del presente libro es el de poner al alcance de los interesados en la acuicultura los aspectos más importantes de esta técnica, la cual se basa en las experiencias de destacados profesionales del sector productivo, académico y oficial vinculados a ésta actividad. Igualmente busca estimular el interés hacia la investigación y fomento de este nuevo e importante campo de la producción pesquera.

Así mismo se espera que el contenido de este texto sirva de orientación y guía tanto para los acuicultores existentes, como para aquellos que se inician en esta promisoria actividad y además pueda cumplir con uno de los objetivos por los que fue creado el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, INPA, como es el de brindar un mayor impulso y apoyo para el desarrollo de la acuicultura, en los campos de la investigación, producción y transferencia de tecnología, con miras a un mayor desarrollo, que en el futuro contribuirá a la mayor oferta de productos pesqueros, generación de empleos, aumento de las divisas y un mejor bienestar social y económico de los habitantes de nuestro país.

Finalmente quiero resaltar la labor adelantada por los profesionales de la División de Recursos Acuícolas, biólogos Horacio Rodríguez Gómez, Piedad Victoria Daza y Mauricio Carrillo Ávila, quienes lideraron con seriedad y dedicación todo el proceso hasta terminar y poder presentar con orgullo este texto que estoy seguro será de gran utilidad para el desarrollo y consolidación de la acuicultura.

Fabio Ávila Araujo
Director General, INPA

Contenido

Capítulo I.
INTRODUCCIÓN: CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA ACUICULTURA 1
Gustavo Salazar Ariza

1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA EN COLOMBIA 2
2. ESTADO ACTUAL 7
3. VENTAJAS DE LA ACUICULTURA 10
4. CLASIFICACIÓN DE LA ACUICULTURA 11
5. PRÁCTICAS DE CULTIVO 14
6. INSTALACIONES EMPLEADAS EN ACUICULTURA 14
BIBLIOGRAFÍA 18

Capítulo II.
LINEAMIENTOS ECONÓMICOS Y DE PLANEACIÓN PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS EN ACUICULTURA 19
Gustavo A. Polo Romero

INTRODUCCIÓN 19
1. LA ECONOMÍA EN LA ACUICULTURA 19
2. LA PLANEACIÓN EN LA ACUICULTURA 20
3. LOS PROYECTOS EN LA ACUICULTURA 22
4. FUNDAMENTOS DE LA PREFACTIBILIDAD PARA PROYECTOS DE ACUICULTURA 25
5. IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DEL MERCADO ACUÍCOLA 25
6. ELABORACIÓN DEL PERFIL BIOTECNOLÓGICO Y TÉCNICO 27
7. FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA PRODUCCIÓN, LAS FINANZAS Y LA ECONOMÍA DE LA ACUICULTURA 30
8. EVALUADORES ECONÓMICOS Y FINANCIEROS PRELIMINARES 40
BIBLIOGRAFÍA 42

Capítulo III.
LA CALIDAD DEL AGUA Y LA PRODUCTIVIDAD DE UN ESTANQUE EN ACUICULTURA 43
Horacio Rodríguez Gómez - Eduardo Anzola Escobar

INTRODUCCIÓN 43
1. EL RECURSO AGUA 43
2. FACTORES A CONSIDERAR EN LA ELECCIÓN DE UN CUERPO DE AGUA PARA UN PROYECTO ACUÍCOLA 44
3. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS 45
4. PARÁMETROS QUÍMICOS 49
5. CORRECTIVOS A LA CALIDAD DEL AGUA 60
6. CADENA ALIMENTICIA 66

7. EL BENTOS DE UN ESTANQUE 69
8. EFECTO DEL SUMINISTRO DE ALIMENTO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN UN ESTANQUE 70
BIBLIOGRAFÍA 72

Capítulo IV.
CONSTRUCCIÓN DE ESTANQUES 75
Hermes Orlando Mojica Benítes - Abraham Alberto Villaneda Jiménez

I. GENERALIDADES 75
2. DISEÑO DE ESTANQUES 89
3. ESTRUCTURAS DE TIERRA 92
4. MOVIMIENTO DE TIERRA 96
5. CONSTRUCCIÓN 100
6. IMPERMEABILIZACIÓN 104
7. ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS 106
8. OBRAS COMPLEMENTARIAS 122
BIBLIOGRAFÍA 12

Capítulo V.
NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN DE PECES 125
Wálter Vásquez Torres

INTRODUCCIÓN 125
1. HÁBITOS ALIMENTICIOS DE LOS PECES 125
2. ESTRUCTURA Y FUNCIÓN GENERAL DEL TRACTO DIGESTIVO 127
4. MÉTODOS DE ALIMENTACIÓN 138
BIBLIOGRAFÍA 144

Capítulo VI.
PRINCIPALES ENFERMEDADES DE LOS PECES EN CULTIVO 147
Consuelo Vásquez Díaz - Margy Villanueva Soto -Horacio Rodríguez Gómez

INTRODUCCIÓN 147
1. PREVENCIÓN DE LAS ENFERMEDADES EN PECES 148
2. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO 152
3. ENFERMEDADES PRODUCIDAS POR BIO-AGRESORES 154
4. PROBLEMAS NUTRICIONALES 173
5. CONTROL DE ENFERMEDADES 174
6. TRATAMIENTO 179
7. MEDICAMENTOS NATURALES ELABORADOS CON BASE EN PLANTAS 185
BIBLIOGRAFIA 187

Capítulo VII.
BASES FISIOLÓGICAS DE LA REPRODUCCIÓN DE PECES TROPICALES 189
Mauricio Carrillo Avila - José Ariel Rodríguez Pulido

INTRODUCCIÓN 189
1. MECANISMOS REPRODUCTIVOS DE LOS PECES 189
2. ANATOMÍA MACRO Y MICROSCÓPICA DE LAS GÓNADAS EN TELEÓSTEOS 190
3. DESARROLLO DE LOS PRODUCTOS SEXUALES 194
4. CONTROL NEUROENDOCRINO DE LA REPRODUCCIÓN 198
5. INFLUENCIA AMBIENTAL EN LA REPRODUCCIÓN 206
6. INDUCCIÓN A LA PUESTA 209
7. INDUCCIÓN HORMONAL DE LA MADURACIÓN Y PUESTA 212
BIBLIOGRAFÍA 214
ANEXO 1 216

Capítulo VIII.
CITOGENÉTICA APLICADA A PECES 219
Consuelo Burbano M.

INTRODUCCIÓN 219
1. MATERIAL GENÉTICO 219
2. CICLO CELULAR 220
3. ESTRUCTURA DE LOS CROMOSOMAS 221
4. APLICACIONES DE LOS ESTUDIOS CITOGENÉTICOS 226
5. CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS DE ESPECIACIÓN 226
6. DETERMINACIÓN SEXUAL 229
BIBLIOGRAFÍA 232

Capítulo IX.
MANIPULACIÓN CROMOSÓMICA APLICADA A LA PISCICULTURA 233
Mauricio Carrillo Ávila

INTRODUCCIÓN 233
1. GAMETOGÉNESIS 233
2. BASES GENÉTICAS 234
3. TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN LA MANIPULACIÓN GENÉTICA 235
BIBLIOGRAFÍA 242

Capítulo X.
MEJORAMIENTO GENÉTICO EN ACUICULTURA 245
Fernando Gallego A.

INTRODUCCIÓN 245
1. GENERALIDADES DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO 245
2. SISTEMAS DE MEJORAMIENTO 246

3. EFECTOS DE LA CONSANGUINIDAD 251
4. TRONCOS DE APAREAMIENTO 251
BIBLIOGRAFÍA 252

Capítulo XI.
PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA CRIOPRESERVACIÓN DE ESPERMA DE PECES 253
Esperanza González Sarmiento - Jaime Díaz Sarmiento

INTRODUCCIÓN 253
1. APLICACIONES DE LA CRIOPRESERV ACIÓN EN LA ACUICUL TURA 253
2. EL ESPERMA DE PECES 254
3. PRINCIPIOS BIOLÓGICOS DE LA CRIOPRESERVACIÓN 254
4. CRIOPROTECTORES 257
5. EVALUACIÓN SEMINAL 259
6. CONGELACIÓN 261
7. ALMACENAMIENTO 262
8. DESCONGELACIÓN 262
9. PRUEBAS DE EFECTIVIDAD 262
10. CRIOPRESERVACIÓN DE ESPERMA DE PECES EN COLOMBIA 262
BIBLIOGRAFÍA 263

Capítulo XII.
CULTIVO DE CAMARÓN DE AGUA DULCE (*Macrobrachium rosembergii*) 265
Luis E. Martínez Silva - Martha J. Torres Virviescas

1. DESCRIPCIÓN ANATÓMICA 265
2. ASPECTOS GENERALES DE SU BIOLOGÍA 265
3. DESARROLLO LARVAL 268
4. JUVENILES 272
5. CRÍA Y CULTIVO 272
6. CULTIVO EN ESTANQUES 278
7. ALGUNAS ENFERMEDADES QUE AFECTAN EL CAMARÓN DE AGUA DULCE 280
BIBLIOGRAFÍA 281

Capítulo XIII.
CULTIVO DE LAS TILAPIAS ROJA (*Oreochromis* spp.) Y PLATEADA (*Oreochromis niloticus*) 283
Carlos Espejo González - Enrique Torres Quevedo

INTRODUCCIÓN 283
1. ASPECTOS REPRODUCTIVOS 283
2. DIFERENTES FORMAS DE CULTIVO DE TILAPIA UTILIZADAS EN COLOMBIA 291
3. CULTIVO POR MEDIO DEL SISTEMA EN FASES 294
4. TIPOS DE CULTIVO 296
5. MANEJO DE LOS ESTANQUES 297

6. COSECHA Y PROCESAMIENTO 298
BIBLIOGRAFÍA 298

Capítulo XIV
ASPECTOS BÁSICOS PARA EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCOIRIS 301
Rafael Rosado Puccini - Andrés Erazo Keller

INTRODUCCIÓN 301
1. CARACTERÍSTICAS Y DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE 301
2. PRODUCCIÓN DE SEMILLA 302
3. FECUNDACIÓN ARTIFICIAL 306
4. ENGORDE 319
5. SACRIFICIO 327
BIBLIOGRAFÍA 327

Capítulo XV.
EL CULTIVO DE LA CACHAMA 329
Ricardo González Alarcón

INTRODUCCIÓN 329
1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES 329
2. Reproducción 330
3. ENGORDE 333
4. COMERCIALIZACIÓN 342
BIBLIOGRAFÍA 345

Capítulo XVI.
ALGUNAS EXPERIENCIAS DE CULTIVO DE PECES ORNAMENTALES 347
Miguel Ángel Landínez Parra

INTRODUCCIÓN 347
1. GENERALIDADES 347
2. ALGUNAS ESPECIES CULTIVADAS 348
3. CULTIVO 356
BIBLIOGRAFÍA 364

Capítulo XVII.
CULTIVO DE PECES EN JAULAS 367
Carlos Useche López - Mónica Aviles Bernal - María del Pilar Dorado Longas

INTRODUCCIÓN 367
1. ALGUNOS ASPECTOS A CONSIDERAR PARA LA SELECCIÓN DEL SITIO ..... Y UBICACIÓN DE LAS JAULAS 368
2. INFRAESTRUCTURA 369

3. CALIDAD DE SEMILLA 374
4. FASES DE MANEJO 375
5. IMPACTO AMBIENTAL 376
6. VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL CULTIVO EN JAULAS 377
BIBLIOGRAFÍA 378

Capítulo XVIII.
POLICULTIVOS Y CULTIVO DE PECES EN CORRALES 379
Carlos Arturo Useche López

INTRODUCCIÓN 379
1. BASE ECOLÓGICA DEL POLICULTIVO 379
2. CADENAS TRÓFICAS DEL ECOSISTEMA ACUÁTICO 379
3. REQUERIMIENTOS DE OXÍGENO DISUELTO 380
4. RECAMBIO DE AGUA EN ESTANQUES EN TIERRA 381
5. ESPECIES APTAS PARA EL POLICULTIVO Y EL CULTIVO EN CORRALES 382
6. EXPERIENCIAS DEL POLICULTIVO EN COLOMBIA 384
7. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE MANEJO 386
8. PREPARACIÓN DE ESTANQUE 386
9. FERTILIZACIÓN 386
10. ALIMENTACIÓN 386
11. DESARROLLO DEL CULTIVO EN CORRALES 387
BIBLIOGRAFÍA 388

Capítulo XIX.
PISCICULTURA INTEGRADA A OTRAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS 389
María Claudia Merino Archila

INTRODUCCIÓN 389
1. VENTAJAS DE LA PISCICULTURA INTEGRADA 389
2. FERTILIZANTES ORGÁNICOS 391
3. SISTEMAS INTEGRADOS CON PISCICULTURA 392
BIBLIOGRAFÍA 403

Capítulo XX.
PARÁMETROS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS PARA UN PROYECTO PISCÍCOLA RENTABLE (TRUCHA, TILAPIA ROJA Y CACHAMA) 405
Claudia Stella Beltrán Turriago - Abraham Alberto Villaneda Jiménez - Mauricio Carrillo Avila - Francisco José Díaz Guzmán - Gustavo Salazar Ariza

INTRODUCCIÓN 405
1. ASPECTOS GENERALES 405
2. PAQUETE PRODUCTIVO PARA EL CULTIVO DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*) 407
3. PAQUETE PRODUCTIVO PARA EL CULTIVO DE TILAPIA ROJA (OREOCHROMIS SPP.) 412
4. PAQUETE PRODUCTIVO PARA EL CULTIVO DE CACHAMA (*Piaractus brachypomus*) 418

Capítulo I. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA ACUICULTURA

Gustavo Salazar Ariza[1]

INTRODUCCIÓN

Conforme a la definición contenida en el volumen 86/2 del Anuario de Estadísticas de pesca en prensa de la FAO, para el año 2000, «La acuicultura está definida como el cultivo de organismos acuáticos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas. La actividad de cultivo implica la intervención del hombre en el proceso de cría para aumentar la producción en operaciones como la siembra, la alimentación, la protección de los depredadores, etc. La actividad de cultivo también presupone que los individuos o asociaciones que la ejercen son propietarios de la población bajo cultivo. Para propósitos estadísticos se admite que una determinada producción de organismos acuáticos constituye una contribución a la acuicultura, cuando éstos son cosechados por individuos o asociaciones que han sido sus propietarios durante el período de cría. Se dice, por otra parte, que una cosecha es el resultado de la actividad pesquera cuando los organismos acuáticos, en su condición de bien común, pueden ser explotados por cualquiera, con o sin la respectiva licencia.»

El origen de la acuicultura se remonta al siglo V antes de Cristo en China, de donde provienen los primeros testimonios que describen el cultivo de las carpas, tanto para fines ornamentales como alimenticios.

Los productos obtenidos con la práctica de la acuicultura, tales como crustáceos, peces, moluscos y algas, entre otros, son alimentos de alta calidad, contienen una cantidad importante de materias proteicas, son ricos en vitaminas y minerales y poseen cantidades variables de grasa, calcio, fósforo y otros elementos necesarios para la salud del hombre y su crecimiento. Los expertos en materia nutritiva son unánimes en considerar que el pescado acompañado de diversos productos vegetales constituye una alimentación equilibrada (Bard *et al.*, 1975).

Colombia cuenta con excelentes condiciones climáticas, topográficas, hidrológicas y edafológicas para desarrollar la acuicultura. Entre ellas se destaca su localización geográfica en la franja ecuatorial y por lo tanto como zona tropical; posee un régimen de temperaturas estable durante el año, existen todos los pisos térmicos (frío, medio y cálido) y altitudes que van desde los 0 hasta los 5800 msnm aproximadamente. El país es considerado en el mundo como una potencia en recursos hídricos y biodiversidad que es necesario proteger, pero también investigar y aprovechar en forma sostenible.

Marín (1992) menciona que el volumen total de las reservas de agua existentes en el país se encuentra distribuido en 40 grandes lagunas y embalses que ocupan una superficie de 65526 ha; el espejo de agua ocupado por ciénagas y otros cuerpos de agua similares se calcula en alrededor de 607504 ha, situándose el 57.5% en los departamentos de Bolívar y Magdalena. En época de invierno, la cuenca del Magdalena en las zonas media y baja puede inundar alrededor de 2'000000 de hectáreas.

La disponibilidad de terrenos aptos en las zonas costeras para el cultivo de camarón marino se ha estimado para la costa Atlántica en 20000 ha y para la costa Pacífica en 17421 ha (Rodríguez *et al.*, 1992). Al interior del país se cuenta con tres cordilleras en las que nacen y corren innumerables fuentes de agua como nacimientos, manantiales, arroyos, quebradas y ríos que desembocan en los océanos Atlántico y Pacífico, formándose zonas estuáricas y complejos cenagosos. De otra parte, estas zonas estuáricas y marinas que ocupan una buena parte del territorio nacional, también son susceptibles de aprovechamiento para la realización de investigaciones y programas de

[1] Biólogo marino, División de Acuicultura, INPA. E-mail: gsalazar@inpa.gov.co

desarrollo con diferentes especies que puedan ser involucradas a la acuicultura. Es importante destacar que a través de los ríos se vierten al océano Pacífico y al mar Caribe, los sedimentos provenientes de la erosión (capa vegetal) y contaminantes como agroquímicos, metales pesados, basuras, aguas negras y desechos industriales, entre otros, lo que conlleva a la alteración de estas zonas marinas y estuáricas, arrecifes coralinos, bahías y ensenadas con sus respectivas consecuencias.

En cuanto a la disponibilidad de recursos genéticos y diversidad de especies, Colombia ha sido declarada como poseedor de una alta biodiversidad en flora y fauna terrestre y acuática y como reserva genética a nivel mundial. Esto implica que se deben desarrollar mayores programas de conservación, investigación y aprovechamiento de nuestros recursos, muchos de los cuales se encuentran aun sin investigar.

1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA EN COLOMBIA

El origen de la acuicultura en Colombia se remonta hacia finales de la década de los años 30 cuando se introdujo al país la trucha arcoiris *Oncorhynchus mykiss* para el repoblamiento de aguas de uso público en la zona Andina, específicamente en el Lago de Tota en Boyacá, con fines de pesca deportiva. Posteriormente se introdujeron la carpa *Cyprinus carpio* y la mojarra *Oreochromis mossambicus*, con las que se adelantaron las primeras experiencias de cultivo en estanques, al disponerse de tecnología en otros países, pero con resultados no muy satisfactorios. En 1960 se realizó el primer curso sobre piscicultura auspiciado por la FAO y en 1965 se estableció un programa de piscicultura en la Universidad de Caldas, cuyo objetivo fue básicamente la generación de tecnología apropiada para la zona cafetera del país.

En 1967 se introdujo la *Tilapia rendalli,* especie herbívora, con la que se inició un programa de fomento de la piscicultura por parte de Federación Nacional de Cafeteros, incentivando la siembra del bore *Allocasia macrorhiza* alrededor de los estanques, para proveer la alimentación de este pez con las hojas de esta planta, pero debido a los bajos rendimientos y a la poca talla obtenida con esta especie se dejó de cultivar. En ése mismo año se estableció el Instituto de Piscicultura Tropical de Buga (Valle del Cauca), donde se iniciaron investigaciones con el tucunaré *Cichla ocellaris,* como especie predadora para el control de la superpoblación de la tilapia en los estanques. Adicionalmente se iniciaron estudios con especies nativas, principalmente con el bocachico *Prochilodus magdalenae*, lográndose por primera vez en el país su reproducción artificial en la Estación Piscícola de San Cristóbal (Bolívar).

En 1968 se creó el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, INDERENA, que tuvo entre sus funciones las de promover, administrar, investigar y fomentar la acuicultura, actividad que realizó efectivamente hasta finales de 1991 cuando inició sus labores el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, INPA.

En el año de 1972 se inició el proyecto INDERENA-FAO para el desarrollo de la pesca continental, cuyos objetivos se orientaron principalmente hacia el estudio y evaluación del potencial pesquero, la biología de los peces de mayor interés comercial y la identificación y evaluación de las especies nativas que presentaran mejores características para su incorporación a la acuicultura, además de contribuir con infraestructura y capacitación del personal vinculado al proyecto.

En 1971 y 1974 se realizaron el primero y segundo «Seminario Nacional de Acuicultura», respectivamente. Allí se analizaron temas relacionados con el tipo de especies que se deberían estudiar, ya fueran nativas, exóticas o transplantadas de una cuenca a otra. Estos seminarios fueron fundamentales para el intercambio de experiencias y conocimientos entre los investigadores y promotores de la acuicultura en el país. Se discutieron las políticas y estrategias para el desarrollo de la actividad, detectándose las necesidades de investigación con especies nativas como el bocachico *Prochilodus magdalenae*, la dorada *Brycon moorei* y la sabaleta *Brycon henni*, camarones marinos de la familia Penaeidae y los camarones de agua dulce del género *Macrobrachium*, entre otros.

A mediados de la década del setenta se estableció y se puso en marcha el Programa de Desarrollo Rural Integrado (DRI), con un componente de fomento de la acuicultura rural que tuvo logros importantes en los programas dirigidos al pequeño campesino.

En 1976 se inició el proyecto INDERENA-AID (Agencia Interamericana para el Desarrollo) con el objeto de sentar unas bases sólidas para el desarrollo de la acuicultura. Como resultado de este proyecto se construyeron las estaciones del INDERENA de Repelón (Atlántico) en el Bajo Magdalena y la de Gigante (Huila) en el Alto Magdalena y se obtuvo la asistencia de expertos internacionales, quienes efectuaron importantes aportes en cuanto a la transmisión de conocimientos y experiencias.

En el año de 1979 se introdujo al país el camarón gigante de Malasia *Macrobrachium rossembergii* y la tilapia nilótica *Oreochromis niloticus*. Esta última especie tuvo gran acogida, se difundió ampliamente y se constituyó en la base de la producción de aguas cálidas a nivel de pequeño, mediano y gran productor a mediados y finales de la década del ochenta. En la ciudad de Cali se efectuó el Tercer Seminario de Acuicultura organizado por la Universidad del Valle, en donde se presentaron trabajos de investigación y fomento con especies nativas básicamente. A finales de esta década se contó con la presencia de una misión técnica de la China Nacionalista, proveniente de Taiwan, quienes investigaron especies de camarones del Atlántico en aspectos de reproducción y larvicultura, logrando la reproducción de cinco especies de camarón marino que fueron: *Penaeus notialis, P. subtilis, P. brasiliensis, P. schmitii* y *Xiphopenaeus kroyeri* y tres especies de camarón de agua dulce, *Macrobrachium carcinus* y *M. acanthurus,* nativos y *M. rossembergii,* exótico; además se transfirieron las tecnologías desarrolladas para el cultivo de los camarones.

A comienzos de la década de los ochenta se consolidó el programa de desarrollo rural DRI como la principal estrategia para ejecutar el Plan de Alimentación y Nutrición, PAN. Además se establecieron programas de investigación y docencia en las universidades del Valle, Jorge Tadeo Lozano, Nacional, Córdoba, Nariño y de Caldas. Por esta misma época se logró la reproducción inducida de las cachamas blanca y negra, *Piaractus brachypomus* y *Colossoma macropomum*, en la Estación Piscícola de la Terraza (Meta), obteniéndose alevinos e iniciándose programas de desarrollo con esta especie. Este adelanto fue trascendental en el país para el desarrollo de la acuicultura, ya que se inició la producción de alevinos para cultivo con especies nativas, en este caso las cachamas, que han demostrado un gran potencial para la acuicultura por sus características de rápido crecimiento, ausencia de reproducción en los estanques de cultivo y régimen alimenticio omnívoro, que les permite aceptar gran cantidad de alimentos de diferente origen.

Un evento de gran trascendencia para el desarrollo de la acuicultura en esa época lo constituyó la incorporación del cultivo de camarón marino al Plan de Fomento a las Exportaciones (1984-1990), formulado por PROEXPO. Por intermedio de él se destinaron los recursos financieros necesarios para la promoción del cultivo de camarón y se apoyó la realización de estudios científicos y tecnológicos.

En 1985 el INDERENA y COLCIENCIAS estructuraron el Programa Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura, bajo los lineamientos y como componente integral del Plan Nacional de Investigaciones Pesqueras, PLANIPES. Este plan contempló una serie de actividades que permitieron orientar y aprovechar mejor los recursos en investigación y fomento, debido a la necesidad de encausar las experiencias obtenidas, así como agrupar las diferentes fuerzas existentes en torno al desarrollo de la acuicultura.

Para la formulación de este programa se tuvo como base la evaluación del conocimiento a nivel de especie, efectuado por las distintas entidades ejecutoras de las actividades de investigación del país, con el objeto de orientar y poner en marcha las diferentes labores de investigación, capacitación y fomento, en función del desarrollo acuícola tanto a nivel artesanal como industrial.

La Red Nacional de Acuicultura tuvo su origen en este programa y sus objetivos fueron los de coordinar y promover los procesos de investigación, capacitación y extensión de la actividad. Se realizaron en un periodo de cuatro años reuniones nacionales anuales en diferentes lugares y con la participación de todos los actores de la acuicultura nacional, que permitieron un mayor análisis y difusión de los conocimientos y experiencias logradas y la conformación de diferentes grupos de trabajo que tuvieran que ver con el desarrollo de la acuicultura, donde se dio espacio para el intercambio de información y de experiencias.

En 1988 se estableció el Proyecto Integrado para el Desarrollo de la Acuicultura en Colombia, patrocinado por COLCIENCIAS y el CIID (Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo del Canadá) que tuvo como

ejecutor al INDERENA. Se realizó en la Estación Piscícola del alto Magdalena, Gigante (Huila) y su objetivo fue el de incrementar los rendimientos por unidad de área mediante la práctica de policultivos de: cachama blanca *Piaractus brachypomus*, mojarra plateada *Oreochromis niloticus*, carpa *Cyprinus carpio* y camarón de agua dulce, *M. rossembergii*. Igualmente se hicieron trabajos en la post-producción del pescado y se obtuvo información de los rendimientos en filetes, análisis bromatológicos, procesos para la elaboración de albóndigas y hamburguesas y la curtiembre de la piel de los peces de cultivo.

A partir de 1989 el Gobierno Nacional descentralizó la asistencia técnica con la puesta en marcha del Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (PRONATTA), mecanismo que contó con la creación de las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria, UMATA, quienes a partir de ese momento quedaron encargadas de prestar la asistencia técnica a los productores.

En este mismo año se logró la reproducción inducida del bagre rayado *Pseudoplatystoma fasciatum*, en la Estación Piscícola de San Silvestre (Barrancabermeja), siendo un evento de gran significado por tratarse de una especie nativa de alto valor comercial, que en los últimos años ha tenido una reducción de su talla de captura y población por la pesca excesiva, problemas de contaminación y alteración de su nicho ecológico, entre otros factores.

Diferentes instituciones han contribuido al fortalecimiento de la investigación y desarrollo de la acuicultura en estos años, entre las cuales cabe destacar las acciones adelantadas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, INDERENA como ente rector, hoy INPA; SENA, COLCIENCIAS, Federación Nacional de Cafeteros, INCORA, Fondo DRI, Plan Nacional de Rehabilitación, Red de Solidaridad, PLANTE, Secretarías de Agricultura Departamentales, Corporaciones Regionales y Universidades como las de Caldas, Jorge Tadeo Lozano, Córdoba, Magdalena, Nacional, Nariño, UDCA, Unillanos, Surcolombiana, Antioquia, Cauca, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y Tecnológico de Antioquia, entre otros. A nivel internacional se ha tenido la participación de organismos de apoyo como la AID, FAO, CIID, JICA y KOICA entre otros, los cuales han desempeñado un papel importante en aspectos como apoyo a los planes y programas de investigación y fomento, capacitación de funcionarios del estado y particulares, dotación de equipos, establecimiento de infraestructura, programas de transferencia de tecnología y elaboración de documentos técnicos, entre los aportes más importantes que han dado al país.

En 1991, como respuesta a las necesidades del subsector, inició labores el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura –INPA– creado por la Ley 13/90. Con esta ley se le proporcionó un mayor impulso y fortaleza a la acuicultura, puesto que se le otorgó mayor autonomía al subsector pesquero y acuícola, quedando a su cargo la administración, investigación y el fomento de los recursos pesqueros y de la acuicultura, lo que ha venido cumpliendo hasta la fecha.

El INPA se rige por el Decreto Reglamentario 2256 de octubre de 1991, en donde se contempla todo el nuevo marco jurídico del Subsector Pesquero y Acuícola Colombiano, al que también se integró el Decreto 501 de 1989 que reorganizó el sector agropecuario y creó al interior del Ministerio de Agricultura, la Subdirección de Producción Pesquera que contó con tres Divisiones (Acuicultura, Pesca Artesanal y Pesca Industrial) y fue la responsable de fijar las políticas a nivel nacional en materia de pesca y acuicultura. En la actualidad el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural fue reestructurado y la pesca y la acuicultura es manejada a través de otras dependencias.

El INPA es el ejecutor de la política nacional y por lo tanto en acuicultura le corresponde realizar las actividades de investigación, capacitación, transferencia de tecnología y administración. El INPA es una entidad de cobertura nacional, pero por las limitaciones de presupuesto y de personal, ha tenido que delegar funciones en algunas Corporaciones Autónomas Regionales.

Las actividades iniciales del INPA en acuicultura se centraron en la realización de programas de investigación y fomento, tanto en aguas dulces como estuarinas, apoyadas por los funcionarios de las regionales, estaciones piscícolas y oficinas, en donde se dio respuesta a las necesidades de los productores, comunidades y al subsector. Algunos programas de destacar fueron los realizados con comunidades de pescadores y comunidades negras en las costas Atlántica y Pacífica con peces y camarones, igualmente a nivel continental con comunidades de indígenas, pequeños productores y mujeres.

En 1996, ante la necesidad de contar con dependencias independientes y más fortalecidas que se encargaran de realizar programas de investigación, capacitación, transferencia de tecnología y fomento de la Acuicultura en el

país, ante la creciente demanda del subsector fue reestructurado el INPA y se crearon las Divisiones de Recursos Acuícolas (investigación) y de Acuicultura (capacitación y transferencia de tecnología). Durante este periodo se lograron importantes avances y experiencias en materia de trabajo con comunidades (social, técnico y empresarial), en donde se logró desarrollar una metodología y herramientas para el trabajo con comunidades pesqueras, el cual quedó registrado en libro que editó el INPA.

La coordinación con otras entidades para la realización de programas de investigación y desarrollo a través de convenios se ha incrementado y se han unificado esfuerzos ante la disminución de los recursos del gobierno nacional, tal es el caso de Gobernaciones, Municipios, PRONATTA, Programa Mujer, PROAGRO, PLANTE, INPEC, COLCIENCIAS, INVEMAR, ACCI, CAR's, Ministerios y Universidades, entre otros. Igualmente se han logrado afianzar las relaciones con el sector productivo, como pescadores artesanales, pequeños productores rurales, asociaciones y gremios.

En los últimos dos años (2000 - 2001) en el marco de la política nacional de competitividad y productividad para promover las exportaciones, el INPA se ha involucrado y hace parte del programa nacional de CADENAS PRODUCTIVAS que viene impulsando el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y el Ministerio de Comercio Exterior, con la participación de los diferentes gremios y de las entidades que tienen que ver con el sector. El INPA hace parte de los comités de apoyo y seguimiento de las Cadenas Productivas de Piscicultura (tilapia, cachama y trucha) y de Camarón de Cultivo, en lo que a acuicultura se refiere.

Debido al crecimiento de la acuicultura se han creado en los últimos años algunas asociaciones que tienen como finalidad la interlocución ante el gobierno nacional y la defensa y el fortalecimiento de los intereses de sus afiliados y de la actividad. Algunas de estas asociaciones son de carácter regional y nacional. La principal organización gremial es la Asociación Nacional de Acuicultores ACUANAL, que agrupa en la actualidad a los productores de camarón marino y como iniciativa de este gremio se creó la Corporación Centro de Investigación de la Acuicultura de Colombia - CENIACUA, como una entidad de carácter científico y tecnológico, sin ánimo de lucro, con el objeto de desarrollar y ejecutar actividades de investigación a favor del sector acuícola de Colombia, sobre bases fundamentadas en la generación del conocimiento científico y tecnológico aplicado.

CENIACUA es una Corporación de participación mixta regida bajo el derecho privado, que hace parte del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, a través de su vinculación al Programa Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar y cuenta con la participación activa de organismos gubernamentales, entre los que se destacan el Departamento Nacional de Planeación, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Ministerio del Medio Ambiente, COLCIENCIAS, y el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura INPA, para la cofinanciación y coejecución del Programa de investigación y desarrollo tecnológico en acuicultura a su cargo.

Sus acciones se orientan a la implementación de proyectos de investigación tendientes al mejoramiento de los niveles de productividad y calidad del producto nacional y desarrolla actividades conducentes a satisfacer las necesidades en materia de capacitación, adiestramiento, divulgación y servicios de apoyo especializados, requeridos para el sector acuicultor colombiano para su desarrollo. Los Programas de investigación que ejecuta en la actualidad son:

- Programa de innovación, desarrollo tecnológico y científico para la selección y mejoramiento genético en ciclo cerrado de camarones peneidos producidos en Colombia.

- Programa de Bioseguridad para la defensa y aseguramiento de la producción y las exportaciones de la camaricultura".

- Estudio de la Apoptosis y la expresión de las proteínas de choque térmico en la infección del *Litopenaeus vannamei* por el virus de la mancha blanca".

- Evaluación del crecimiento de juveniles del Pargo Palmero, *Lutjanus analis* y del mero guasa, *Epinephelus itajara*, cultivados experimentalmente en jaulas en una granja camaronera y en un ambiente marino: Contribución para la diversificación de la acuicultura marina en Colombia".

- Programa sectorial para la recuperación de la producción y el incremento de la productividad de la cadena del camarón del cultivo en Colombia".

De otra parte y como respuesta al apoyo del gobierno nacional a la acuicultura, a través de la política de Cadenas Productivas, se conformó la Federación Nacional de Acuicultores FEDEACUA, en el año 2000, la cual congrega a las representaciones más importantes de los gremios de productores del país, entre ellas ASOACUICOLA (Antioquia), ACUIORIENTE (Llanos Orientales), ACUAOCCIDENTE (Occidente Colombiano) y APISHUILA (Huila), entre otros.

La participación de diferentes Universidades estatales y privadas en la formación de recursos humanos para el desarrollo de la acuicultura se ha incrementado y está dada básicamente por la orientación de los programas docentes de las facultades que tienen alguna afinidad con la actividad (Biología, Biología Marina, Ingeniería Pesquera, Veterinaria y Zootecnia y especializaciones y programas de posgrado en acuicultura y áreas afines) y la realización de programas de investigación en forma independiente y conjunta. Algunos programas de educación en acuicultura a nivel de tecnología han sido elevados a ciclo profesional como es el caso de la Universidad de Córdova con la carrera de acuicultura.

Los esfuerzos de la investigación dirigidos al mejoramiento de las tecnologías de cultivo, incorporación de nuevas especies (especies nativas y exóticas) y solución de algunas limitantes de producción para el desarrollo de la acuicultura en el país, se han centrado principalmente a la búsqueda de soluciones en las siguientes áreas del conocimiento:

- Reproducción de especies nativas: los trabajos realizados han incluido aspectos tales como adaptación al cautiverio, obtención y selección de reproductores, reproducción artificial, desove y fertilización, incubación de huevos, cría de larvas y levante de alevinos con diferentes especies de peces como el yaque, *Leiarius marmoratus;* capaz, *Pimelodus groskopffi;* pejesapo, *Pseudopimelodus buffonis;* blanquillo, *Sorubim lima;* mapurito, *Callophysus macropterus;* capitán de la sabana, *Eremophylus mutissi;* bocachico, *Prochilodus magdalenae;* coporo, *Prochilodus mariae;* yamú, *Brycon siebenthalae*; sapuara, *Semaprochilodus laticeps;* coroncoro negro, *Pterygoplhichtis undecimalis*; coroncoro mono, *Hemiancistrus wilsoni;* pirarucú, *Arapaima gigas;* arawana, *Osteoglossum bicirrosum*; dorada, *Brycon moorei;* sabaleta, *Brycon henni;* peces ornamentales como el óscar (*Astronotus ocellatus)*; tigrito, *Pimelodus pictus;* rojito *Megalopholus swiglesi;* peces marinos como el pargo lunarejo, *Lutjanus guttatus;* pargo palmero, *Lutjanus analis;* róbalo, *Centropomus undecimalis.*

- Nutrición de peces: se han realizado trabajos tendientes a identificar y establecer la alimentación natural y requerimientos nutricionales del bocachico, yamú y algunas especies de bagres en su fase larvaria, y de tilapia.

- Patología: las investigaciones en este campo se han dirigido hacia la detección de agentes etiológicos que afectan a las especies de cultivo en sus diferentes fases y los métodos más apropiados de control y prevención de las enfermedades, tanto en peces en sus diferentes etapas de desarrollo, como en camarón marino, en estos últimos para controlar los problemas del síndrome del taura, mancha blanca y cabeza amarilla.

- Mejoramiento genético: se han realizado investigaciones encaminadas a mejorar los reproductores de especies como las tilapias roja (*Oreochromis* spp.) y plateada (*Oreochromis niloticus*), con el objeto de obtener producciones de mayores registros y generaciones mejoradas y uniformes. Igualmente tratar de establecer una metodología de trabajo para que sea utilizada para otras especies. También se ha trabajado con los camarones marinos para mejorar la resistencia de la especie a las diferentes enfermedades que se han presentado en el país.

- Economía Acuícola: estos estudios han estado encaminados hacia la determinación de los factores sociales, económicos, financieros y de comercialización, que inciden en el desarrollo de la acuicultura. Además se han realizado análisis económicos y modelos de producción teóricos para la producción de aquellas especies que ofrecen una mayor rentabilidad en nuestro medio, a diferentes niveles de producción.

- Repoblamiento de aguas de uso público: utilizando como base esta actividad de recuperación de la población pesquera en áreas naturales y aprovechamiento de cuerpos de agua artificiales en donde interviene la acuicultura y la investigación pesquera, se vienen analizando programas conjuntos de repoblamiento e investigación para determinar la mejor modalidad de recuperación de las poblaciones de peces del medio natural e incrementar las poblaciones de peces de las represas y embalses, mediante la aplicación de vedas, resiembra de alevinos provenientes del medio natural y/o siembra de alevinos provenientes de estaciones piscícolas, que esté acompañado de la correspondiente evaluación biológico-pesquera de parámetros como la mortalidad,

crecimiento, incremento en las capturas, recuperación del potencial y los beneficios socio-económicos que representen estas acciones.

- Técnicas de manejo para lograr mejores rendimientos: se vienen adelantando trabajos dirigidos a optimizar la tecnología mediante la integración de los resultados de los estudios en nutrición, reproducción, densidad de siembras, calidad de aguas, métodos de abonamiento, sistemas de manejo y control, aireación, oxigenación, automatización y enfermedades, entre otros, con el fin de lograr, con las diferentes especies aptas para la acuicultura, mejores rendimientos en menos tiempo y a más bajo costo.

- Introducción de nuevas especies: a comienzos de la década del 90 se iniciaron los trámites por parte de la empresa AQUAFOOD S.A., para realizar la introducción al país del salmón del Pacífico o salmón coho, *Oncorhynchus kisutch,* con fines de cultivo y comercialización, en sus instalaciones del municipio de Gutiérrez, Cundinamarca. Se obtuvieron resultados de adaptación, crecimiento y comercialización, sin embargo la empresa por diferentes razones cerró sus instalaciones y no se concluyeron los estudios de impacto ambiental ni se obtuvo el respectivo permiso ambiental. Se considera una especie con alto potencial de cultivo, mayores beneficios para los productores y comercio nacional e internacional.

- La langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus,* fue introducida al país a finales de la década de los 90 con el objeto de realizar los estudios de impacto ambiental y determinar la factibilidad de su cultivo.

2. ESTADO ACTUAL

La acuicultura en Colombia ha tenido un crecimiento vertiginoso en los últimos años y su producción se ha incrementado de 1256 toneladas en 1986 a 51376 toneladas en 1999 (INPA, 1999). En este año, la producción del subsector pesquero y acuícola presentó un crecimiento del 2% respecto a 1998 y aportaron el 4.05% al sector agropecuario y el 0.57% a la economía nacional; el promedio del aporte durante la última década es del 3.56% al sector agropecuario y del 0.51% a la economía nacional (Villaneda y Beltrán, 2001).

En los últimos 10 años el consumo percápita de pescados y mariscos se ha incrementado en la población colombiana aumentando de 3.5 kg a 6.5 kg, aportando la acuicultura el 19%. Existe ya un mercado creciente de los productos de la acuicultura, tanto a nivel nacional como internacional.

La acuicultura se basa actualmente en el cultivo de peces de agua dulce, crustáceos y moluscos de origen marino:

Entre las especies de agua dulce se destacan la tilapia roja (*Oreochromis spp*), cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), cachama negra (*Colossoma macropomum*), trucha arcoiris *(Oncorhynchus mykiss*), bocachico (*Prochilodus magdalenae*), mojarra o tilapia plateada (*Oreochromis niloticus*), carpa común y carpa espejo (*Cyprinus carpio* y *Cyprinus carpio var. specularis*), el yamú, (*Brycon siebenthalae*), la dorada (*Brycon moorei*) y la producción de semilla con proyección al cultivo de algunos bagres como el rayado (*Pseudoplatystoma fasciatum),* el yaque (*Leiarius marmoratus),* el blanquillo (*Sorubim lima*), y el capaz (*Pimelodus groskopfi).*

En maricultura, el camarón *Litopenaeus vannamei,* es la especie que posee la mayor producción, tanto en la costa Atlántica como en la costa Pacífica, aunque también se cultiva en menor escala el *Litopenaeus stylirostris.* En cuanto a producción de moluscos, en 1998 se dio inicio a la validación y ajuste de la tecnología cubana para el cultivo de la ostra de mangle (*Crassostrea rhizophorae)* en el Golfo de Morrosquillo, costa Atlántica, contándose ya con una tecnología a disposición del sector productor. En peces marinos se han realizado ensayos experimentales de cultivo del sábalo (*Tarpon atlánticus)* en estanques a baja escala y se han iniciado investigaciones sobre la biología, aspectos reproductivos y experiencias de cultivo del róbalo (*Centropomus undecimalis),* el pargo rojo del Caribe (*Lutjanus analis)* y el pargo lunarejo del Pacífico *(Lutjanus guttatus),* con el fin de incorporarlos a la acuicultura, así mismo el mero guasa (*Epinephelus itajara).*

Se han llevado a cabo otras experiencias para involucrar a la acuicultura especies nativas de clima frío como el capitán de la sabana (*Eremophylus mutissi),* sin mucho éxito y además se dio inicio al cultivo experimental del

salmón coho o del Pacífico (*Oncorhynchus kisutch)*, para integrar esta especie al desarrollo de la acuicultura de clima frío. En clima cálido se han adelantado trabajos de investigación con el capaz (*Pimelodus groskopfii*) y el coporo (*Prochilodus mariae*).

Anualmente se continúan realizando actividades de repoblamiento en cuerpos de agua de uso público en la costa Atlántica con lisas y lebranches (*Mugil incilis* y *Mugil liza)*, recolectados en caños y transplantados a lagunas, ciénagas y embalses del bajo Magdalena. En otras zonas del país se adelantan actividades de repoblamiento con el bocachico (*Prochilodus magdalenae)* en la cuenca del Magdalena; la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y la cachama negra (*Colossoma macropomum*) en la cuenca del Orinoco.

Es importante destacar que el recurso pesquero en ríos y ciénagas viene en constante decrecimiento año tras año por problemas de sobrepesca, contaminación, destrucción del hábitat y nichos ecológicos que afectan el manejo de unas pesquerías sostenibles, a pesar de existir suficiente legislación sobre el tema que no es cumplida en su totalidad por los diferentes actores que tienen que ver con el subsector ambiental y pesquero. Debido a estas razones en los próximos años la acuicultura tenderá a ocupar un renglón importante en la producción pesquera nacional.

La producción aportada por la acuicultura al subsector en 1999 fue de 51376 toneladas, superando a la producción de la pesca en aguas continentales, que fue de 26531 toneladas. Esta tendencia se mantiene en forma general desde la década de los años 90, tal como se aprecia en la tabla 1.

TABLA 1. Producción pesquera en aguas continentales de colombia (1991 – 1999) en toneladas

Especies	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Bocachico	14666	24870	12834	8832	5698	5501	3729	6426	8666
Bagre, nicuro	630	1062	473	6414	8718	1392	2647	9215	10544
Pirahiba, pacora, doncella y otros	4135	7827	17231	19737	9108	16165	14232	6030	7320
TOTAL	**19431**	**33759**	**30538**	**34983**	**23524**	**23058**	**20609**	**21672**	**26531**

Fuente: Estadísticas NPA, 1999

Con relación a las especies que están contribuyendo en mayor proporción al volumen total de la acuicultura en el país se observa que la tilapia roja, la cachama y la trucha arcoiris en aguas continentales aumentaron su producción (Tabla 2). De otro lado, el incremento en el consumo percápita de pescado pasó de un promedio de 3.5 kg en años anteriores a 6.5 kg en la actualidad.

Las capitales de departamento y las principales ciudades del país, son los lugares en donde se comercializan la mayor parte de los productos provenientes de la acuicultura, estas son: Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla, Bucaramanga, Villavicencio, Neiva y Pasto, entre otros. Los principales mercados de exportación son Estados Unidos, Europa y Japón.

La producción de camarones marinos presentó problemas a comienzos y mediados de la década de los 90 con la aparición del síndrome del Taura y en los últimos años con la presencia de patologías como la mancha blanca y la cabeza amarilla que influyeron notablemente en los registros de producción. Estos problemas se han atendido en forma oportuna, Colombia ha estado a la vanguardia de esta problemática en la región, se han superado estos inconvenientes y se espera un gran repunte en la producción para los próximos años por el aumento del área en espejo de agua, mejores tecnologías de cultivo, semilla mejorada, apoyo del gobierno nacional y la decisión de los productores y gremios en continuar con el desarrollo de la actividad.

A pesar de las circunstancias que aquejan al país en los últimos años, la acuicultura sigue siendo una actividad en continuo crecimiento, lo cual se ve reflejado en los incrementos de la producción, apertura de nuevos proyectos de

TABLA 2. Producción de la acuicultura en Colombia (1991 – 1999)

Especies	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Bocachico	0	0	0	0	0	2.5	318	1202	1311
Cachama blanca	120	2100	3500	4020	3181	6154	12131	12217	12217
Cachama negra	0	0	0	0	0	0	521	409	445
Carpa	0	0	0	99	3	83	285	794	866
Camarón	6717	6302	7327	8944	8091	5221	6907	7466	9227
Ostras	0	0	0	0	0	10	15	15	16
Otros peces	80	50	60	0	0	0	92	120	131
Tilapia	3040	11050	4222	2944	1852	430	1558	2963	3230
Tilapia roja	0	0	6856	8140	14204	13594	14554	15240	16612
Trucha	1200	1300	2028	1495	9297	4506	7822	6481	7065
Yamú	0	0	0	0	0	0	0	234	256
TOTAL	**11037**	**20802**	**23993**	**25642**	**36628**	**30000**	**44203**	**47141**	**51376**

Fuente: Estadísticas INPA (1999)

pequeña, mediana y gran escala, mayor consumo de los productos de la acuicultura, empleo de modernas tecnologías de producción, personal mas capacitado, sistemas de aireación, utilización de oxígeno líquido, recambios de agua y cultivos de peces en jaulas entre otros, que permiten el manejo de altas densidades de siembra y por tanto la obtención de mayores producciones por unidad de área.

Para el apoyo de la industria acuícola, continúan creciendo y mejorando las diferentes empresas productoras de alimento concentrado para peces y crustáceos, quienes están fabricando alimentos específicos para cada una de estas especies y además para las diferentes etapas de cultivo. Estos esfuerzos han sido benéficos, pero el alto costo de la materia prima y los impuestos entre otros, han ocasionado que los costos de producción se hayan elevado considerablemente, por la alta incidencia del alimento concentrado en los costos de producción y por esto algunos productores han optado por fabricar su propio alimento concentrado, con el fin de disminuir los costos de producción, ya que el precio del producto final ha permanecido relativamente estable en los últimos años.

Existen otras empresas especializadas en la provisión de equipos nacionales e importados, tecnología, asesoría, insumos y semilla entre otros para los productores, lo cual ha ido mejorando cada día. Para el cultivo de trucha se continua con la importación de ovas procedentes de EEUU y Canadá.

En cuanto a las instalaciones que se utilizan actualmente para la acuicultura, en el caso del cultivo de truchas, se utilizan básicamente estanques de cemento o en tierra y recubiertos con geomembrana de PVC que ha dado buenos resultados en los últimos años y se han disminuido los costos o el cultivo en jaulas flotantes que se ha incrementado en lagunas como la Cocha (Nariño) y el lago de Tota en Boyaca. Para las especies de clima cálido se están empleando estanques en tierra con mayores recambios de agua, sistemas de aireación mayor profundidad y la utilización de jaulas flotantes de alto y bajo volumen y altas densidades en embalses, principalmente en Betania (Huila), Prado (Tolima) y Guájaro (Atlántico). Esta tecnología es modelo en Latinoamérica para el cultivo de peces de aguas cálidas y además se está utilizando parte de la tecnología Chilena en cultivo de jaulas, adaptada para estas especies.

En cuanto a las especies de cultivo, la tilapia roja (híbrido rojo de tilapia) es la que se encuentra a la vanguardia por la gran producción y consumo existente y su destino es principalmente el mercado nacional, pero existen buenas perspectivas para reactivar su exportación hacia EU. El actual gobierno bajo la política de Cadenas Productivas y del establecimiento de convenios de competitividad, tiene a esta especie y al camarón marino como los de mayor potencial en este programa para promover y aumentar las exportaciones. La producción del híbrido rojo de tilapia para 1999 fue de 16612 toneladas, seguido por la cachama blanca con 12217 toneladas, el camarón marino que repuntó en su producción con 9227 toneladas y por la trucha arco iris, que ha tenido algunos altibajos en la

producción, pero que reportó una producción de 7065 toneladas. Esta última especie cuenta con un buen potencial de producción para el mercado nacional e internacional y existe la posibilidad de trabajar en el país con el salmón del Pacífico *Oncorhynchus kisutch* si se da cumplimiento a la normatividad ambiental existente.

Las carpas común y espejo no han logrado aún obtener un desarrollo importante en el país a nivel comercial, a pesar de contarse con tecnologías de producción de semilla y cultivo. Probablemente algunos de los factores que influyen en su baja producción son la escasa demanda en el mercado, el daño que causan a los diques de los estanques, la turbidez provocada en el agua y en ocasiones el sabor de su carne. A nivel de pequeño productor y como una fuente más de alimento en las fincas de los campesinos es utilizada en mono o policultivo. En los últimos años la carpa roja ha venido presentando una gran demanda, pero los niveles de comercialización aún no son significativos.

El camarón de agua dulce *Macrobrachium rossembergii*, introducido al país a finales de la década de los setenta, no logró integrarse adecuadamente al desarrollo de la acuicultura nacional, debido probablemente a problemas de manejo y de mercadeo. La tecnología de producción de semilla y engorde se obtuvo a través de la asesoría de la misión China en Colombia a finales de la década de los 80, sin embargo continua la gran inquietud y expectativa para el cultivo de la especie en el país, pero los pocos productores de semilla que aún quedaban, por falta de demanda no continuaron con la actividad.

El camarón marino es el producto bandera de la exportación nacional por los ingresos que representa y su producción se basa en una especie nativa del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*). Con respecto a este cultivo se ha avanzado en el manejo de las patologías y el mejoramiento genético dentro del cual se logró la denominada variedad Colombia.

Para la ostra de mangle *Crassostrea rhizophorae*, entre 1998 y 1999 se logró validar la tecnología cubana del cultivo de esta especie en la Bahía de Cispata (Córdova), con el apoyo de técnicos cubanos y del INPA, obteniéndose buenos resultados en cuanto a producción, validación y ajuste de la tecnología importada. Con estos resultados se prevé un buen futuro para la explotación de la especie, ya que existen muchos lugares en donde se pueden instalar explotaciones comerciales y su mercadeo se ha visto favorecido además por el buen precio al que tiene acceso el producto, bien sea con concha o solo la carne. Es importante conservar estas áreas de producción natural de ostras sin contaminación, ya que son los lugares propicios para el desarrollo de este tipo de acuicultura.

La acuicultura de pequeña escala continúa difundiéndose a la mayor parte del territorio nacional, se sigue contando con el apoyo de los programas de la FAO en este aspecto para Colombia y América Latina y se ha establecido la sede de la organización «Acuicultura Rural de Pequeña Escala» ARPE, en la Universidad Católica de Temuco en Chile, desde donde se coordinan acciones tendientes a contribuir a su desarrollo en America Latina y otros países. Se han formulado además proyectos para continuar con el desarrollo de esta actividad, apoyados por el programa FIDA de la FAO.

Por último, los extensionistas y campesinos han adquirido cada vez mayores conocimientos que les permiten desarrollar mejor esta actividad y la han involucrado como un componente más de diversificación de la producción en sus fincas, como alimento (seguridad alimentaria) y generadora de recursos económicos adicionales.

3. VENTAJAS DE LA ACUICULTURA

En los últimos 20 años se ha observado una gran acogida hacia la acuicultura y esto se debe en gran parte a las ventajas que presenta frente a otras actividades agropecuarias tradicionales, las cuales se pueden resumir así:

- La producción obtenida por unidad de área en el agua es mucho mayor que la que se puede obtener en la tierra.
- Los organismos acuáticos por ser de sangre fría no gastan energía en mantener su temperatura corporal, lo que los hace convertidores de alimento más eficientes.
- La densidad corporal de los organismos acuáticos, exceptuando los de concha dura, es casi igual a la del agua que habitan, por lo que no requieren consumir mucha energía para su soporte físico y por lo tanto la dedican

para su crecimiento.

- La acuicultura permite incorporar a la economía de la finca o granja, suelos no aptos o de baja productividad para la práctica de actividades agropecuarias tradicionales.
- Se presenta como una valiosa alternativa para el suministro de productos pesqueros (peces, crustáceos, moluscos), frente a las progresivas disminuciones de las capturas de los recursos pesqueros marinos y continentales.
- Permite el aprovechamiento secundario de cuerpos de agua como embalses, represas, lagos y jagüeyes, entre otros, cuyo objetivo principal es la producción de energía o reservorios de agua para bebedero de animales y riego, entre otros.
- Contribuye a la diversificación e integración de la producción en la granja, ya que se puede utilizar el estiércol de los animales como abono orgánico para elevar la productividad de las aguas y estas aguas fertilizadas se pueden emplear para el riego de los terrenos donde se producen pastos, hortalizas, caña, café y frutales, entre otros.
- Han evolucionado las tecnologías de producción y la incorporación de nuevas especies a la producción y la cadena productiva de la industria se ha mejorado y especializado en este renglón, aumentando su competitividad.
- Producción de alimento de alto valor proteico.

4. CLASIFICACIÓN DE LA ACUICULTURA

La acuicultura se puede clasificar según el tipo de producción, grado de manejo y tecnología empleada en: **extensiva, semiintensiva e intensiva**. En la figura 1 se muestra la relación existente entre la oferta de alimento natural y el grado de manejo o tipo de cultivo que se emplee. Se puede observar que a medida que se aumenta la densidad de siembra, como en el caso de los cultivos intensivos, la cantidad de alimento que aporta el medio natural se reduce al máximo.

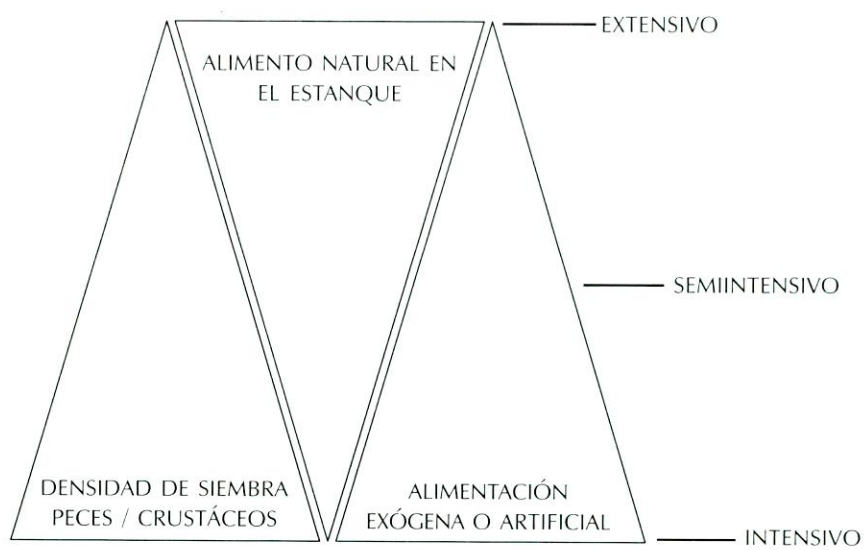


FIGURA 1. Papel del alimento natural y artificial en la acuicultura a nivel de cultivo extensivo, semiintensivo e intensivo (Tomado de Tacon, 1989)

De acuerdo con el número de especies que integren el cultivo se emplearán los términos **monocultivo**, en el caso del cultivo de una sola especie y **policultivo** si se trata de dos o más especies. Si se complementa o combina con otras actividades agropecuarias se tratará de cultivos integrados.

4.1 ACUICULTURA EXTENSIVA

Es aquella en donde la acción del hombre se limita exclusivamente a la siembra y cosecha de una o varias especies

en un cuerpo de agua determinado. No se realiza ningún tipo de manejo como la fertilización del agua y no se da ningún tipo de alimentación. Este tipo de acuicultura es la que se realiza con fines de aprovechamiento de un cuerpo de agua determinado. Por lo general se realiza en reservorios de agua, jagüeyes y represas o embalses, bien sean naturales o artificiales, sembrando los organismos a una baja densidad y permitiendo que subsistan de la oferta de alimento natural que allí existe. El aprovechamiento se realiza a partir del momento en que se detectan animales de talla comercial (Fig. 2).



FIGURA 2. Cuerpo de agua donde se realiza cultivo extensivo (Represa del Neusa, Cundinamarca)

Para un aprovechamiento adecuado de este tipo de acuicultura se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Mantener el cuerpo de agua en buenas condiciones de acuerdo con su tamaño
- Mantener la población de los organismos mediante siembras frecuentes
- En el caso de reservorios pequeños como jagüeyes, si es posible, se recomienda eliminar o tratar de ejercer algún tipo de control de los predadores

4.2 Acuicultura semiintensiva

Es aquella en donde la labor del hombre va más allá de la siembra y la recolección de los organismos; generalmente ya existen estanques o reservorios construidos por el hombre para este fin y las técnicas de manejo se restringen a la siembra de los peces, abonamiento, preparación incipiente y esporádica del estanque y en ocasiones se suministra algún tipo de alimento.

Se emplean densidades de siembra más altas que en el cultivo extensivo, que contribuye a obtener mayores producciones. Este sistema de cultivo es practicado por la gran mayoría de los pequeños productores de Colombia.

4.3 Acuicultura intensiva

Es aquella que se realiza empleando mayores densidades de siembra (Fig. 3), infraestructura adecuada (estanques o jaulas flotantes), depende específicamente del suministro de alimento concentrado apropiado para la especie de cultivo y requiere más alta tecnología, como manejo de flujos de agua, de sistemas de aireación y en algunos casos

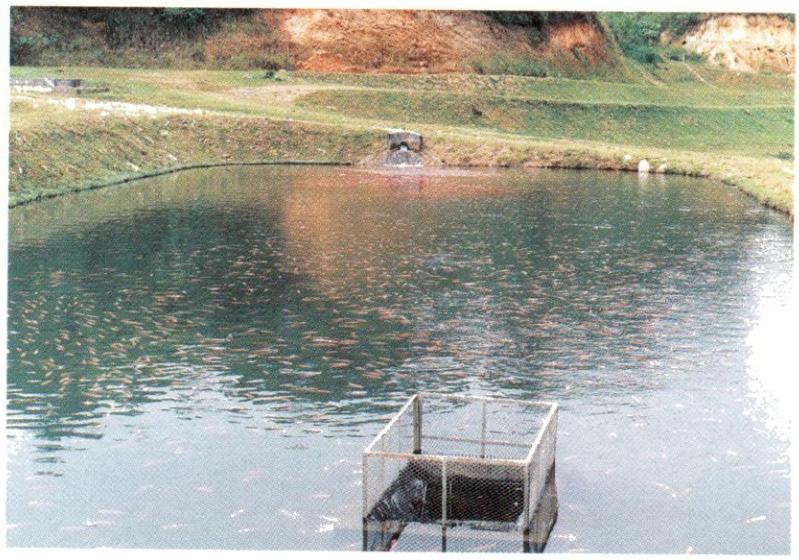


FIGURA 3. Cultivo de peces a altas densidades de siembra en estanques

el empleo de oxígeno líquido, reutilización de agua y biofiltros, entre otros. Necesita una mejor planificación puesto que se invierten mayores recursos económicos, pero a su vez se obtienen mayores producciones y por lo tanto aumenta su rentabilidad. Las siembras y las cosechas se llevan a cabo periódicamente y se requiere adelantar controles permanentes a la calidad del agua, en parámetros como el oxígeno disuelto, pH, amoníaco y nitritos, entre otros, y es necesario un mayor control de las enfermedades, se busca mayor calidad en la semilla, el personal es capacitado y se orienta la explotación hacia la obtención de mayores ingresos. Básicamente es la acuicultura que se realiza con fines comerciales (Fig. 4). En lagos, represas y embalses, se realizan cultivos intensivos mediante la utilización de jaulas flotantes.

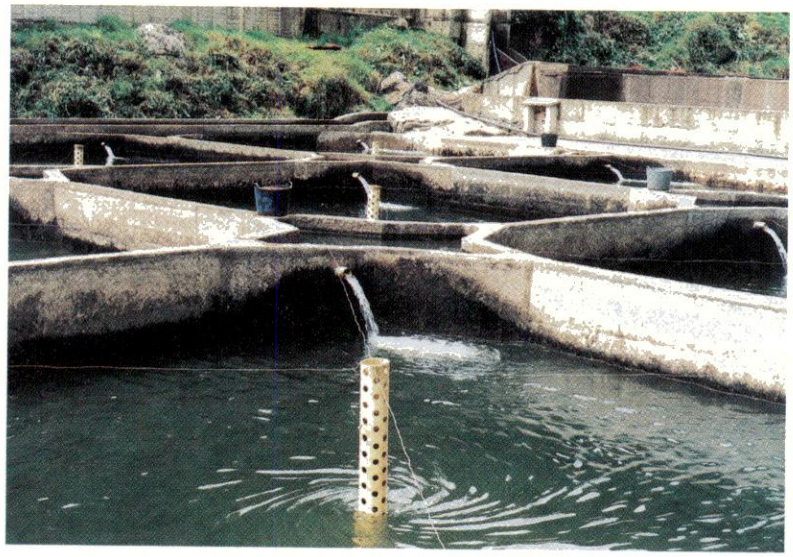


FIGURA 4. Piscifactoría donde se realiza cultivo intensivo de peces

5. PRÁCTICAS DE CULTIVO

La acuicultura se puede realizar en un mismo cuerpo de agua con una o varias especies, tratando de aprovechar toda la columna de agua, dependiendo de los diferentes niveles tróficos de las especies a cultivar. Cuando en el cultivo interviene una sola especie se trata de monocultivo, que es el sistema que se practica más comúnmente en el país; si intervienen dos o más especies se denomina policultivo, tal como se explica a continuación.

5.1 Monocultivo

El monocultivo se fundamenta en la utilización de una sola especie durante todo el proceso de producción. Este tipo de cultivo es practicado en la mayoría de las explotaciones de tipo intensivo del país, bien sea trucha, tilapia roja, cachama o camarón.

5.2 Policultivo

El policultivo es el cultivo de dos o más especies en un mismo estanque, con el propósito de dar el mayor aprovechamiento al espacio y a la productividad del estanque, lo que no se sucede cuando se utiliza una sola especie o monocultivo. Mediante este sistema se aumenta la producción total del estanque y se pueden obtener diferentes productos que demanda el mercado o para autoconsumo.

Actualmente se realiza con especies de clima medio y cálido, en explotaciones de carácter semiintensivo y en algunas de tipo intensivo, en donde se mantienen especies como la cachama y la tilapia roja, tal como sucede en algunas de las explotaciones de los departamentos del sur de Colombia, especialmente en el departamento del Meta. Uno de los problemas observados con este tipo de cultivo es la disponibilidad de semilla de las diferentes especies al mismo tiempo.

Policultivos que han presentado buenas producciones con fines comerciales y que se están realizando actualmente son la combinación de tilapia o mojarra roja *Oreochromis spp.* con la cachama blanca *Piaractus brachypomus*. También se emplean como especies secundarias especies limnófagas como el bocachico *Prochilodus magdalenae*, el coporo *Prochilodus mariae*, el bocachico *Prochilodus nigricans*, la carpa común *Cyprinus carpio* y la carpa espejo, *Cyprinus carpio var. specularis*. Otro tipo de policultivo recomendado para pequeños productores es el de la mojarra plateada *Oreochromis niloticus* como especie principal y la carpa común *Cyprinus carpio*, como especie secundaria. Con estas especies se han obtenido buenos resultados, ya que la mojarra plateada es una especie filtradora, habitante de media agua y la carpa es habitante del fondo en donde busca su alimento. En el capítulo correspondiente se ampliará esta información.

5.3 Cultivos integrados

La importancia del cultivo integrado, animales de la granja con peces, radica en que los primeros proveen materia orgánica (estiércol) a los estanques, que al descomponerse mediante la acción de las bacterias, aportan los nutrientes y minerales esenciales para la producción primaria representada en los organismos presentes en el plancton (fitoplancton y zooplancton), que se constituyen en el alimento base de la cadena trófica y que es empleado directamente por los peces micrófagos y filtradores.

El cultivo integrado se puede realizar con patos, cerdos, aves de corral, ganado y otro tipo de animales de establo, conservando siempre las proporciones recomendadas en cuanto al número de individuos (animales) por área en espejo de agua de los estanques. Así no se proveerá demasiada materia orgánica (estiércol), que no alcance a ser degradada y se convierta en un agente contaminante que termine con la vida de los peces (fig. 5). En el capítulo correspondiente se ampliará la información respecto a este sistema de cultivo.

6. INSTALACIONES EMPLEADAS EN ACUICULTURA

Para la práctica de la acuicultura con peces y crustáceos, generalmente se construyen o aprovechan reservorios

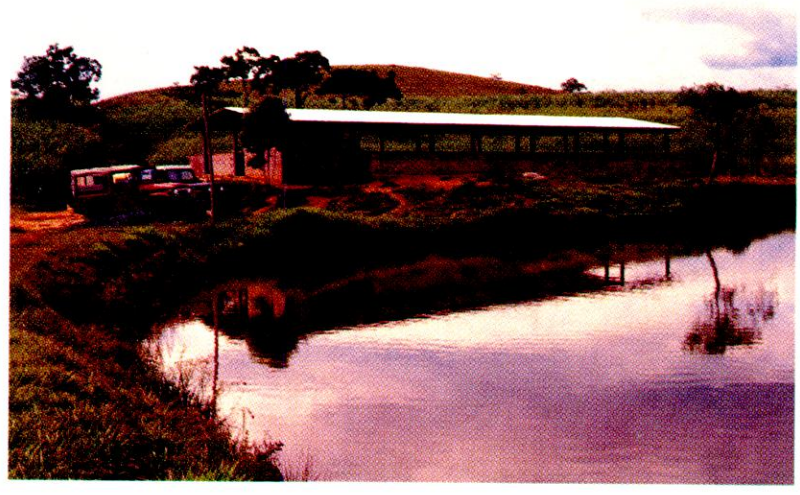


FIGURA 5. Cultivo integrado con cerdos y peces

artificiales como estanques, jagüeyes, pozos, represas, depósitos y embalses entre otros, o se instalan estructuras fijas o flotantes en el agua, como corrales y jaulas. Las jaulas contribuyen a disminuir los costos de producción (infraestructura mas económica y no se necesita adquirir terrenos ni realizar movimientos de tierra) y se puede efectuar un mayor control sobre el cultivo.

6.1 ESTANQUES

La infraestructura más utilizada para la práctica de la acuicultura son los estanques, bien sea en tierra , recubiertos con geomembrana o en cemento, estos últimos utilizados principalmente en clima frío para el cultivo de salmónidos. Los estanques se construyen de acuerdo con el tipo de terreno, topografía, textura del suelo, sistemas de cultivo y especies a cultivar. De igual forma dependerá el tipo de construcción, los materiales a utilizar y la forma y dimensiones que se emplearán.

Si se trata de cultivar trucha arcoiris, los estanques serán por lo general de forma rectangular, con proporciones 10:1, tipo canal. Por lo general el flujo de agua es laminar, abarcando todo el ancho de los estanques tanto a la entrada como a la salida para evitar puntos muertos, donde los niveles de oxígeno son bajos, la descomposición de la materia orgánica es alta y la posibilidad de aumentarse los organismos patógenos aumenta. Generalmente, y de acuerdo con los recursos del propietario, se construyen en cemento y la mayoría de las piscifactorías funcionan de esta forma, pero existen también en tierra o recubiertos de geomembrana o permaflex, material sintético de PVC que se emplea para la impermeabilización de reservorios artificiales.

En el caso de los estanques para el cultivo de especies de clima medio y cálido, generalmente su construcción se efectúa directamente sobre la tierra, bien sea excavando totalmente el terreno, semiexcavando o efectuando represamientos. La forma y el tamaño es variable, dependiendo del tipo de explotación, tecnología a emplear y los recursos del propietario. Los estanques artesanales construidos en las fincas de los pequeños productores se acomodan por lo general al terreno, buscando en la mayoría de los casos el menor costo de inversión y oscilando sus tamaños entre 50 y 5000 m^2, generalmente. En las factorías comerciales lo que se busca es la eficiencia y comodidad para el manejo de las especies, bien sean camarones o peces. La forma y el tamaño es variable dependiendo de la fase del cultivo, ya sea que se trate de reproducción, larvicultura, alevinaje, levante o engorde. Estos tamaños oscilan entre 100 y 10000 m^2, para el caso de los peces y en los camarones entre 1000 y 60000 m^2, dependiendo del tamaño de la factoría y de las fases de producción.

La entrada de agua se efectúa por tubería, manguera o canal abierto y el desagüe por tubería o estructuras mayores,

dependiendo del tamaño del estanque. La tecnología moderna para cultivos de alta eficiencia se basa en la utilización de grandes flujos de agua que permiten recambios permanentes de agua, en ocasiones el empleo de aireación artificial u oxígeno líquido, con controles eficaces de los parámetros físico-químicos del agua, que contribuyan a evitar enfermedades, pérdida de alimento y altas mortalidades que pueden presentarse por la alteración de los valores normales de estos parámetros.

En el capítulo correspondiente a construcción de estanques se tratan con más detalle los aspectos referentes a terrenos, aforo de las fuentes de agua, construcción y lo concerniente al suministro de agua y desagües, entre otros. Para la construcción de una piscifactoría se deben tener en cuenta las siguientes obras e instalaciones, dependiendo de su finalidad (reproducción o engorde) y complejidad (Fig. 6):

- Presa o bocatoma
- Desarenadores
- Canal de conducción
- Filtros
- Laboratorio de reproducción y sala de manejo
- Salón de incubación
- Estanques de alevinaje
- Estanques para juveniles, adultos y reproductores
- Estanques para reproducción
- Red de suministro de agua
- Red de desagües
- Área de administración, bodegas, y áreas para el personal
- Sala de sacrificio y área de frío
- Pozos sépticos
- Reservorio final para el tratamiento y mejora de las aguas utilizadas.

6.2 Jaulas y corrales

La práctica de la acuicultura en grandes volúmenes de agua mediante estos sistemas en Colombia es reciente y sobre todo en el caso de las jaulas flotantes, ya que la utilización de corrales no ha sido tan representativa. Consiste básicamente en el montaje o construcción de un sistema o infraestructura anclada o suspendida en el agua, con estructuras flotantes y mallas que permita el control y manejo de los organismos de cultivo.

Estos sistemas constituyen un método más económico, como en el caso de las jaulas, ya que sus costos iniciales son más bajos que la infraestructura que se construye en tierra y requieren del empleo de tecnologías relativamente sencillas. Tanto el cultivo en jaulas como el cultivo en corrales incluyen el mantenimiento de organismos en cautiverio dentro de un espacio cerrado pero con flujo libre de agua. La diferencia radica en que las jaulas están suspendidas o fijas y se encuentran cerradas por todos los lados con paños de red o rejillas de otros materiales (Fig. 7) y en los corrales la parte inferior o fondo del corral lo constituye el mismo fondo del cuerpo de agua, generalmente de las ciénagas, que cuentan con poca profundidad. Sin embargo, por sus costos y por la producción que se obtiene se han implementado en el país, en vez de corrales, cerramientos en cuerpos de agua con mallas que permitan el aislamiento de grandes áreas que se pueden emplear para el cultivo de peces a nivel extensivo o semiintensivo y con un control sobre la población hasta su cosecha.

Colombia tiene un alto potencial para el cultivo de peces en jaulas, corrales y encerramientos, ya que posee grandes áreas en espejo de agua en planos inundables, ciénagas, lagos, lagunas, esteros y embalses entre otros.

En los últimos años se ha observado un gran desarrollo de la piscicultura en jaulas flotantes y ha sido necesario establecer una normatividad que reglamente acerca del tipo de instalaciones, especies a utilizar y sistemas de cultivo, ya que las aguas son de uso público y tienen que administrarse en beneficio de la comunidad y de la conservación de los ecosistemas.

El cultivo de peces en corrales no ha tenido gran significancia, ya que han sido muy pocas las experiencias efectuadas con este sistema en Colombia. A nivel mundial su origen se remonta al Japón, donde a comienzos de la década de

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

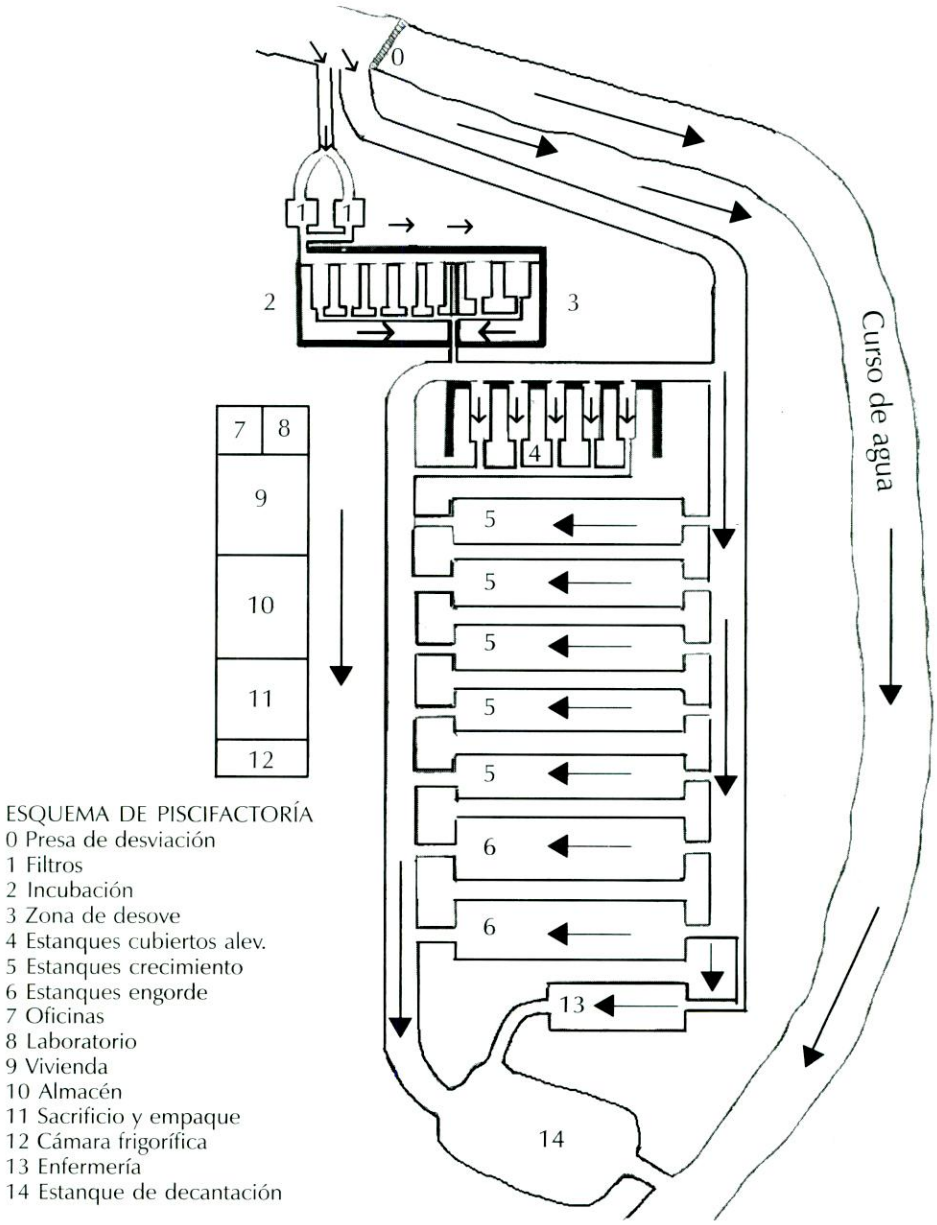


FIGURA 6. Diagrama general de una piscifactoría

1920 se empezó a utilizar. Posteriormente en China, en la década de 1950 se empleó para la cría de carpas en lagos de agua dulce.

Su construcción se efectúa sujetando los paños de la red a postes ubicados a pocos metros de distancia y el fondo de la red se fija al substrato mediante clavijas largas de madera. Generalmente los corrales se construyen en aguas con profundidades menores de 10 m, tienen de 3 a 5 m de altura y sus dimensiones van de 1 a 50 ha.

El cultivo en corrales no ha tenido el mismo progreso que el cultivo en jaulas y en la actualidad este método se utiliza con fines comerciales en Filipinas, Indonesia y China, donde se cultivan el chanos y las carpas: hervíbora, *Ctenopharingodon idella;* Cabezona, *Aristichthys nobilis* y plateada *Hypophthalmichtys molytrix*. Además, también se ha empleado la tilapia en Filipinas y el salmón en Europa, Norteamérica y Suramérica.



FIGURA 7. Vista general de un módulo de jaulas flotantes

BIBLIOGRAFÍA

BARD, J.; P. KIMPE; J. LEMASSON y P. LESSENT. 1975. Manual de Piscicultura Destinado a la América Tropical. Centre Téchnique Forestier Tropical, segunda edición, Francia 164 p.

BEVERIDGE, M.C.M. 1986. Piscicultura en jaulas y corrales. Modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente. FAO Doc. Tec. Pesca, (255):100 p.

COLCIENCIAS-CIID. 1988. Memorias Segunda Reunión Red Nacional de Acuicultura, Neiva, Septiembre. Santa Fe de Bogotá.

COLCIENCIAS-CIID. 1990. Memorias Tercera Reunión de la Red Nacional de Acuicultura. Bogotá.

COLCIENCIAS-CIID. 1990. Memorias Cuarta Reunión de la Red Nacional de Acuicultura. Bogotá.

COLCIENCIAS-INDERENA. 1987. Primera reunión de la Red Nacional de Acuicultura. Memorias 138 p. Bogotá.

CORNARE-INDERENA-POLITECNICO COLOMBIANO JAIME IZAZA CADAVID. 1991. Presente y Futuro de la Acuicultura en Colombia. Memorias Segundo Seminario Nacional, Medellín. 151 p.

GARCIA-BADELL, J.J. 1985. Tecnología de las explotaciones Piscícolas. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 325 p.

GARZON, F. 1991. La Piscicultura de Fomento en Colombia, Análisis de la Situación Actual, DRI, Bogotá.

HUET, M. 1978. Tratado de piscicultura., 2º edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 745 p.

INDERENA-CIID-COLCIENCIAS. 1990. Informe final de trabajo primer año del Proyecto para el Desarrollo de la Acuicultura en Colombia. Convenio INDERENA-CIID-COLCIENCIAS.

INDERENA-COLCIENCIAS. 1985. Programa Nacional Para el Desarrollo de la Acuicultura, COLCIENCIAS, Bogotá.

INPA. 1999. Boletín Estadístico Pesquero. Grupo de Estadísticas, Bogotá. 65 p.

MARÍN, R. 1992. Estadísticas sobre el recurso agua en Colombia. HIMAT, Arfo Ltda., Bogotá. 412 p.

RODRÍGUEZ, H.; G. SALAZAR y G. POLO. 1992. Actualización del Estudio Sectorial sobre el Estado de la Acuicultura en Colombia. FAO. 150 p.

SALAZAR G. y G. POLO. 1993. Evaluación de un policultivo de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), mojarra roja (*Oreochromis spp*) y carpa espejo (*Cyprinus carpio var specularis*). Bol. Científ. INPA, 1:4-15.

TACON, A. 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Manual de Capacitación. Proyecto AQUILA II, FAO, 572 p.

TRUJILLO, J. 1988. Policultivo de Cachama blanca (*Colossoma bidens*) y Mojarra plateada (*Oreochromis niloticus*) en estanques. Informe técnico.

VILLANEDA A. y C.S. BELTRÁN. 2001. Perfil de la Pesca y la Acuicultura en Colombia. INPA.

Capítulo II. LINEAMIENTOS ECONÓMICOS Y DE PLANEACIÓN PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS EN ACUICULTURA

Gustavo A. Polo Romero[1]

INTRODUCCIÓN

Frente a un tema tan complejo y amplio, como es la formulación económica de proyectos en acuicultura, se pretende dar a conocer alguna orientación metodológica que permita al inversionista actuar con más criterio frente a la planeación y puesta en marcha de un proyecto acuícola de tipo privado, porque es un hecho evidente que este procedimiento se ha constituido en la estrategia básica del desarrollo económico.

La elaboración de proyectos para el desarrollo de la acuicultura representa en la mayoría de los casos un reto para los interesados en esta actividad, que si bien dominan la biotecnología de las especies, desconocen en parte la dinámica y criterios que deben seguirse para la formulación de los proyectos, que finalmente recoge, coordina e integra el contexto interactuante de los capítulos que le sucederán a esta unidad, planeando ordenadamente acciones de la preinversión.

Así mismo, dado que se requiere de criterios técnicos en los diversos temas que conforman un proyecto de acuicultura al nivel de la **prefactibilidad económica**, se considera importante establecer términos de referencia que orienten a economistas, biólogos, ingenieros y a todo el personal involucrado en la formulación y evaluación de proyectos de desarrollo económico para la acuicultura.

Estos proyectos se pueden considerar como acciones específicas, dado su carácter especial en la producción de bienes económicos, manejados en cuerpos de agua controlados y limitados por su capacidad de carga.

1. LA ECONOMÍA EN LA ACUICULTURA

El hecho económico más sobresaliente en cualquier sistema es el de administrar la característica de **escasez** de recursos para los bienes y servicios que atiendan las necesidades y los deseos de una sociedad.

Los productos hidrobiológicos del medio natural presentan una tendencia hacia la escasez, debido a la sobrepesca y la contaminación de los cuerpos de agua. Con esta consideración ambiental se presenta la acuícultura como una alternativa de producción pesquera.

La pisicultura es una actividad económica por ser una labor de "Producción", la cual nace por iniciativa motivada del negocio. Esta formación de negocios se puede dar por observación de necesidades de la sociedad y de ganar dinero. La primera motivación es el deseo de ser pisicultores. La segunda, que existen personas que consumen pescado. La tercera, porque en una granja se presentan áreas de terreno sin uso y vocación agropecuaria nula, y la última, porque en los mercados locales no hay mucha oferta, pero existe el gusto por el consumo de pescado.

Para implementar esta actividad corresponde dar respuesta a diferentes interrogantes que caracterizan económicamente al sector acuícola como una actividad comercial de productos alimenticios escasos. De tal manera

---

[1] Economista, M.Sc., Jefe de División de Estudios Socioeconómicos y Mercadeo- INPA

que se puede decir que la acuicultura en sentido económico corresponde a la producción de organismos acuáticos obtenidos en cultivo y bajo condiciones racionalmente controladas desde la cosecha, pasando por el procesamiento, la comercialización y el consumo.

El interesado en un proyecto de acuicultura debe preguntarse, **qué producir, cómo producir, cúanto se debe producir y para quién producir.** La decisión de qué producir está determinada por la disponibilidad de recursos (financieros, técnicos, humanos, insumos, condiciones naturales y ambientales, etc.) para el montaje del proyecto. Estos también son llamados factores de la producción, los cuales se clasifican en factores de producción fija, y factores de producción variables, destacando dentro de éstos la mano de obra.

La decisión de cómo producir dependerá del acceso a los diferentes factores de la producción acuícola (Fig. 1), dentro de los cuales vale destacar los técnicos y los biotecnológicos.

El costo de la tecnología juega un papel decisivo para la producción, de ahí la necesidad de seleccionar la tecnología más adecuada y de acuerdo con la disponibilidad de los recursos.

El cuánto producir está en relación directa con la capacidad de consumo y las especificaciones del paquete tecnológico, lo cual depende a su vez de la capacidad de compra del público.

El acuicultor, por otra parte, debe obtener aquellos productos que son aceptados por los consumidores y que con el precio se obtenga un margen adecuado de ganancias. Estas ganancias son el estímulo principal para el productor; es la identificación del negocio con márgenes de utilidades. Si las circunstancias son diferentes, la oferta tenderá a disminuir y el negocio a desaparecer.

Por otro lado, hay que tener en cuenta al consumidor, quien establece la demanda sobre las características del producto a un tiempo determinado y a un precio establecido, lo que origina los ingresos de la granja. Estimada la demanda del producto acuícola y los futuros cambios de la misma, el interesado puede determinar si se involucra como inversionista en esta actividad.

La cantidad a producir está determinada por la oferta y la demanda en una economía de mercado y de competencia imperfecta, de tal manera que a través de un análisis de estos factores se caracteriza el aspecto económico del proyecto.

En términos microeconómicos, se entiende a la economía aplicada a la acuicultura, como la ciencia que estudia los procesos técnicos y biotecnológicos cuyo fin es optimizar la producción de bienes pesqueros de carácter escaso en sus diferentes etapas de cultivo, procesamiento, distribución y consumo (Fig. 1).

2. LA PLANEACIÓN EN LA ACUICULTURA

La planeación es un proceso formal, sistemático, lógico y continúo, tendiente a asegurar en todo momento la coherencia y proporcionalidad entre los fines que se persiguen, los medios disponibles y la acción emprendida, que se constituye en un proceso mediador ordenado entre el presente y el futuro, pretendiendo alcanzar objetivos por medio de la combinación y la realización de esfuerzos humanos, técnicos y financieros.

El verdadero proceso de planificación radica en que orienta y descansa en la formulación de un cuerpo analítico que debe responder a preguntas relacionadas con nuestras posibilidades de actuación, observando los caminos y las secuencias en que se debe hacer y las vías alternas que deberían utilizarse para sortear los obstáculos. Esto significa que la planificación observa la cadena de secuencias en causas y efectos durante un tiempo, relacionada con una decisión real o intencionada para un nivel de decisión sobre un proyecto.

La planeación a nivel micro tiene como objetivo fundamental estudiar con anticipación las posibles alternativas de esta actividad económica, compararlas y elegir la que proporcione el máximo aprovechamiento de los recursos escasos asignados.

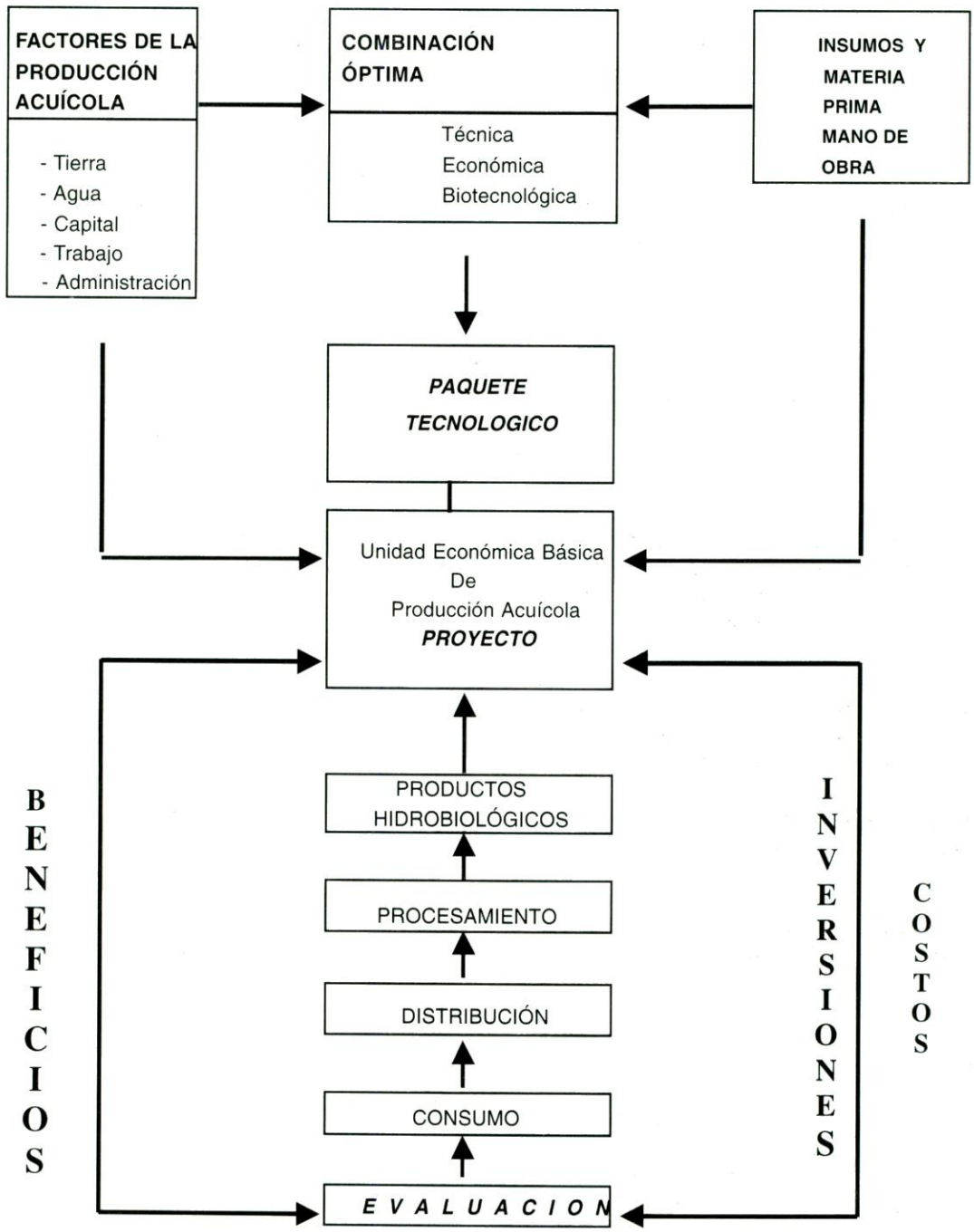


FIGURA 1. Esquema conceptual de un proyecto de desarrollo económico acuícola

En otros términos, la planificación para un proyecto de acuicultura se puede conceptualizar como la preparación, formulación y evaluación de los antecedentes que permiten juzgar cualitativa y cuantitativamente una inversión o asignación de recursos en una determinada iniciativa de negocio.

La planeación en el sentido microeconómico es un componente de la administración, es por ello que para su desarrollo contempla cinco etapas generales, a saber: **la planeación, la organización, la ejecución, el control y la evaluación.**

La planeación identifica lo que se va a realizar; la organización, a qué nivel se hace; la ejecución, cómo se desarrolla; el control determina la marcha de lo planeado; y la evaluación permite comparar lo que se está haciendo con lo previamente establecido.

Este ordenamiento técnicamente concebido obedece a una metodología que permite orientar cualitativa y cuantitativamente los factores y elementos a corto, mediano y largo plazo, de todos los recursos escasos y disponibles para cada granja acuícola. Este a su vez señala los pasos individuales y simultáneos en todas las áreas que competen al proceso productivo y de organización para la producción de los bienes pesqueros.

3. LOS PROYECTOS EN LA ACUICULTURA

La planeación es el instrumento metodológico con el cual se estructuran las distintas etapas de un proyecto acuícola y éste a su vez se organiza mediante interrelaciones de pasos técnicamente planea-dos. Define la situación que se pretende alcanzar en un tiempo determinado y evalúa las acciones a realizar para lograr la situación pretendida y en la siguiente etapa se plantea la estrategia a seguir. Esta estrategia se fundamenta en planear a nivel de unidad básica, también llamada microplaneación y que en términos generales se le denomina proyecto de desarrollo económico (Fig. 1).

El término «proyectos económicos» se utiliza para identificar ventajas y desventajas, cuando se desarrolla una inquietud de producción o de negocio; esta inquietud de preinversión se plasma en un documento o monografía, que justifica el uso y empleo racional de los diferentes recursos y factores que intervienen para alcanzar los objetivos de producción, en el marco técnico, administrativo, económico, financiero, comercial, jurídico y ambiental.

Por esto, **planear proyectos de acuicultura** es ordenar sistemáticamente un conjunto de factores y elementos interrelacionados, para obtener productos pesqueros al nivel de la unidad básica productiva; de forma tal que permita, a través del conjunto de tendencias, observar el futuro de cada situación mediante razonamientos hipotéticos. Estos se encadenan cuando se pregunta ¿Qué queremos?, ¿Cuál es la situación objetivo?, ¿A dónde se quiere llegar?, ¿Cómo se quiere que sea el futuro?, ¿Con qué se estaría satisfecho?

Cualquiera que sea la profundidad con que se analice el estudio, siempre existirá la etapa de preparación y de evaluación. En la preparación se definen las características que tengan algún grado de efecto en el flujo de ingresos y egresos del proyecto. La evaluación busca determinar la rentabilidad de la inversión en el proyecto.

La formulación del proyecto es el análisis detallado de la unidad básica de producción en el proceso de planificación y de racionalización de las decisiones en materia de inversión.

Los proyectos de acuicultura corresponden a la formación de las unidades de producción acuícola que se caracterizan por llevarse a cabo a diferentes escalas productivas: extensivo, semiintensivo, intensivo y superintensivo, las cuales tienen relación directa con el espejo de agua y su capacidad de producción; a su vez, éstos pueden ser monocultivos o policultivos. Cada uno caracterizado por su modo de producción (Fig. 1).

La acuicultura busca aprovechar al máximo la columna de agua, lo que permite establecer los llamados policultivos recurriendo al espacio ambiental artificial para las diferentes especies que se caracterizan por utilizar el fondo, aguas someras o de superficie; cuyos procedimientos técnicos le permiten no sólo conocer y aprovechar correctamente sus recursos naturales, sino también seleccionar el cultivo más adecuado y organizar las actividades necesarias para su explotación, convirtiéndose de esta manera en una verdadera «**unidad de producción acuícola**» (Fig. 1).

Para la formulación del proyecto se debe contemplar la elección del terreno apropiado, la calidad y cantidad de agua, el diseño de la infraestructura, la selección y manejo de reproductores, la producción de semilla, el engorde, la cosecha, el procesamiento, hasta la comercialización y consumo.

En este sentido se puede considerar como "proyecto de acuicultura" al conjunto de actividades interdisciplinarias que permiten evaluar las ventajas y desventajas técnicas, biotecnológicas, económicas, financieras, ambientales y

jurídicas derivadas de asignar recursos para la producción de especies hidrobiológicas, como propuesta de inversión con el fin de obtener beneficios económicos.

3.1 ETAPAS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS EN ACUICULTURA

Toda iniciativa de inversión comercial en la acuicultura nace de las necesidades de una demanda identificada, sobre la cual un inversionista prevé que puede obtener beneficios económicos. La idea, como creadora de toda

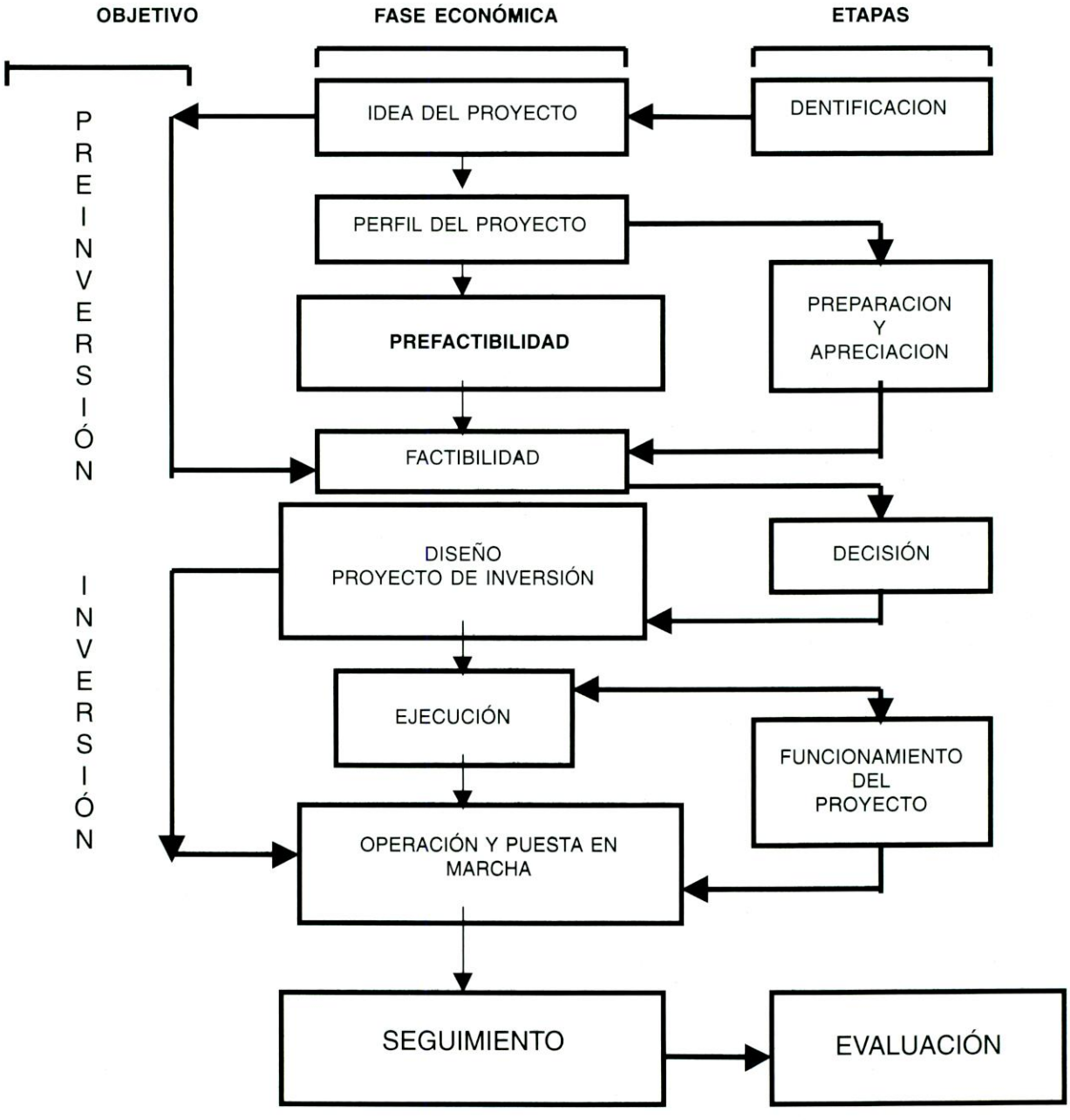


FIGURA 2. Etapas para la formulación de un proyecto de producción acuícola

relación económica de inversión, detecta la necesidad que se llenará con el proyecto y que a un juicio preliminar se detecta como viable, esta iniciativa se conoce como **identificación de la idea de inversión** (Fig. 2)

Una vez que se ha concebido la **idea** se busca formar un juicio más detallado de esa iniciativa, lo que se conoce como **estudio preliminar o perfil del proyecto**, que permite formarse un criterio analítico a través de información secundaria, y recogiendo experiencias de técnicos sobre el tema, con una orientación económica global de las inversiones, costos e ingresos que resalten las bondades sin entrar en investigaciones sobre el terreno y permitiendo conducir la idea hacia un conocimiento más detallado.

Este conocimiento con mayor detalle será la base de la exposición subsecuente de este capítulo que se estudiara a lo largo de las siguientes páginas para adelantar el **estudio** de **prefactibilidad**.

La prefactibilidad o anteproyecto preliminar se caracteriza por descartar soluciones con mayores elementos de juicio y no permite ir más allá de identificar las alternativas existentes u opciones de inversión, tomando en cuenta aquellas que desde el comienzo se presenten factibles. En forma general comprende estudios más exhaustivos, amplios y sistemáticos sobre los aspectos de mercado, tecnología y flujos relevantes de un proyecto de inversión como resultado del perfil. Sin embargo, sigue siendo una investigación relativamente basada en información secundaria, no demostrativa pero indicativa, en la cual se recurre a una sutil información primaria, éste es el primer paso hacia la determinación de la factibilidad económica.

El paso siguiente es llevar el proyecto a **factibilidad económica,** también llamado anteproyecto final. Este estudio, que constituye el paso final del estudio de preinversión, permitirá formular y conocer las bondades de la inversión, donde se presentarán resultados consistentes y bien fundamentados sobre las ventajas y desventajas de la viabilidad comercial, viabilidad técnica y biotecnológica, viabilidad administrativa, viabilidad jurídica, y la viabilidad económica y financiera. Se elabora sobre la base de antecedentes precisos e interrelacionados y detallados, obtenidos principalmente a través de información primaria o trabajo sobre el terreno, con apoyo de la información secundaria, profundizando la mejor alternativa detectada en el estudio de prefactibilidad.

Cada una de estas fases económicas conllevan a asegurar el éxito de la iniciativa del proyecto o de la futura inversión es así como a mayor conocimiento mayor seguridad en la decisión, pero desde luego, será mayor costo y mayor tiempo, que desde el punto de vista práctico se traduce en una disminución de la incertidumbre.

Por otro lado también se puede hablar de **proyecto de inversión,** que en resumen es el estudio de factibilidad acompañado de los diseños, manuales, especificaciones técnicas (ingeniería conceptual e ingeniería de diseño), planos definidos, estructura de la organización, fuentes de financiación y mecanismos para captar los recursos financieros, etc; además de la implementación que permite la ejecución y puesta en marcha de los objetivos y metas planteadas como proyecto.

Pasar de la **idea** a la **ejecución y puesta en marcha** de un proyecto sin tener en cuenta las fases enunciadas es correr el riesgo de fracasar por el desconocimiento de factores tecnológicos, biotecnológicos, localización, infraestructura de comunicaciones, suelos, accesibilidad al terreno, disponibilidad de mano de obra, costos de inversión, de operación, aspectos legales etc., que no fueron previstos en el momento de invertir, en su primero o segundo ciclo de vida económica (introducción y/o crecimiento).

De tal manera que al seguir detalladamente las fases económicas mencionadas permitirán al inversionista aumentar el margen de seguridad[2], y en cada una de ellas le permitirá desistir o continuar con el proyecto (Fig. 2).

Se puede decir, en términos generales, que la factibilidad económica de un proyecto acuícola es encontrar individualmente la factibilidad comercial, la factibilidad técnica y ambiental, la factibilidad legal, la factibilidad organizacional y la factibilidad económica y financiera. Cualquiera de estos acápites en un momento dado pueden determinar la realización o desistimiento de continuar con el proyecto.

[2] El margen de seguridad de la inversión con el estudio de factibilidad no garantiza que un proyecto este exento de fracaso. El éxito o fracaso del proyecto dependerá del plan de ejecución y su administración, es decir, de la gerencia del proyecto.

4. FUNDAMENTOS DE LA PREFACTIBILIDAD PARA PROYECTOS DE ACUICULTURA

En la etapa de la prefactibilidad los economistas presentan diferentes formas de estructurar este tipo de estudios, en su contenido, profundidad y alcances en función del conocimiento.

El estudio de prefactibilidad tiene como base la investigación, principalmente en información secundaria, para definir con cierta precisión las alternativas tecnológicas y dar una primera respuesta a la pregunta de si el producto hidrobiológico que se proyecta cultivar presenta las condiciones para producirlo y además permite obtener rendimientos suficientes en cuanto a su rentabilidad. En términos generales se estiman las inversiones probables, los costos de operación y los ingresos que generará el proyecto.

En cuanto a la exactitud en la prefactibilidad no existe un consenso preciso, sin embargo el riesgo en la futura inversión sigue siendo alto a este nivel de estudio, de ahí la necesidad de llevar el proyecto a estudios más detallados como es el de factibilidad, el cual dará mayor seguridad al inversionista.

Simplificando, el estudio de prefactibilidad para proyectos de acuicultura debe contemplar tres temas básicos:

A) IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DEL MERCADO

El propósito de este estudio es determinar la viabilidad comercial que envuelve al proyecto de producción acuícola, en cuanto hace referencia a la estructura del mercado, la demanda y la oferta. En la confluencia de la oferta, la demanda y los precios, las personas reflejan sus intereses, deseos y necesidades, estableciéndose una relación de las preferencias en cuanto al consumo de productos cárnicos y el producto pesquero de cultivo (Numeral 5)

B) CONSTRUCCIÓN DEL PERFIL BIOTECNOLÓGICO Y TÉCNICO

El estudio de viabilidad técnica y biotecnológica (ingeniería conceptual) busca conocer las posibilidades materiales, físicas, químicas, condiciones y alternativas de producción para los productos de la acuicultura que se desean generar con el proyecto. Estos proyectos requieren de un juicioso conocimiento en cuanto a su modo de producción para garantizar la capacidad de elaboración, incluso antes de ser evaluados económicamente (Numeral 6).

C) EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA VIABILIDAD FINANCIERA

El estudio de la viabilidad financiera recoge presupuestalmente todo lo concerniente a las inversiones necesarias para ponerlo en funcionamiento, valoraciones técnicas, biotecnológicas, terrenos, obras civiles, equipos, etc, considerando todas aquellas que se pueden someter a depreciación y reposición a lo largo de la vida económica del proyecto, los costos que asisten a la elaboración del proceso productivo para la obtención de los productos hidrobiológicos, orientando la identificación de una segunda inversión denominada "capital de trabajo", rubro recuperable a la liquidación del proyecto y con este conjunto de información se optará por plasmar las diferentes flujos financieros necesarios para el proyecto de inversión, incluidos los créditos que se puedan adquirir (Numeral 7).

Cada uno de estos tres temas permite evaluar los diferentes conceptos en forma independiente aceptando o no su continuidad, a su vez, interrelacionados entre sí forman un criterio específico positivo o negativo acerca del proyecto, aceptando la continuidad o desistimiento de la idea de inversión.

5. IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DEL MERCADO ACUÍCOLA

Al nivel de prefactibilidad el estudio de mercados no trata de establecer una investigación detallada y profunda sino que debe entenderse como una identificación preliminar del mercado para los productos objeto del proyecto.

El objetivo de este tema es conocer en forma preliminar las características y oportunidades del mercado potencial de la futura granja acuícola. Identifica los volúmenes de la demanda, la oferta, la fluctuación de los precios de la

competencia, bien sean de origen acuícola o pesquero y los productos sustitutos; además de su distribución, presentación, estado de conservación y manejo para llegar al consumidor (Polo, 1989).

Identificar el mercado es evitar, en primera instancia, encaminarse en proyectos infructuosos a causa de un mercado pobre. Las especies que se elijan para el cultivo deben ser las apropiadas al consumidor, quien deberá estar en condiciones de adquirirlas.

Las opciones disponibles de mercado para las especies son desconocidas, ya que por lo general el consumo es mayor que la oferta. Esta está condicionada a la cercanía de un mercado y un público que esté en condiciones de aceptar la calidad del producto en cuanto a tamaño, peso, color, sabor, frescura, olor, textura, etc., consumidores que deben mantener su capacidad de ingresos para sostener el consumo de éste producto pesquero, que puede ser local, regional, nacional o internacional.

Muchos proyectos han fracasado porque el producto cultivado, a pesar de ser de excelente calidad, no le fue fácil llegar al consumidor por falta de infraestructura vial entre la granja y el mercado; otras veces han fallado debido a que el producto obtenido no puede ofrecerse a un precio que esté al alcance del comprador; tal es el caso del cultivo de la trucha, cuyos costos de producción son relativamente altos, lo que implica un precio de venta para una población de consumidores de ingresos adecuados, esto induce a identificar un mercado cualitativo y cuantitativamente capaz de pagar estos productos. Esto ya indica hacia donde debe encaminarse la búsqueda y conocimiento de la demanda de trucha. Igual sucede para otros productos hidrobiológicos, entre otros, como el camarón.

Por otro lado, también se puede fracasar por que los volúmenes de producción superan la demanda (generalmente local), esto se debe a una sobre dimensión del tamaño del proyecto, generando una capacidad instalada ociosa y por consiguiente una sobreinversión, lo cual implica reducir los volúmenes de producción para equilibrarse con la demanda. Esto identifica la relación entre el tamaño del proyecto, la tecnología, el diseño de las obras civiles y la demanda.

Además deberá tenerse en cuenta que cada mercado es diferente, considerando que cada uno tiene necesidades disímiles, lo que implica que **NO** se pueden considerar las condiciones de un mercado determinado y tomarlas como si fueran del mercado objeto del proyecto.

5.1 Oferta de productos de la acuicultura

Considerando los diferentes procesos tecnológicos para cada cultivo y/o especie se pueden obtener y ofrecer diferentes productos intermedios tales, como alevines, nauplios, larvas, postlarvas, ovas embrionadas, reproductores, para abastecer a otros productores o simplemente carne para consumo directo, consumo intermedio o materia prima para otros sectores de la economía.

Esto no significa que la granja deba producir todos estos productos para distintos mercados; pero sí deben tenerse en cuenta como posibles áreas de producción e ingresos de la granja que pueden formar alternativas productivas cada una con su correspondiente estudio.

5.1.1 Generalidades del mercado acuícola

De la identificación preliminar del mercado hay que esperar resultados sobre todo en cuanto a:

a) Número y tipo de productores que vienen cultivando la especie objeto del proyecto; volúmenes aproximados de producción, peso y tallas con que están llegando al mercado. Además es importante conocer el concepto del consumidor frente al producto que está recibiendo de la competencia, esto permitirá establecer parámetros para la producción.

b) En la formación de los precios del mercado deben considerarse tanto los de la competencia como los de los productos que llegan del medio natural. Los precios del producto objetivo de explotación dependerán de la

estructura de costos del proceso en que se incurren al sacar el producto final, al cual se le debe dar un margen de utilidad, que le permita mantenerse en un mercado de competencia. Si los costos de producción y mercadeo son superiores a los precios detectados en el estudio de mercadeo, los productos del proyecto no serán viables y se podría desistir de la iniciativa de inversión.

c) El sistema de comercialización debe ser identificado con el fin de analizar con detenimiento el conjunto de agentes que vienen participando dentro de los canales. Estos relacionados con los mercados que abastecen, y hasta qué punto y que forma deberán tenerse en cuenta para la distribución del producto del proyecto.

6. ELABORACIÓN DEL PERFIL BIOTECNOLÓGICO Y TÉCNICO

Aunque en el texto se trata primero la identificación del mercado y después el perfil técnico y biotecnológico (Ingeniería Conceptual), debemos recordar que en la práctica son dos actividades interrelacionadas que se llevan a cabo en forma simultánea. Esto es así porque en últimas, la selección de algún segmento de mercado tiene una incidencia directa sobre el diseño técnico que se adopte.

6.1 PERFIL BIOTECNOLÓGICO DEL CULTIVO

Debemos partir de la idea que la acuicultura es algo más que almacenar organismos vivos en el agua, alimentarlos y obtener ganancias. Es una técnica que requiere de cuidados y una atención constante para alcanzar su éxito como empresa.

Los productos acuícolas se producen de acuerdo con un determinado sistema biotecnológico establecido para cada especie. Por esta razón, cada metodología se forma independiente y sobre esta individualización se presentan alternativas de paquetes tecnológicos que mantienen relación en tiempo y espacio a través de la combinación de los diferentes factores de la producción (Fig. 1), que deben conducir a la colocación del producto cuando lo requiere la demanda, en forma, lugar y tiempo deseados.

Esta combinación optimizada[3] de los insumos y de las materias primas se orientan hacia la especie objeto de cultivo, estableciendo el **perfil biotecnológico** (Arredondo, 1988) de estos organismos.

Este perfil a *grosso modo* debe dar a conocer:

a) **La biología general de la especie** que se piensa cultivar, entre otros: ciclo de vida, hábitos alimenticios, desarrollo embrionario, desarrollo larval, hábitos reproductivos, distribución geográfica de la especie, características ecológicas y hábitat natural, etc.

b) **Selección de la especie:** se deben explicar los criterios bajo los cuales se ha decidido cultivar determinada especie; estos criterios de selección pueden ser:

- Condiciones climatológicas adecuadas para la especie.
- Descripción de la localización del piso térmico.
- Calidad adecuada del recurso hídrico.
- Disponibilidad de la semilla, bien sea del medio natural o artificial, estimando y sustentando la suficiente existencia sobre todo cuando son del medio natural.
- Disponibilidad tecnológica para el cultivo.
- Tasa de crecimiento.
- Conversión alimenticia.

[3] La combinación optimizada hace referencia a los diferentes paquetes biotecnológicos diseñados para mantener vivos, producir y manejar las especies aptas para el cultivo. Al establecer los perfiles biotecnológicos se determinan las alternativas técnicas para los organismos y la producción.

- Aceptación de la especie en el mercado.
- Precios en el mercado nacional o internacional cuando estos productos buscan la exportación.

Debe tenerse en cuenta que muchas granjas de cultivo de camarón han considerado obtener la semilla del medio natural; sin embargo, una vez puesto en marcha el proyecto, detectan insuficiente disponibilidad o alta estacionalidad, lo cual no permite abastecer los requerimientos de la granja.

c) **Talla de la especie:** debe considerarse el tamaño a producir, el cual está relacionado con lo esperado por el consumidor y detectado en el estudio de mercado; en la práctica de cualquier cultivo acuático no todos los organismos se desarrollan de igual forma, están influidos por las condiciones ambientales (clima, temperatura, parámetros físico químicos, etc.). El tamaño del individuo está en función del tiempo y de los insumos que se le suministra para el engorde, esto según la especie a cultivar.

   Así mismo se anotará la talla de la especie hidrobiológica al ser sembrada, permitiendo comparaciones en el tiempo y permitirá observarla contra la conversión alimenticia que viene acumulando.

d) **Densidad del cultivo:** indica el número de organismos por unidad de área, expresado generalmente en número de individuos por metro cuadrado, metro cúbico o número de individuos por hectárea.

Este aspecto es importante, ya que está en función de la técnica del cultivo que se vaya a aplicar y representa el punto de partida de las estimaciones de la producción y costos hacia el futuro.

6.2 Perfil técnico del cultivo

Para hablar del perfil técnico debe considerarse tanto el tamaño como la localización del proyecto, pues estos conceptos están íntimamente relacionados con la ubicación y el plan de producción.

El perfil técnico viene a ser la combinación óptima de los factores de la producción (Fig. 1) presentes al nivel de la microlocalización. Entre otros se tiene la ingeniería de diseño, el terreno disponible y sus características climatológicas, topográficas, calidad del agua, mano de obra disponible, estimación del espejo de agua, perfil de la estructura de suelos (Polo, 1982). Lo más probable es suponer que la caracterización de cada microlocalización presenta diferencias entre ellas.

El éxito en el cultivo de productos hidrobiológicos depende fundamentalmente de la calidad y cantidad del agua[4]; conociendo lo anterior se puede manejar alternativas de cultivo más apropiadas, asegurando una mayor producción, optimizándolo mediante el adecuado manejo del tamaño y el mejor aprovechamiento de la localización.

En esta parte del proyecto se describirá el proceso general del cultivo que se va a aplicar, indicando cada una de las etapas y sus componentes, además un cronograma del proceso y los aspectos relativos al manejo de los organismos, tales como alimentación, control de parámetros físico-químicos del agua, muestreo, bombeo, mantenimiento de los estanques y fertilización.

El flujograma de los aspectos que conforman el proceso técnico y operativo de la producción, resulta de gran importancia, ya que además de presentar el panorama global de las actividades que se van a realizar durante el ciclo del cultivo, servirá de base para definir los **requerimientos de capital de trabajo del proyecto**.

Entonces, es conveniente presentar un **diagrama de flujo del proceso para el cultivo**, etapa por etapa, con sus respectivos resultados, los cuales presentan relación con el mercado.

Por otro lado es conveniente presentar en el diagrama aspectos tales como:

---

[4] Todas las empresas acuícolas requieren de un buen abastecimiento de agua, dependiendo de la especie y de la técnica de cultivo; las características del abastecimiento y del agua misma, generalemente determinan el éxito o el fracaso.

a) **Preparación de los estanques o piscinas:** antes y después de cumplida su función como medio de cultivo. Esto permite determinar si hay necesidad de labores complementarias para su siguiente uso. Otras actividades para tener en cuenta son:

- Colocación de filtros para el lavado o llenado de los estanques.
- De acuerdo con los perfiles del suelo, definir si los estanques requieren fertilización o solo mantenimiento para sostener la productividad primaria. Debe considerarse que la realización de esta actividad preparatoria implica un período de tiempo para cualquier tipo de cultivo; esto a su vez origina los costos que deberán estimarse e incluirse dentro de los **costos de operación**.

  Respecto al número de organismos requeridos es conveniente prever un margen adicional, dado que algunos de ellos son menos resistentes y mueren. De acuerdo con lo anterior, el margen de seguridad para lograr la cosecha esperada deberá disponer de un número mayor de organismos para cubrir la mortalidad.

b) **La siembra en el proceso de cultivo:** es la etapa con la que se inicia el cultivo, durante la cual las especies escogidas para producir estarán en estado de postlarvas, alevín, los cuales se desarrollarán hasta llegar a juveniles y a partir de este momento se inicia la fase de engorde. En esta fase deben realizarse diferentes actividades que deberán considerarse cualitativa y cuantitativamente en el proyecto:

- Cantidad de alimento suministrado
- Recambios de agua
- Medición de parámetros físico-químicos
- Muestreos de crecimiento (talla y peso)

  Es importante considerar los equipos necesarios para las diferentes actividades de control, muestreos, alimentación, etc. que representen conceptos de inversión o de costo que deberán incluirse en los cálculos económicos y financieros.

c) **El proceso de cosecha:** se realiza cuando las especies han alcanzado la talla comercial requerida; esta actividad debe prever varias acciones simultaneas con la finalidad de concluir exitosamente el proceso, que serán:

- Vaciado del estanque
- Verificación final de la calidad
- Captura o extracción de los individuos
- Preparación, presentación del producto
- Conservación del producto

Cada una de estas acciones requieren de implementos y equipos, los cuales deberán considerarse como inversiones y operación en los cálculos económicos y financieros.

Una vez obtenido y procesado el producto se procede a su **distribución** y **comercialización**, que se consideró en el estudio del mercado, presentado en los párrafos anteriores.

6.3 RELACIÓN DEL TAMAÑO DE PROYECTO Y EL PLAN DE PRODUCCIÓN ACUÍCOLA

El tamaño del proyecto acuícola presenta importancia económica frente a las inversiones en infraestructura para alcanzar una determinada producción, una buena apreciación sobre las dimensiones a construir evitará la capacidad ociosa, permitiéndole manejar en futuras ampliaciones la capacidad instalada.

Para el dimensionamiento del tamaño se pueden tener en cuenta:

- El número de estanques, las dimensiones, la forma geométrica, la cual depende del relieve topográfico y la tecnología, manteniendo un efecto económico en la inversión.
- El tamaño y/o capacidad instalada del proyecto se puede medir en superficie o espejo de agua estimada para la producción.

- El tipo de acuicultura industrial que se quiere desarrollar (especie de cultivo, intensiva y semiintensiva)
- El tamaño debe ser controlable a largo plazo, permitiendo expansión de la capacidad instalada.
- Y finalmente de los recurso financieros del acuacultor.

El Plan de producción recoge los aspectos biotecnológicos, técnicos de mercado[5] y de ingeniería del diseño. Los cálculos y estimaciones para el plan de producción estarán supeditados a la duración del proceso productivo para alcanzar la talla comercial que requiere cada especie. El proceso productivo se puede iniciar una vez que se cuente con los primeros estanques, e ir desarrollándolo paralelamente a la construcción de la infraestructura. De tal manera que el proyecto permitirá programarse en porcentajes de crecimiento, hasta alcanzar la totalidad de la capacidad instalada que se haya previsto.

Es necesario programar la producción con objeto de mantener oferta durante todo el año y sacar el mayor provecho de su venta. Desde luego, esto debe considerarse cuando son series de estanques y el tamaño del proyecto presenta una buena capacidad instalada[6].

Si se pretende entrar al negocio de la acuicultura y obtener ganancias, no debe olvidarse cómo construir los estanques, el tamaño, el número y el equipo a utilizar, asegurar el suministro de agua y de crías, estudiar el cuándo y cómo cosechar y localizar un mercado y además calcular los costos en tiempo y dinero. Tres elementos de éxito establecen competitividad a la acuicultura en cualquiera de los proyectos que se puedan desarrollar: calidad, cantidad y disponibilidad; esto es el distintivo de las empresas que superan las dificultades biológicas en cuanto a reproducción y levante para los planes de producción sucesiva durante un período económico que haya sido previsto.

Garantizar la venta al por mayor o al detal es hablar de un buen producto. Para lograrlo es necesario saber la cantidad y la fecha en la que el producto está disponible; esto se logra establecer mediante la planeación de la producción, sin olvidar que se trabaja con organismos vivos y una vez procesados son de alta perecibilidad.

Todo lo anterior resulta de una cuidadosa planeación del trabajo y de una excelente administración. Siguiendo estas sugerencias, sin lugar a dudas, se obtendrá una buena ganancia cultivando productos pesqueros.

7. FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA PRODUCCIÓN, LAS FINANZAS Y LA ECONOMÍA DE LA ACUICULTURA

El tamaño del proyecto de acuicultura mide la relación de la capacidad productiva y se relaciona con la oferta y la demanda de los productos pesqueros y acuícolas, tomando como base tres consideraciones:

1. **Tamaño normal**: corresponde a aquel volumen de producción que con el diseño biotecnológico establecido y la capacidad de carga estimada para los estanques se logren operar con los menores costos unitarios.

2. **Tamaño máximo**: corresponde al volumen máximo de producción que se puede alcanzar en función del espejo de agua, llevando al máximo el uso de los estanques, independientemente de los costos que se puedan generar, pero presenta el inconveniente frente a los productos en cuanto a la falta de homogeneidad y su calidad deficiente, con tendencia a la disminución de la rentabilidad.

3. **La demanda**: proporcionada por el estudio de mercadeo, condicionante del tamaño del proyecto que debe ser menor que la demanda, pero sin desconocer las ampliaciones que se requieran para el proyecto en el futuro.

---

5 Debe tenerse en cuenta que la oferta de productos derivados de la biotecnología como alevinos, nauplios, larvas, poslarvas etc. hacen parte del plan de producción y se pueden convertir en ingresos para el proyecto.

6 Esta consideración no es alcanzable cuando se habla de pequeña escala o estanques de subsistencia, donde los resultados pesqueros se convierten en ciclos paralelos al crecimiento de la especie y debe esperarse a su cosecha para continuar con una nueva siembra.

Para un proyecto de acuicultura el tamaño se entenderá económicamente como la **capacidad de producción** en cuanto al volumen del producto que se puede generar en la unidad de tiempo y el **tamaño** que se haya determinado en función del espejo de agua y cuyo resultado económico estará medido en términos de biomasa total.

Esta capacidad de producción presenta una relación directa con el diseño tecnológico ajustado para el cultivo seleccionado, acondicionando y limitando económicamente los resultados en el proceso productivo del proyecto, de tal manera que los beneficios económicos se supeditan a la siguiente función (Fig. 3):

$$B_e = f\,(Q_t) = f\,(Q_e * P_v) - (C_{sp} + C_m)^7 \qquad [\ 1\ ]$$

Las condiciones tecnológicas de los cultivos pueden ser por lotes donde se suministran materia prima para obtener un volúmen determinado de producto, bien sea de diferente talla y peso. En cambio la producción en serie, corresponde a un producto estandarizado en talla y peso y se puede ofrecer constantemente.

Los parámetros técnicos se pueden formular en funciones generales de producción, las que a su vez pueden considerarse económicamente en constantes o variables del sistema productivo acuícola. Es así como la función de producción, desde el punto de vista económico se puede plantear con base a las estipulaciones previstas en la identificación de los aspectos de la ingeniería conceptual y de la ingeniería de diseño.

$$f\,(I_n) = f\,(P_c C_o;\ P_c.T_r;\ P_c.M_q;\ P_c.E_q;\ldots)^8 \qquad [\ 2\ ]$$

$$f\,(I_n) = f\,[\,P_c\,(C_o,\ T_r,\ M_q,\ E_q\ \ldots)\,] \qquad [\ 3\ ]$$

$$f\,(Q_t) = f\,(C_a,\ A_r,\ D_c,\ I_s,\ F_e,\ B_t,\ R_e,\ O_t\ \ldots) \qquad [\ 4\ ]$$

$$f\,(Q_t) = f\,P_c\,(C_a,\ A_r,\ D_c,\ I_s,\ F_e,\ B_t,\ R_e,\ O_t\ \ldots) \qquad [\ 5\ ]$$

Las funciones expuestas, representan independientemente los resultados técnicos y los resultados económicos para formular el plan de producción cuya base de cálculo tiene su fundamento matemático, considerando la proporcionalidad que le corresponde a cada elemento de la inversión y de la operación (Fig. 3).

7.1 EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA A NIVEL DE LA PREFACTIBILIDAD

El estudio de preinversión es un instrumento que ayuda a tomar decisiones sobre las propuestas de inversión que se está considerando. Para facilitar esta desición, los costos de inversión y de producción se han de orgarnizar en forma clara, teniendo en cuenta que la rentabilidad de un proyecto dependerá en definitiva de la magnitud, la estructura de éstos y de su oportunidad.

Cuando se organizan los componentes de los costos de inversión y de producción, se debe prestar especial atención al momento en que esos gastos y costos se han de hacer efectivos, ya que ello influye en el flujo de fondos o liquidez del proyecto y en su Tasa Interna de Retorno. Una vez obtenidos los calendarios de ejecución y producción del proyecto, dichos costos se deben planificar sobre una base anual de conformidad con los requerimientos del análisis de flujo de fondos.

La evaluación de un proyecto de inversión, en su etapa de prefactibilidad, corresponde a un juicio provisional acerca de las características tecnológicas y de mercado. Se trata más bien de encontrar lo más rápido posible las pautas para determinar si es viable económicamente el proyecto en el corto plazo y merece elevarse a la factibilidad económica (Fig. 2).

---

7 Simbología: B_e = Beneficios económicos; Q_e = Producción económica; Q_t = Producción técnica; P_v = Precio de venta; C_{sp} = Costos de producción; C_m = Costos de comercialización.

8 La simbología que forman las ecuaciones: C_a = conversión alimenticia. A_r = área. D_c = densidad de siembra. I_s = concentrado, alimentación. F_e = fertilizantes. B_t = biomasa total. R_e = recambio de agua. O_t = otros. P_c = precio de la materia prima. Tr= Terreno. I_n = inversión. C_o = construcciones. Mq= maquinaria. E_q = equipo auxiliar.

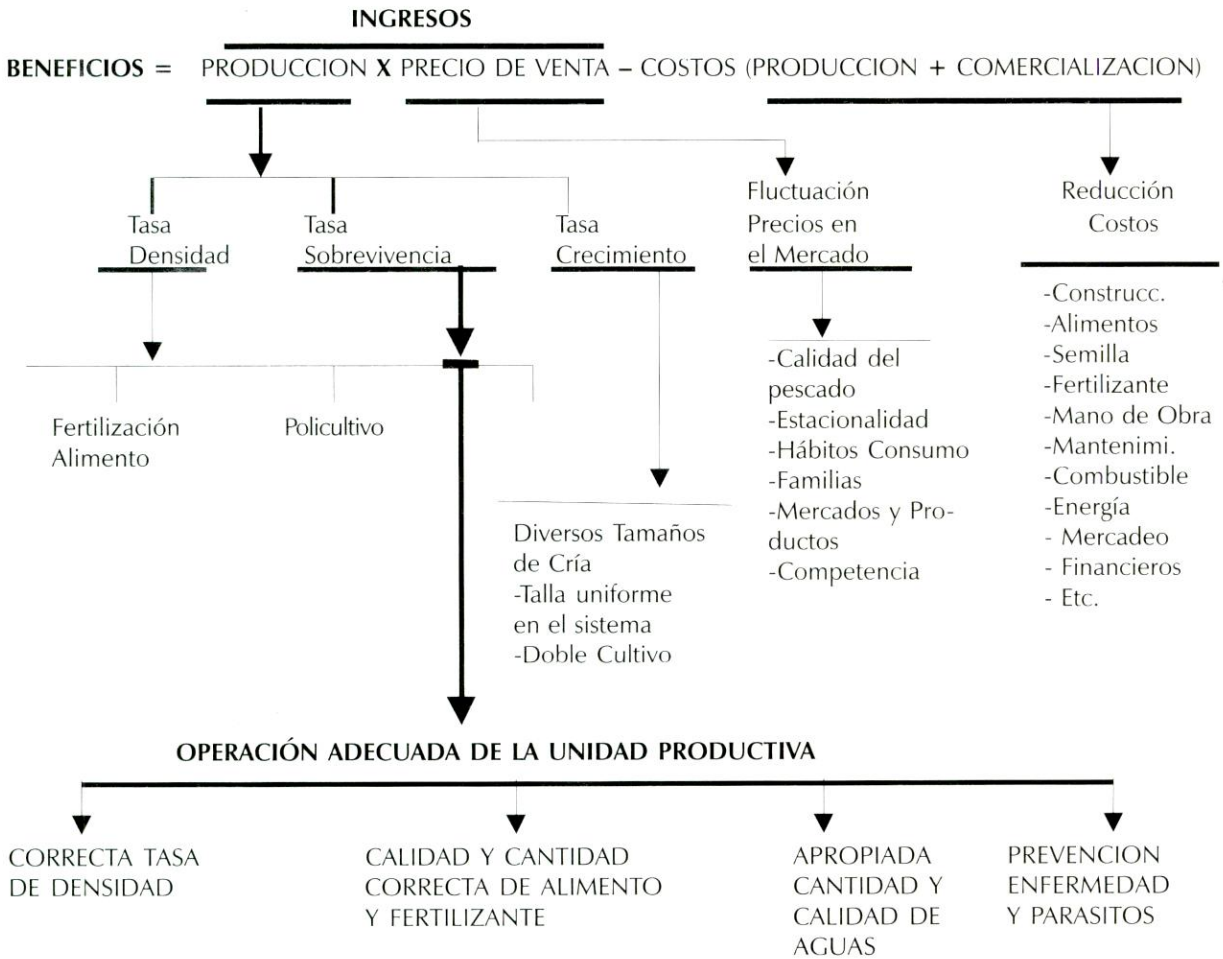


FIGURA 3. Interrelación de factores en la bioeconomía de la unidad de producción acuícola

7.2 Plan de inversión para la producción acuícola

Es conveniente elaborar una primera aproximación de la inversión requerida en instalaciones y equipos, cuya base de cuantificación va apareciendo en los diseños técnicos biotecnológicos y de la ingeniería de detalle. Estas inversiones se consideran como elementos que permanecerán durante la vida económica del proyecto y se pueden valorar.

Generalmente la mayor parte de las inversiones se realizan en el período denominado económicamente **etapa de instalación o etapa de inversión**, el cual puede establecerse en tiempos cronológicos para su desarrollo.

Esta etapa comprende el capital fijo (activos fijos y diferidos) y el capital de explotación neto, donde el capital fijo está constituido por los recursos requeridos para construir y equipar el proyecto de inversión y el capital de explotación corresponde a los recursos necesarios para mantener en operación continua el proyecto.

$$a)\ f(I_f) = f[P_c(C_o; A_r; T_r...)] \quad [6]$$

$$b)\ f(I_{fo}) = f[M_q; V_c; ...] \quad [7]$$

[9] Simbología: I_f= inversión fija; I_o= inversión de operación y/o capital de trabajo (K_t); I_{nt}= inversión neta total; A_r = área inundada; T_r= terreno; I_{fo} = inversión fija equipo de operación; V_e = vehículo; M_q= maquinaria.

c) $f(I_o) = f(k_i)$ [8]

d) $f(I_{nt}) = f(a + b + c)$ [9]

7.2.1 Inversiones en activos fijos

Se consideran activos fijos a la infraestructura necesaria para la operación de la granja. Comprende el terreno y la preparación, construcción de edificios y otras obras de ingeniería civil, maquinaria y equipo de planta incluyendo equipos auxiliares.

Los activos fijos están sujetos a **depreciación**. Este concepto corresponde a un costo de un activo a lo largo del tiempo, que representa el desgaste de la inversión en obra físicas y equipamiento involucrado en la producción. A los terrenos económicamente no se les asigna depreciación.

La tabla 1 puede tomarse como una primera aproximación para establecer las inversiones que corresponderán al tipo de cultivo seleccionado.

TABLA 1. Algunos conceptos de inversion fija para una granja acuícola

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario	Total
1. Terreno, lote, finca 2. Obras civiles 2.2 Trabajos preliminares 2.3 Descapote 2.4 Estanques 2.5 Topografía 2.6 Movimiento de tierra 2.7 Diques 2.8 Desagües 2.9 Canales 2.9 Monjes 3. Equipos 4. Otros				
TOTAL INVERSIÓN FIJA				

7.2.2 Equipo de servicios

Los equipos de servicios corresponden a aquellos elementos necesarios para manejar, controlar y reproducir, las condiciones previstas en lo estipulado sobre ingeniería conceptual para el cultivo seleccionado del proyecto.

Estos equipos a su vez mantienen la depreciación dependiendo de la vida útil que cada uno tiene en el proceso productivo. Se pueden destacar: maquinaria, equipo, accesorios, herramientas, vehículos, infraestructura de servicios de apoyo (agua, luz, energía, teléfono) bombas, balanzas, herramientas, motores, aparejos de pesca, equipo de medición (ph. alcalinidad, oxígeno, etc.), termómetros, canastas, transportadores, etc.

BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE, J. A. 1983 Introducción a la Evaluación Económica y Financiera de Inversiones Agropecuarias. IICA.

ARREDONDO, L. 1988Conferencias. Técnicas biotecnológicas del Cultivos Piscícolas. UNAM-FAO, México.

FONTAINE, E. 1986. Evaluación Social de Proyecto. ESAP.

FAO-AQUILA-UNAM. 1988. Primer Curso de Planeación y Gerencia en Acuicultura. República de México.

ILPES. 1973. Guía para la Presentación de Proyectos . Ed. Siglo XXI.

INFANTE, A. 1976. Evaluación Económica de Proyectos de Inversión. Banco Popular.

POLO, G. 1982. Ensayos económicos para Producción Racional Piscícola. Análisis comparativo de tres tratamientos. Inderena.

POLO, G. 1982. Ensayos Económicos para Producción Piscícola, Modelo Econométrico de Productividad. Revista Divulgación Pesquera, Vol XXI, Nº 1, Inderena.

POLO, G. 1989. Fundamentos de Mercadeo Pesquero . Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; Tunja.

POLO, G. 1989. Conferencias del Curso: Formulación y Evaluación Económica para Proyectos de Acuicultura. Universidad Jorge Tadeo Lozano.

POLO, G; H. RODRIGUEZ y A. VILLANEDA. 1982. Evaluación Técnico-Económica para el Cultivo Intensivo de Mojarra Plateada Informe técnico. INDERENA. Bogotá.

SALAZAR, G. y G. POLO. 1993. Evaluación de un policultivo de cachama blanca, mojarra roja y carpa espejo. Boletín Científico. No 1. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura INPA. Bogotá.

SAPAG, S. y R. SAPAG. 1986. Fundamentos de Preparación y Evaluación de Proyectos. Ed. Presencia.

Capítulo III. LA CALIDAD DEL AGUA Y LA PRODUCTIVIDAD DE UN ESTANQUE EN ACUICULTURA

Horacio Rodríguez Gómez [1]
Eduardo Anzola Escobar [2]

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua está dada por el conjunto de propiedades físicas, químicas y su interacción con los organismos vivos. Con respecto al cultivo de organismos acuáticos, cualquier característica del agua que afecte de un modo u otro el comportamiento, la reproducción, el crecimiento, los rendimientos por unidad de área, la productividad primaria y el manejo de las especies acuáticas es una variable de calidad de agua. Un estanque con agua de buena calidad producirá más que un estanque con mala calidad; además, es importante tener en consideración que hay diferentes factores que afectan la población de un estanque, pero sólo unos cuantos son posible de tener en cuenta, los cuales deben ser evaluados periódicamente, con el fin de aplicar los correctivos necesarios.

Como uno de los objetivos de la acuicultura es obtener los mejores rendimientos, es necesario conocer las condiciones ecológicas que hay en los estanques y los procesos que allí se realizan.

En este capítulo se analizarán los factores ambientales más importantes que afectan a la comunidad de un estanque y la forma de controlarlos para obtener los mejores rendimientos. De manera arbitraria se han dividido en **tres grupos: Físicos, químicos y biológicos,** pero en la naturaleza no están separados debido a que no se puede separar la producción de oxígeno (químico) con la intensidad de luz (físico); la producción de desechos metabólicos (productos nitrogenados, químico) y éstos a su vez con la densidad y las prácticas de alimentación.

Por otro lado es importante tener en cuenta que el agua para abastecer un estanque puede ser de diferentes fuentes: **manantial, río, embalse, laguna, pozo**, etc. y tanto su calidad como su cantidad varía.

1. EL RECURSO AGUA

El suministro del agua a la tierra se hace a través del ciclo hidrológico en el cual el agua de la atmósfera cae a la superficie en forma de lluvia y de esta manera abastece los depósitos superficiales como los ríos y los lagos, humedece el suelo y carga los acuíferos (estratos subterráneos de suelo permeable o roca). La mayor parte del agua vuelve al mar directamente a través del flujo de agua subterránea costera o a través de las corrientes (quebradas, manantiales, rios) que se dirigen al mar, completando de esta manera el ciclo hidrológico (Fig.1).

Es importante mencionar que las gotas de agua en la atmósfera se contaminan con diferentes sustancias como grasa originada por la respiración del hombre, animales y las plantas, por las emanaciones de los gases naturales, los humos y gases de fábricas, etc. Dentro de los gases hay unos benéficos como son el CO_2 y el O_2, pero también se enriquece de otros gases contaminantes como el CO, NH_3, SO_2, N_2, y de diversas sustancias orgánicas e inorgánicas y de esta forma el agua que cae a la superficie no llega como agua destilada sino cargada de diferentes compuestos que pueden afectar los reservorios de agua. Es bien conocido principalmente en Europa y Estados Unidos las denominadas lluvias ácidas que son la incorporación de los óxidos de azufre y nitrógeno al agua atmosférica,

1 Biólogo. División de Recursos Acuícolas, INPA, Bogotá. Correo electrónico: horacrod@inpa.gov.co

2 Biólogo. Oficina INPA en San Marcos (Sucre).

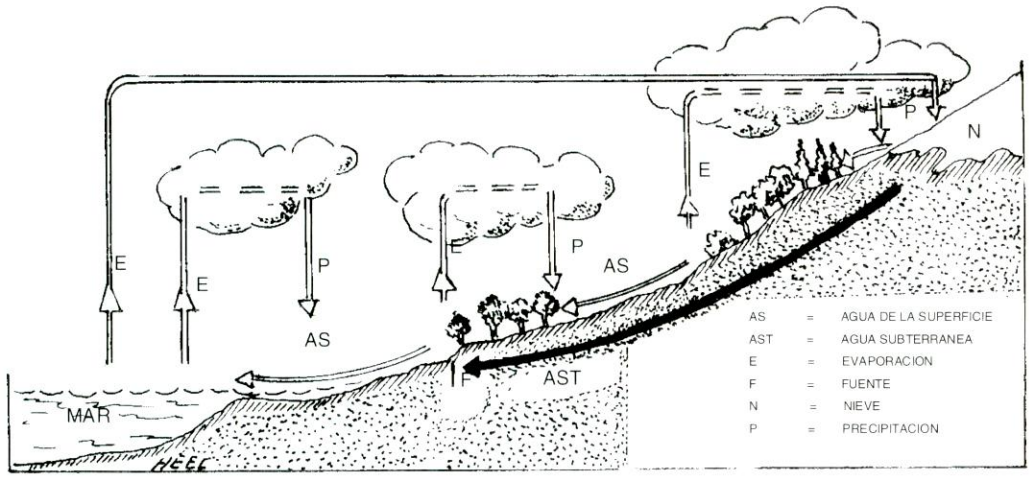


FIGURA 1. Ciclo hidrológico (adaptado de varios autores).

formándose ácido sulfúrico y nítrico que bajan el pH a extremos de 3.5, la cual afecta la vegetación y los reservorios de agua.

El agua que penetra la superficie terrestre va cargada de diferentes gases que en su transcurso van disolviendo minerales según la formación geológica de la región. De esta manera al agua se van incorporando diferentes gases y minerales en solución, de ahí que dos parámetros muy importantes para la acuicultura, como son la alcalinidad y la dureza de determinada fuente de agua son el reflejo de la geología de la región. Adicionalmente el agua va incorporando pesticidas, sustancias químicas, desechos orgánicos de actividades humanas y pecuarias. El agua en superficie y a lo largo de su recorrido (manantial, quebrada, río, laguna, etc) empieza a interactuar con los organismos biológicos, con los nutrientes, el oxígeno, el dióxido de carbono y la energía solar y se inicia el proceso de productividad. El acuicultor debe tener en cuenta que el agua existe en la naturaleza en cantidad limitada y que está distribuida en un modo desigual en el tiempo y en el espacio.

2. FACTORES A CONSIDERAR EN LA ELECCIÓN DE UN CUERPO DE AGUA PARA UN PROYECTO ACUÍCOLA

2.1 Estado de la cuenca

Para escoger el lugar donde se proyecte establecer un proyecto acuícola es necesario conocer el estado o problemática de la cuenca. En términos generales los desequilibrios hídricos en una cuenca se generan básicamente por:

- Mal manejo de los suelos a causa de:
  - Deforestación y quemas
  - Cultivos en pendientes muy pronunciadas
  - Sobre pastoreo de ganado

- Contaminación por:
  - La industria
  - Actividades agropecuarias (agroquímicos y pesticidas)
  - Vertimientos de aguas negras y residuos agropecuarios
  - Deficiencias en la disposición y tratamiento de residuos líquidos y sólidos

- Explotación inadecuada de:
  - Yacimientos mineros, etc .
  - Canteras
  - Material de arrastre

- Obras civiles mal diseñadas
  - Carreteras, caminos y puentes (Se bota la tierra y materiales sobrantes a los ríos y quebradas represándolos y causando sedimentación)
  - En represas y embalses se sedimentan, se regula el caudal de acuerdo con su objetivo y se desvían los cauces
  - Desconocimiento del impacto ambiental de las obras de regulación hídrica

Como consecuencia de la problemática mencionada, la cuenca hidrográfica se degrada y se presentan, entre otros, los siguientes efectos:

- Erosión y aporte de sedimento al agua
- Disminución de caudales
- Deterioro de la calidad del agua
- Sequías
- Crecientes y avalanchas
- Disminución de la productividad natural del agua
- Generación de plagas y enfermedades

3. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Las diferentes variables que intervienen en un estanque como son las relaciones tróficas, biocenosis establecidas, capacidad de reciclaje de los nutrientes, autoproducción y autodepuración de los mismos y los parámetros físico-químicos del agua determinan la variación, cantidad y calidad de los organismos que viven en él. Toda especie tiene un rango óptimo para desarrollarse normalmente, el cual está básicamente dado por la temperatura, oxígeno, tipo y cantidad de nutrientes sólidos disueltos, salinidad, pH, dureza, alcalinidad, etc.

3.1 PARÁMETROS FÍSICOS

3.1.1 Temperatura

La temperatura rige algunos parámetros físicos, químicos y biológicos, tales como la evaporación y la solubilidad de los gases. Dentro de los biológicos están los procesos metabólicos como la respiración, nutrición, actividad de las bacterias en la descomposición de la materia orgánica, etc; de ahí la necesidad de conocer y evaluar los cambios de temperatura del agua. Es importante considerar que los peces no tienen capacidad propia para regular su temperatura corporal y ésta depende del medio acuático en que viven.

Según Welch (1952) hay dos grupos de factores que afectan la temperatura del agua:

AUMENTA LA TEMPERATURA DEL AGUA	REDUCE LA TEMPERATURA DEL AGUA
• Radiación solar y del cielo	• Radiación devuelta
• Calor atmosférico	• Conducción de calor a la atmósfera.
• Condensación de vapor de agua	• Conducción de calor al fondo
• Conducción de calor del fondo	• Evaporación.
• Calor de reacciones químicas	
• Calor de fricción producido por movimiento de las partículas del agua	

La conductividad de calor depende de las diferencias de temperatura y del área de contacto entre el agua y el aire. El viento aumenta esa área y además crea turbulencia, mezcla lo estratos y dispersa el calor absorbido a través de la columna de agua.

Como es lógico en un estanque la radiación del sol y del cielo corresponden a la principal fuente de energía calórica; ésta es absorbida por el agua y se convierte en calor, por consiguiente cualquier factor que influya sobre la penetración de los rayos solares (por ejemplo materia en suspensión) afectará el calentamiento del agua, lo cual causará diferencias térmicas entre los estanques en un mismo sitio y a su vez afecta la composición del planctón, la distribución de los organismos en la columna de agua y la productividad del estanque.

Por lo general los estanques para acuicultura son poco profundos y no se presentan diferencias marcadas de temperatura en la columna de agua, debido a que la brisa puede mezclar el agua y distribuir la temperatura absorbida. En cambio en lagos grandes y profundos existe una marcada diferencia entre la capa superficial y el fondo (Fig. 2). En las regiones tropicales se presenta un patrón de estratificación diario, durante el cual las capas superficiales que absorben la energía solar se calientan y forman una capa definida, por la noche las capas superficiales pierden calor y alcanzan la misma temperatura de las capas inferiores y se mezclan.

La temperatura influye sobre la biología de los peces e invertebrados, condicionando la maduración gonadal, el tiempo de incubación de las ovas, el desarrollo larval, la actividad metabólica y el ritmo de crecimiento de larvas, alevinos y adultos. Por lo general las reacciones químicas y biológicas se duplican cada vez que hay un aumento de 10°C de temperatura, por lo tanto un organismo acuático consume el doble de la cantidad de oxígeno a 30°C que a 20°C. Es necesario tener en cuenta cómo se relaciona la temperatura con los otros procesos:

- El aumento de temperatura disminuye la concentración de oxígeno disuelto (ver oxígeno).
- Temperaturas altas y pH básico, favorecen que el amoníaco se encuentre en el agua en su forma tóxica.
- En el tiempo y grado de descomposición de la materia orgánica presente en el estanque. Es así como el consumo de oxígeno, causado por la descomposición de la materia orgánica, se incrementa a medida que aumenta la temperatura, restándole de esta manera el oxígeno disponible para los organismos presentes en el estanque.
- A mayor temperatura los fertilizantes se disuelven más rápidamente, los herbicidas son más efectivos, por ejemplo la rotenona se degrada más rápidamente y los tratamientos químicos en los estanques son afectados por la temperatura.
- A cada especie de pez hay que proporcionarle su rango de temperatura óptima para que realice normalmente sus procesos metabólicos y fisiológicos. De ahí que exista una clasificación en peces de aguas frías, como la trucha que son los que habitan aguas con temperaturas menores de 18°C; los de aguas templadas, por ejemplo la carpa, que se desarrollan mejor en agua entre 18° y 24°C , pero resiste aguas frías y finalmente los de aguas cálidas como la mojarra plateada, cachamas, camarón de agua dulce y el bagre, que habitan y se desarrollan óptimamente en aguas superiores a los 25°C.
- Los peces presentan poca tolerancia a los cambios bruscos de temperatura. Por esta razón hay que evitar el traslado de organismos de un lugar a otro cuando existe marcada diferencia y en tal caso hay que proceder a la aclimatación que consiste en dejar la bolsa en que se traen dentro del estanque hasta que se igualen las temperaturas, para luego hacer la liberación de estos.
- De otro lado cuando los organismos no están en su rango óptimo de temperatura, no comen, obteniéndose pérdida económica por gasto de concentrado y poco crecimiento.

3.1.2 Salinidad

En aguas continentales la salinidad corresponde a la concentración de todos los iones disueltos en el agua. Cuando la composición relativa de las sales es más o menos constante, la concentración total puede ser estimada de acuerdo con la concentración del ión dominante. Lo más usual para referirse a salinidad es el contenido de cloruros. La presión osmótica del agua se incrementa proporcionalmente con la salinidad y las diferentes especies de organismos acuáticos soportan la salinidad de acuerdo con sus requerimientos de presión osmótica.

Una de las formas más prácticas para determinar la concentración de todos los iones en el agua es evaluando la capacidad que tiene esta para conducir la corriente eléctrica, ya que a medida que aumenta la concentración de iones es mayor la conductividad.

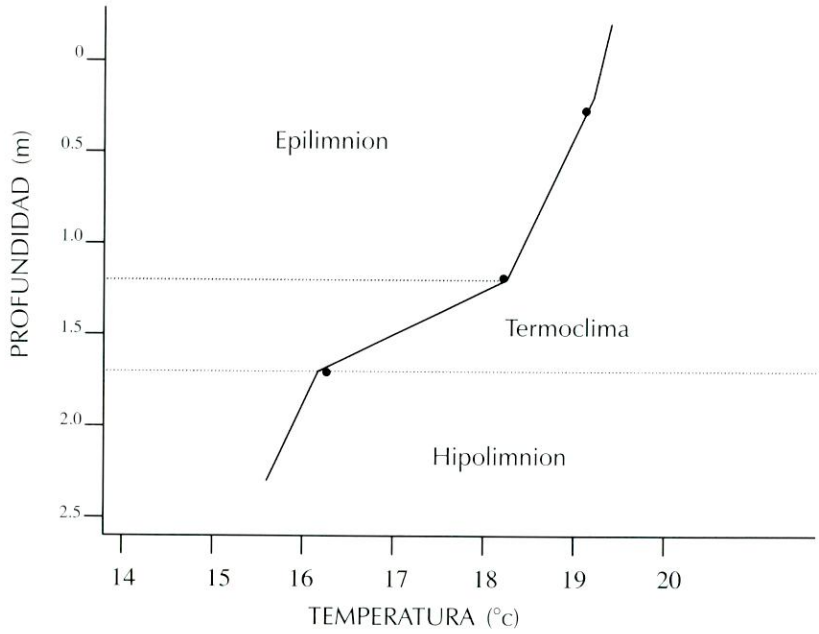


FIGURA 2. Estratificación térmica en el embalse del Sisga, en el año 1985

La gran mayoría de sólidos disueltos que hay en aguas naturales se originan por el contacto del agua con las rocas y el suelo. Cuando el agua lluvia percola a través de las diferentes capas del suelo va disolviendo y a la vez captando todo tipo de sustancias. Hepher (sin fecha) menciona que los factores que determinan la composición de los minerales disueltos son: el clima, la geología local, la topografía, la biología del agua y el tiempo; de la interacción entre esos cinco factores se puede establecer una variedad de concentraciones y de composiciones de sólidos disueltos en el agua.

La forma más eficiente de determinar la cantidad de sales inorgánicas es mediante la conductividad relativa del agua. Esa conductividad está directamente relacionada con la concentración de iones y se expresa en microhom/cm. Como la conductividad cambia con la temperatura, es necesario conocer la temperatura del agua durante la determinación.

Existe una gran diferencia de concentración total de sales disueltas como también de sus proporciones. Sinembargo, la gran mayoría está integrada por los siete siguientes iones: calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos (bicarbonatos), sulfatos y cloruros.

Por lo general el agua de las áreas de alta precipitación, donde los suelos son lavados constantemente, tienen una baja salinidad (150 a 250 mg/lt). En zonas de poca lluvia donde la evaporación es mayor que la precipitación, la salinidad del agua está en un rango de 500 a 2500 mg/lt. El agua de pozos profundos tiene valores altos de salinidad que generalmente está dada por la concentración de iones de sulfatos. En la tabla 1 se presenta la concentración máxima de salinidad que soportan algunas especies para su normal crecimiento.

3.1.3 Luz

Es bien conocido que los vegetales son los productores primarios de materia orgánica por medio del proceso fotosintético, cuando reciben luz solar, de ahí el gran papel que juega el sol en los procesos biológicos.

Cuando la intensidad de la luz es muy alta (80 kiloluz) se presenta una marcada disminución de la actividad de la fotosíntesis, aparentemente debido a que la radiación ultravioleta afecta los cloroplastos.

TABLA 1. Concentración máxima de salinidad que permite el crecimiento normal de algunas especies cultivadas. (Tomado de Boyd y Lichtkoppler,1979)

ESPECIE	SALINIDAD (mg/lt)
Ctenopharingodon idella (carpa herbívora)	12000
Cyprinus carpio (carpa común)	9000
Hypophtalmichtys molitrix (carpa plateada)	8000
Ictalurus punctatus (bagre de canal)	11000
Oreochromis niloticus (mojarra plateada)	24000
Oreochromis mossambicus	30000
Mugílidos (lisa, lebranche)	14500

En estanques de cultivo donde se efectúa abonamiento, la penetración de los rayos solares es menor que en lagos o aguas naturales, debido a que aquellos tienen mayor densidad de población de plancton y mayor turbidez; está última dada básicamente por la actividad de los organismos de cultivo que alcanzan a remover partículas del fondo o por actividades propias de su alimentación como es el caso de la carpa. En algunos casos, como en la incubación de huevos de trucha hay que mantenerlos a poca luz.

3.1.4 Evaporación

La evaporación es una acción que aumenta la concentración de sales y actúa como regulador de la temperatura del agua y además con la filtración son los causantes de la disminución del volumen de agua de un estanque.

La pérdida de agua por evaporación varía considerablemente de una región a otra, de la época del año y de la presión barométrica. Además el viento ejerce un importante papel al causar turbulencia, aumentando de esta manera el área de evaporación y reduciendo la humedad relativa sobre la superficie del agua.

Con respecto a la composición química del agua, está relacionada la evaporación con la concentración. A mayor concentración de sales menor evaporación. El agua de mar se evapora de 2 a 3 % veces menos que el agua dulce.

3.1.5 Turbidez

La turbidez del agua está dada por el material en suspensión bien sea mineral u orgánica y el grado de turbidez varía dependiendo de la naturaleza, tamaño y cantidad de partículas en suspensión.

En acuicultura la turbidez originada por el plancton es una condición necesaria. Entre más plancton mayor la turbidez, y éste parámetro se puede medir mediante el denominado Disco Secchi, el cual consiste en un disco de aproximadamente 30 cm de diámetro que posee cuadrantes pintados alternadamente en blanco y negro, amarrado a una cuerda calibrada y tiene un peso en el lado opuesto, de tal manera que permite hundirse fácilmente en el agua. La visibilidad del Disco Secchi rara vez excede de un metro en sistemas productivos para peces (Fig. 3).

Para determinar la visibilidad del Disco Secchi hay que permitir que este descienda hasta que desaparezca y anotar está profundidad. Contrario a la turbidez causada por el plancton, la cual es benéfica para la comunidad de un estanque, existe la turbidez causada por partículas de arcilla en suspensión que actúa como filtro de los rayos solares y afecta la productividad primaria del estanque y por consiguiente disminuye la actividad fotosintética del fitoplancton y su producción de oxígeno.

La turbidez limita la habilidad de los peces para capturar el alimento concentrado y por consiguiente éste irá al fondo del estanque incrementando la cantidad de materia orgánica.

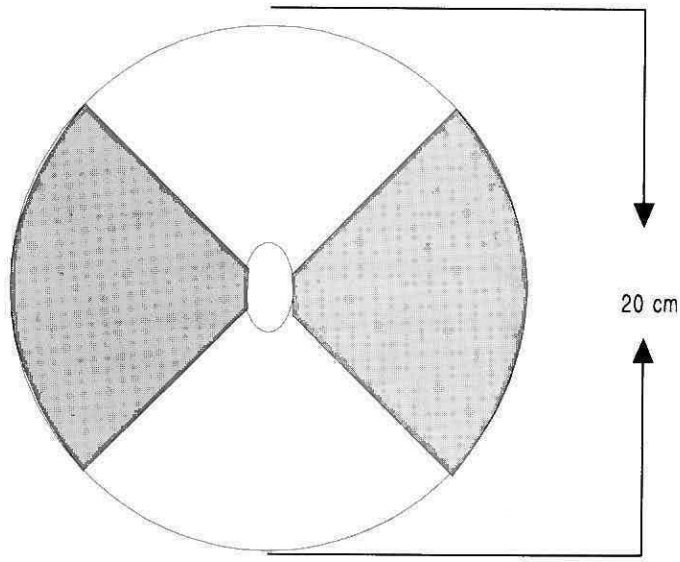


FIGURA 3. Disco Secchi, instrumento utilizado para medir la turbidez del agua

En truchicultura afecta los huevos en incubación al sedimentarse sobre la superficie de éstos e impide el intercambio gaseoso a través de la membrana, causándoles un déficit de oxígeno.

La turbidez mineral generalmente se presenta después de fuertes aguaceros o en estanques que se abastecen con agua de cuencas mal conservadas o con procesos de erosión.

Cuando el agua es reutilizada hay que tener especial cuidado con la materia en suspensión, que es originada en su mayor parte por los excrementos de los peces o por el concentrado no consumido. Estas partículas en suspensión (materia orgánica) producida por las deyecciones de los peces no se encuentran en su totalidad en estado sólido, si no en forma de coloides y supracoloides que no se sedimentan.

3.1.6 Color

El color del agua está dado por la interacción entre la incidencia de la luz y la impureza del agua, las aguas incoloras en días asoleados aparecen azules. El color del agua es alterado por los factores físicos, químicos y biológicos, por ejemplo, la mayoría de los florecimientos de fitoplancton tiende a dar una coloración verde. Agua con alto contenido de hierro tienden a ser rojizas. El color más común del agua está dado por el material vegetal en descomposición, el cual produce un color té o café claro muy característico del agua con alto contenido de humus. Además, éstas aguas por lo general son ácidas.

El color en sí no afecta a los peces, pero si restringe la penetración de los rayos solares y disminuye de esta manera la productividad del estanque.

4. PARÁMETROS QUÍMICOS

4.1 OXÍGENO DISUELTO

El nivel de oxígeno disuelto (OD) presente en un estanque de acuicultura es el parámetro más importante en la calidad del agua. Si no hay una buena concentración de oxígeno disuelto los organismos pueden ser vulnerables a enfermedades, parásitos, o morir por falta de este elemento. Además se ha comprobado que no aceptan el alimento

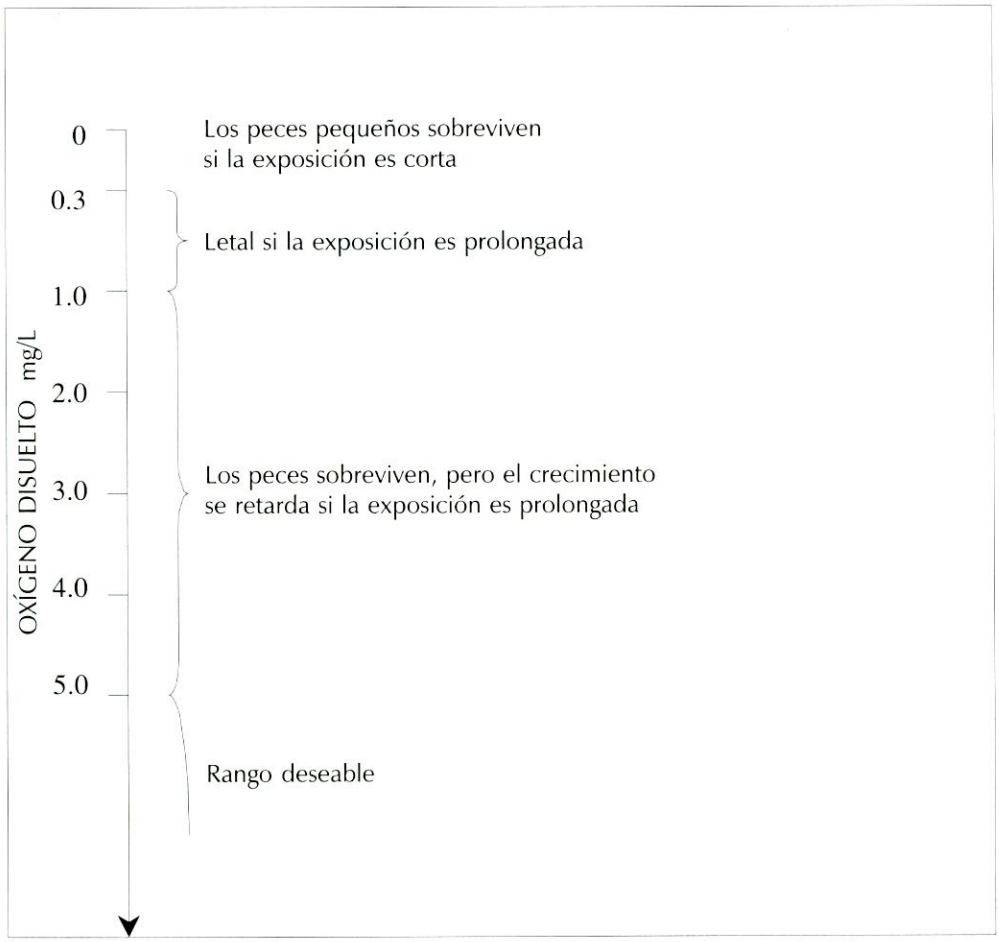


FIGURA 4. Efecto de la concentración de oxígeno disuelto sobre los peces en un estanque (Tomado de Boyd y Lichtkoppler, 1979)

cuando se presentan niveles bajos de oxígeno, lo cual conlleva a la pérdida de este insumo, afectando el crecimiento y la tasa de conversión alimenticia. En la figura 4 se presenta el efecto de la concentración de oxígeno disuelto sobre los peces en estanque.

4.1.1 Fuente de oxígeno

El oxígeno es disuelto en el agua por difusión desde la atmósfera y por la fotosíntesis. La difusión desde la atmósfera es producida cuando se presentan vientos o por medios artificiales.

La creación de turbulencia por medios artificiales incrementa el contacto entre el agua y el aire, lo cual permite captación de oxígeno por parte del agua.

El oxígeno primeramente es removido del agua por la respiración lo cual es esencialmente lo inverso al proceso fotosintético:

$$CH_2O + O_2 \longrightarrow H_2O + CO_2$$

Todos los acuicultores tienen en cuenta la respiración de los organismos de su interés, lo cual trae un significativo impacto sobre el nivel de oxígeno disuelto en el estanque, pero a menudo no tienen en cuenta que los otros organismos presentes en el estanque también respiran y consumen oxígeno.

Durante el día con la fotosíntesis se produce oxígeno que es removido del agua por la demanda respiratoria de los animales, mientras que durante la noche, tanto plantas como animales continúan respirando sin que haya nuevos aportes de oxígeno al agua. El oxígeno es también removido del agua como un resultado de ciertas reacciones químicas inorgánicas referidas también como demanda química de oxígeno.

La saturación de oxígeno disuelto depende de la temperatura, la salinidad y de la altitud. En la tabla 2 se observa cómo varía la solubilidad del oxígeno en el agua con respecto a la temperatura y a la presión atmosférica. Supersaturación de oxígeno ocurre bajo condiciones naturales como un resultado de altos niveles de productividad primaria o como consecuencia de actividades humanas.

4.1.2 Efecto de la disminución de oxígeno sobre los organismos de un estanque

Los organismos acuáticos generalmente no se alimentan cuando se presentan niveles bajos de oxígeno y cuando esto ocurre la mayoría de las especies de peces suben a la capa superficial del agua a tomar oxígeno y se observan boqueando constantemente. Este comportamiento, por ejemplo, no se presenta en los camarones, quienes permanecen en el fondo del estanque y cuando el oxígeno disuelto está muy bajo pueden llegar a morir y descomponerse sin atraer la atención. En cambio los peces generalmente flotan en la superficie y de esta manera son observados fácilmente. Las bajas en el nivel de oxígeno generalmente suceden durante las épocas de altas temperaturas (verano). Así mismo, el metabolismo de los organismos presentes en el estanque se incrementa en esta época y demandan más oxígeno. Paradójicamente también corresponde a la época de mayor iluminación solar, cuando se incrementa la fotosíntesis y la producción de oxígeno.

Resumiendo, la concentración de oxígeno en un estanque puede variar de acuerdo con las siguientes condiciones:

- Iluminación solar; sin está no es posible la fotosíntesis y por consiguiente la producción de oxígeno.
- La temperatura que influye en la descomposición de la materia orgánica que en su degradación consume oxígeno. A mayor temperatura del agua más rápido es el proceso de degradación y por consiguiente mayor consumo de oxígeno.
- Cantidad de fitoplancton que libera oxígeno durante el día y lo consume durante la noche.
- Cantidad de zooplacton y otros organismos animales que consumen oxígeno durante el día y la noche.
- La materia orgánica y las poblaciones bacterianas que consumen grandes cantidades de oxígeno en el proceso de descomposición.
- La producción de oxígeno en los días nublados es menor que la de días despejados.
- El viento, que al crear olas y turbulencia en la superficie del agua, permite intercambio de oxígeno entre la capa superficial y la columna de agua.

Es común que en estanques con exceso de fitoplancton se presenten problemas de oxígeno, como los siguientes ejemplos:

1. Un exceso de fitoplancton puede ocasionar una deficiencia de oxígeno bajo las siguientes circunstancias: si durante el día prevalecen vientos fuertes y altas temperaturas mientras que la noche es tranquila y cálida. Las pérdidas de oxígeno durante el día serán grandes y quedarán pocas reservas para la noche, a la vez la demanda de oxígeno por parte de los organismos será alta debido a mayor temperatura y más actividad metabólica que demanda oxígeno.

2. La presencia de una población de fitoplancton que se concentra en la capa superficial, como es el caso de las algas azul-verdes (Cyanophytas). En este ejemplo la producción de oxígeno se limita a la capa superficial y la población de fitoplacton limita la penetración de luz a las capas inferiores, reduciendo la capacidad de fotosíntesis y de producción de oxígeno de las capas inferiores, lo que generará una deficiencia de oxígeno durante la noche.

TABLA 2. Solubilidad del oxígeno en el agua en mg/l de 0_2 a 25ºC de temperatura, y de 680 a 790 mm Hg de presión atmosférica

Temperatura ºC	PRESIÓN ATMOSFÉRICA																						
	680	685	690	695	700	705	710	715	720	725	730	735	740	7.45	750	755	760	765	770	775	780	785	790
1	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	13	13	13	13	13	13	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	14	14	14	14	14	14	14.5
2	12	12	12	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	13	13	13	13	13	13	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13	13	14.5
3	11.5	12	12	12	12	12	12	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	13	13	13	13	13	13	13.5	13.5	13.5	13.5
4	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	12	12	12	12	12	12	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	13	13	13	13	13	13
5	11	11	11	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	12	12	12	12	12	12	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	13	13
6	11	11	11	11	11	11	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	12	12	12	12	12	12	12.5	12.5	12.5	12.5
7	10.5	10.5	10.5	10.5	11	11	11	11	11	11	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	12	12	12	12	12	12	12
8	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	11	11	11	11	11	11	11	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	12	12	12
9	10	10	10	10	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	11	11	11	11	11	11	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
10	9.8	9.9	9.9	10	10	10	10	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	11	11	11	11	11	11	11	11.5	11.5
11	9.6	9.6	9.7	9.8	9.8	9.9	10	10	10	10	10	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	11	11	11	11	11
12	9.4	9.4	9.5	9.6	9.6	9.7	9.8	9.8	9.9	10	10	10	10	10	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	11	11
13	9.1	9.2	9.3	9.3	9.4	9.5	9.5	9.6	9.7	9.7	9.8	9.9	9.9	10	10	10	10	10.5	10.5	10.5		10.5	10.5
14	8.9	9	9.1	9.1	9.2	9.3	9.3	9.4	9.5	9.5	9.6	9.7	9.7	9.8	9.9	9.9	10	10	10	10	10	10.5	10.5
15	8.7	8.8	8.9	8.9	9	9.1	9.1	9.2	9.2	9.3	9.4	9.4	9.5	9.6	9.6	9.7	9.8	9.9	9.9	10	10	10	10
16	8.6	8.6	8.7	8.7	8.8	8.9	8.9	9	9.1	9.1	9.2	9.2	9.3	9.4	9.4	9.5	9.6	9.6	9.7	9.7	9.8	9.9	9.9
17	8.4	8.4	8.5	8.6	8.6	8.7	8.8	8.8	8.9	8.9	9	9.1	9.1	9.2	9.2	9.3	9.4	9.4	9.5	9.6	9.6	9.7	9.7
18	8.2	8.3	8.3	8.4	8.5	8.5	8.6	8.6	8.7	8.8	8.8	8.9	8.9	9	9.1	9.1	9.2	9.2	9.3	9.4	9.4	9.5	9.6
19	8.1	8.1	8.2	8.2	8.3	8.4	8.4	8.5	8.5	8.6	8.7	8.7	8.8	8.8	8.9	8.9	9	9.1	9.1	9.2	9.2	9.3	9.4
20	7.9	8	8	8.1	8.1	8.2	8.3	8.3	8.4	8.4	8.5	8.6	8.6	8.7	8.7	8.8	8.8	8.9	9	9	9.1	9.1	9.2
21	7.8	7.8	7.9	7.9	8	8.1	8.1	8.2	8.2	8.3	8.3	8.4	8.5	8.5	8.6	8.7	8.7	8.8	8.9	8.9	9	9	9
22	7.6	7.7	7.7	7.8	7.9	7.9	8	8	8.1	8.1	8.2	8.3	8.3	8.4	8.4	8.5	8.5	8.6	8.6	8.7	8.8	8.8	8.8
23	7.5	7.6	7.6	7.7	7.7	7.8	7.8	7.9	7.9	8	8.1	8.1	8.2	8.2	8.3	8.3	8.4	8.4	8.5	8.5	8.6	8.7	8.7
24	7.4	7.4	7.5	7.5	7.6	7.7	7.7	7.8	7.8	7.9	7.9	8	8	8.1	8.1	8.2	8.3	8.3	8.4	8.4	8.5	8.5	8.6
25	7.3	7.3	7.4	7.4	7.5	7.5	7.6	7.6	7.7	7.7	7.8	7.8	7.9	8	8.08	8.1	8.1	8.2	8.2	8.3	8.3	8.4	8.4

3. Un exceso de zooplancton que demande grandes cantidades de oxígeno puede causar una deficiencia de oxígeno generalmente durante la noche.

Por lo general las fluctuaciones de oxígeno disuelto en un estanque, en un perfil de 24 horas, es la siguiente: los valores más bajos de oxígeno se darán en las primeras horas de la mañana e irán incrementándose a medida que es mayor la intensidad solar hasta un máximo de oxígeno que corresponde a las primeras horas de la tarde y a partir de este momento va disminuyendo gradualmente con la intensidad de luz (Fig 5). En días nublados la producción de oxígeno disuelto disminuye considerablemente, en períodos prolongados se pueden presentar problemas como se ilustra en la figura 6.

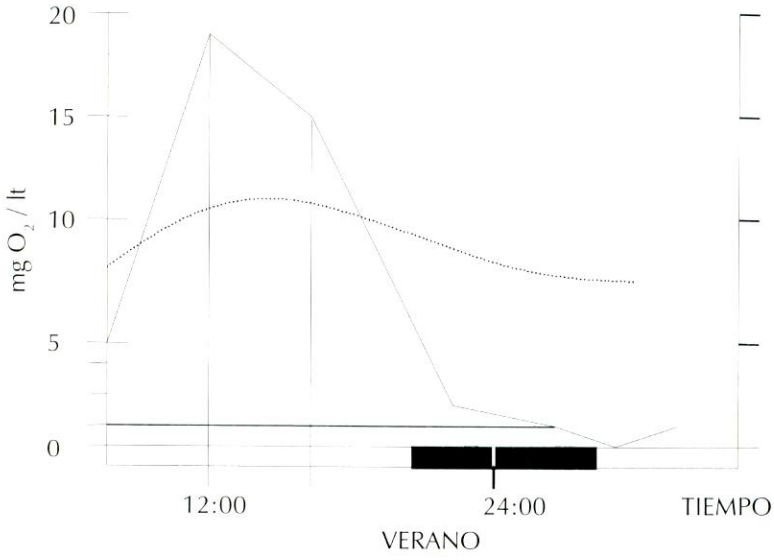


FIGURA 5. Variación en la concentración de oxígeno disuelto en un estanque con diferentes densidades de plancton, ——— Estanque fertilizado, alta densidad de plancton. ------- Estanque sin fertilizar, baja densidad de plancton.

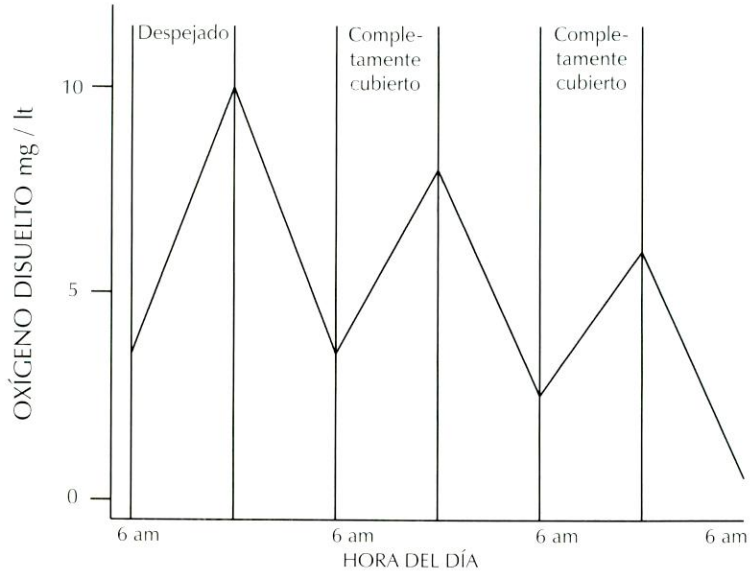


FIGURA 6. Influencia del tiempo nublado en la circulación de oxígeno disuelto en estanques (Tomado de Boyd y Lichtkoppler, 1979)

En los estanques con fuertes florecimientos de plancton se observa la presencia de una nata de algas en la superficie. En algunas ocasiones esta densa población muere repentinamente y la descomposición agotará rápidamente el oxígeno disuelto, hasta niveles por debajo de lo normal como para mantener una población de organismos en el estanque.

El aumento de oxígeno se puede conseguir agregando agua con un buen nivel de oxígeno o por aireación. En el primero es necesario que el agua caiga al estanque por un salto ancho y de esta manera se amplía el área de contacto y así se captará más oxígeno del aire.

Por aireación, el agua se bombea fuera del estanque y se devuelve al mismo por aspersión. Otro método es introduciendo aire por bombeo dentro del agua. Se recomienda efectuar la aireación sólo cuando sea necesario o cuando se advierta una real deficiencia de éste.

4.2 Potencial de hidrógeno o pH

El agua químicamente pura se encuentra disociada en iones (H^+) y (OH^-), de tal forma que su composición es la siguiente:

$$H_2O \longrightarrow (H^+) + (OH^-)$$

El valor del pH está dado por la concentración del ión hidrógeno E indica si el agua es ácida o básica y se expresa en una escala que varía entre 0 y 14. Si el pH es 7 indica que es neutra, o sea que no es ni ácida ni básica. Una agua con pH por debajo de 7 es ácida y por encima de 7 es básica. Los cambios de pH en un mismo cuerpo de agua están relacionados con la concentración dióxido de carbono, el cual es fuertemente ácido. Los organismos vegetales demandan dióxido de carbono durante la fotosíntesis, de tal forma que este proceso determina en parte la fluctuación de pH y es así como se eleva durante el día y disminuye en la noche (Fig. 7).

Es bien conocido que la presencia de dióxido de carbono en aguas ácidas acentúa su acidez, lo que origina en peces como la trucha alteraciones de la osmoregulación como consecuencia de una acidificación de la sangre. Aguas ácidas ricas en hierro pueden producir una precipitación de hidróxido férrico en las branquias de los peces (Cachapeiro, 1984).

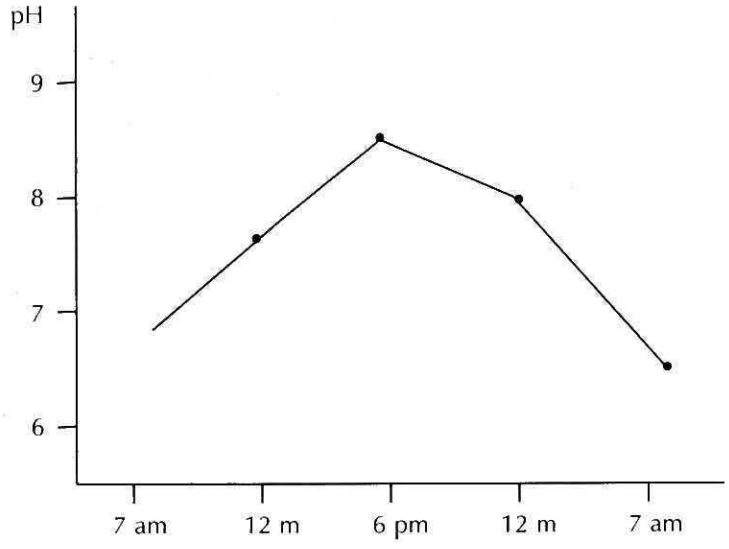


FIGURA 7. Fluctuación de pH en un perfil de 24 horas, tomado en estanque de cultivo de peces. (UNIFEM, Bogotá).

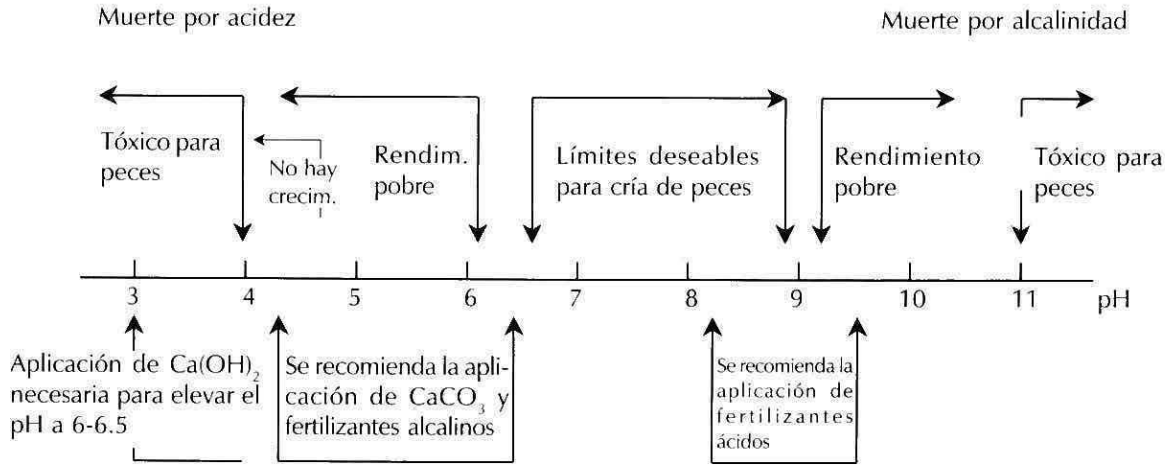


FIGURA 8. Efecto del pH sobre los peces en un estanque (Tomado de Swingle, 1969).

La estabilidad del pH viene dada por la llamada reserva alcalina o sistema de equilibrio (tampón) que en definitiva corresponde a la concentración de carbonato o bicarbonato. Los estanques con aguas que tienen alcalinidad total baja, por lo general, presentan valores de pH entre 6 a 7.2 a las primeras horas del día, pero este valor se puede elevar a 10 o más en las horas de la tarde como consecuencia de la alta concentración de fitoplancton que está demandando dióxido de carbono y no permite que actúen los carbonatos como sustancia amortiguadora.

Cuando se presentan aguas con alcalinidad total alta los valores de pH oscilan entre 7.5 a 8 en las primeras horas de la mañana y entre 9 y 10 en las horas de la tarde.

4.2.1 Efecto del pH sobre los peces

Los extremos letales de pH para la población de peces, en condiciones de cultivo, está por debajo de 4 y por encima de pH 11 (Fig. 8). Aunque los peces pueden sobrevivir en valores de pH cercano a estos extremos se observa un crecimiento lento y baja producción en los estanques. Así mismo, cambios bruscos de pH como consecuencia del traslado de peces de un estanque a otro, con marcada diferencia de pH, pueden causar la muerte.

Las aguas ácidas irritan las branquias de los peces, las cuales tienden a cubrirse de moco llegando en algunos casos a destrucción histológica del epitelio. Así mismo, la presencia de dióxido de carbono acidifica más el agua causando alteraciones de la osmorregulación y acidificando la sangre. Cachafeiro (1984) señala la peligrosidad de las aguas ácidas ricas en hierro, al producirse un precipitado de hidróxido férrico en las branquias de los peces y éstas adquieren como consecuencia un color marrón oscuro y mueren por asfixia.

Los límites básicos de pH también afectan el epitelio branquial al segregar mucus apareciendo hipertrofia de las células basales y en períodos de larga exposición termina por producir una verdadera destrucción histológica. Cachafeiro (1984) afirma que las lesiones del cristalino y córnea son habituales en las truchas mantenidas durante un período de siete días a un pH de 9.8. Eicher (1947) demostró que truchas expuestas a un pH de 10.2 durante pocos días experimentaban una necrosis de la aleta dorsal y caudal y se generaba ceguera total.

Finalmente, el pH juega un papel muy importante con respecto al amoniaco que es un producto muy tóxico, el cual en pH ácido se transforma en ion amonio (forma ionizada) la cual no es tóxica. Lo contrario ocurre en pH alcalinos

4.3 Dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO_2) tiene importancia en acuicultura debido a que es esencial para la fotosíntesis e influye en el pH del agua. Puede llegar a ser tóxico, aunque los peces pueden tolerar concentraciones altas de este gas, siempre y cuando que el nivel de oxígeno disuelto sea alto. El dióxido de carbono afecta a los organismos disminuyendo la capacidad de la sangre para captar el oxígeno. En los peces, la intoxicación por $C0_2$ se reconoce porque primero presentan problemas de equilibrio, luego signos de adormecimiento y disminución de la frecuencia respiratoria; además, los peces no permanecen en la superficie.

La concentración de $C0_2$ en el agua está determinada para la respiración, la fotosíntesis y la descomposición de la materia orgánica. Durante el día, a través del proceso de fotosíntesis, hay consumo de $C0_2$ y a su vez hay producción por respiración de los organismos animales. En los estanques ricos en fitoplancton, el consumo de $C0_2$ puede ser tan alto que puede llegar a cero. Durante la noche cesa la fotosíntesis, no se consume más $C0_2$, pero continúa la respiración, y por consiguiente la liberación de $C0_2$ al agua de modo que vuelve a subir su concentración, alcanzando el mínimo en las primeras horas de la tarde y el máximo en la noche (Fig. 9).

Las fluctuaciones de los niveles de $C0_2$ son mayores en los estanques ricos en fitoplancton y menor en los que tienen poco.

Finalmente, durante las horas del día, cuando se va reduciendo la concentración de $C0_2$, aumenta el pH, mientras que en la noche, cuando la concentración de $C0_2$ aumenta, disminuye el pH. esto se da porque cuando el $C0_2$ se disuelve en el agua se produce ácido carbónico:

$$C0_2 + H_20 \longrightarrow H_2C0_3$$

Las concentraciones de dióxido de carbono son más altas después de una muerte de fitoplancton y en los días nublados.

4.4 Alcalinidad total y dureza total

La alcalinidad corresponde a la concentración total de bases en el agua expresada como mg/l de carbonato de calcio equivalente y está representada por iones de carbonato y bicarbonato. La capacidad amortiguadora del pH en el agua está dada por la presencia de estos iones, lo que quiere decir que si una gran cantidad de carbonato y bicarbonato está presente en el agua el pH se mantendrá estable. Aguas con alcalinidad alta ayudan a que se mantenga mayor valor de pH por las mañanas, mientras que aguas con baja alcalinidad facilitan los cambios de pH en un perfil de 24 horas.

La dureza total se define como la concentración de iones, básicamente calcio (Ca) y magnesio (Mg), y se expresa en mg/l de carbonato de calcio equivalente. Otros iones divalentes contribuyen a la dureza, pero son menos importantes.

El agua se clasifica según su dureza de acuerdo con la siguiente tabla:

DUREZA (mg/l)	CLASIFICACIÓN
0 - 75	Blanda
75 - 150	Moderadamente dura
150 - 300	Dura
300 ó mas	

Para el cultivo de organismos acuáticos las mejores aguas con respecto a estos dos parámetros (alcalinidad y dureza) son los que tienen valores muy similares. Si se presentan valores diferentes, tales como alcalinidad más alta que la dureza, el pH puede incrementarse a niveles muy altos durante períodos de alta fotosíntesis.

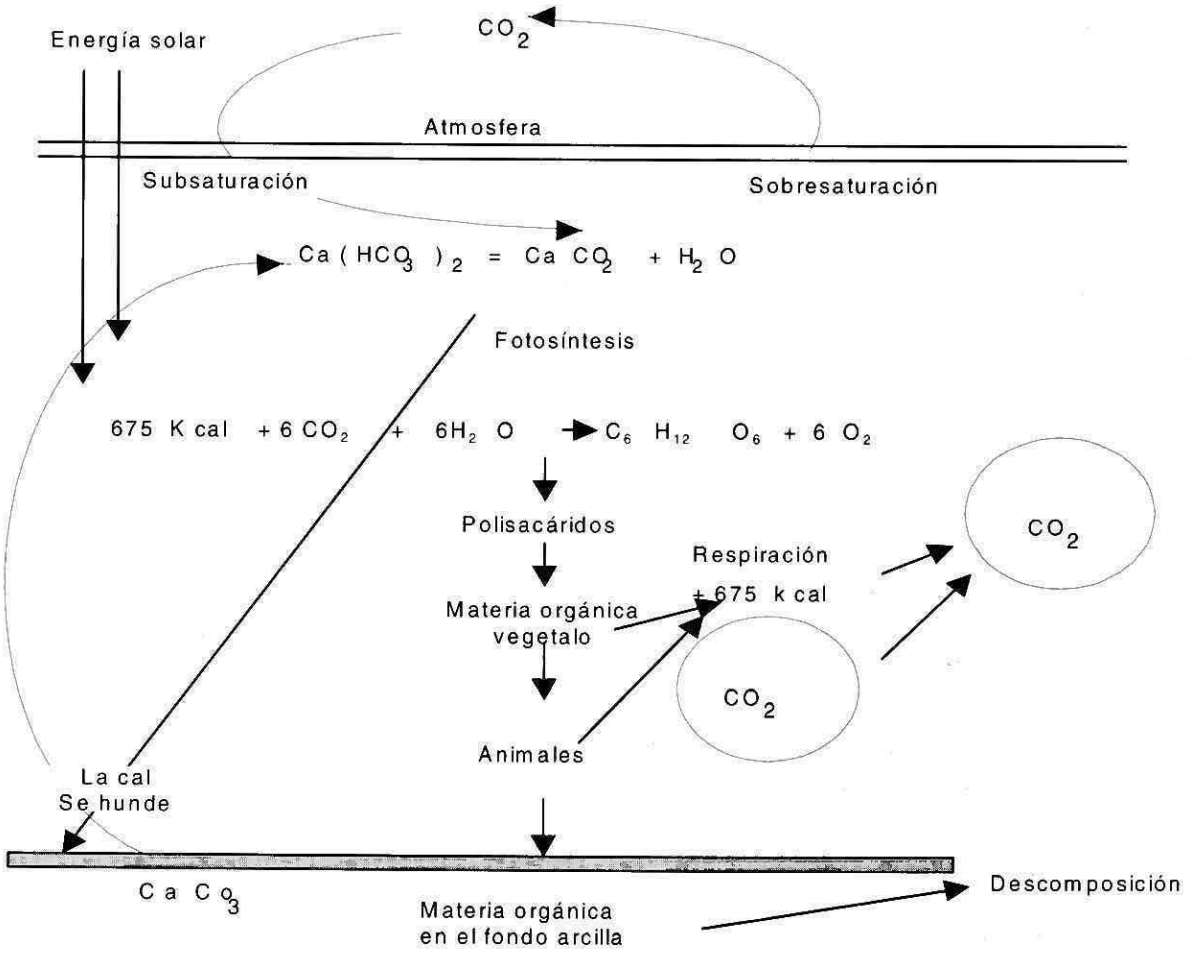


FIGURA 9. Diagrama del ciclo del carbono en el agua

Los mejores niveles de alcalinidad total y dureza total para acuicultura están entre 20 y 300 mg/l. Si los valores de estos dos parámetros son bajos se pueden incrementar mediante encalamiento, pero si es lo contrario no existe un método práctico para bajar estos dos parámetros.

El dióxido de carbono, por regla está a baja concentración cuando el agua tiene una alcalinidad de 200 a 250 mg/l. El agua con alcalinidad total por debajo de 15 a 20 mg/l, por lo general, contiene niveles bajos de $C0_2$; mientras que las aguas con alcalinidad entre 20 y 150 mg/l contiene dióxido de carbono a un nivel apropiado, lo que facilita una adecuada producción de plancton.

4.5 COMPUESTOS NITROGENADOS

Especial importancia tiene en piscicultura industrial el contenido de compuestos nitrogenados, pues algunos de ellos, tales como el amoníaco y los nitritos, tienen carácter tóxico. Estos compuestos se originan en los estanques como productos del metabolismo de los organismos bajo cultivo y son liberados durante la descomposición que hacen las bacterias sobre la materia orgánica animal o vegetal (Fig. 10).

Segun Meade (1976) los desechos nitrogenados son transformados de amoníaco o nitratos

$$NH_3 \rightarrow NO^-_2 \rightarrow NO^-_3$$

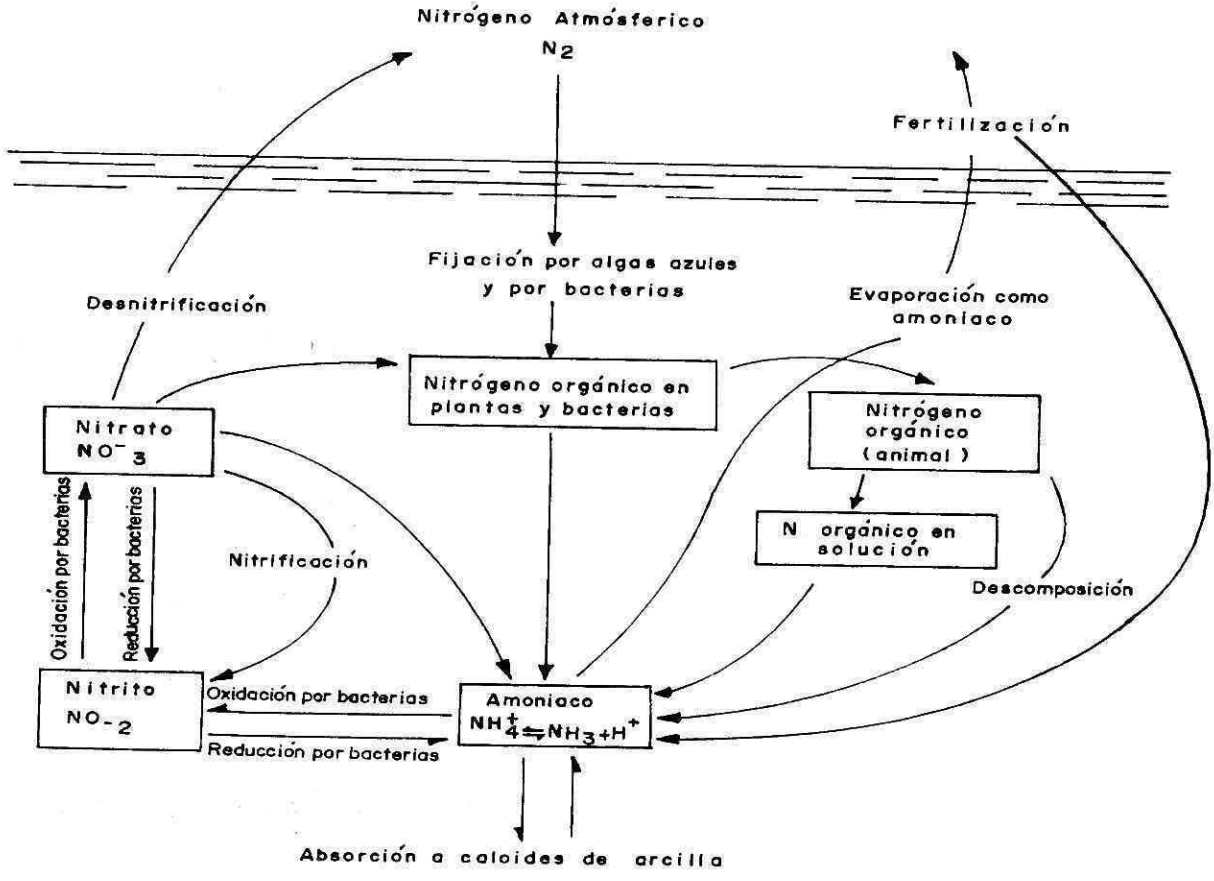


FIGURA 10. Ciclo del nitrógeno en un estanque (modificado de Hepher, sin fecha)

Este proceso se debe a la acción de las bacterias aeróbicas, como *Nitrosomonas*, que es la responsable del paso de NH_3 —> NO^-_2 nitritos, y la bacteria *Nitrobacter* es la responsable del paso de $NO^-_2 + 1/2\ O_2$ —> NO^-_3 .

Algunas bacterias puede convertir los nitratos (NO^-_3) a (N_2), el cual puede salir del agua como un gas disuelto. Estas reacciones se llevan a cabo normalmente en el estanque o por medio de estructuras específicas denominadas biofiltros.

Desnitrificación de nitratos (NO^-_3) a nitrógeno puede llevarse a cabo por una variedad de bacterias, tales como: *Pseudomonas, Achromobacter, Bacillus, Micrococus y Corynebacterium*.

Para una mejor acción de las bacterias hay que suministrarles bastante substrato o mayor superficie para su fijación.

En caso de sospecha de toxicidad por nitritos, ésto puede ser rápidamente confirmado sacrificando un individuo y examinándole la sangre, ya que la hemoglobina reacciona con los nitritos formando metahemoglobina, la cual da a la sangre un color chocolate oscuro.Generalmente los peces sometidos a niveles letales de nitritos mueren con la boca abierta y los opérculos cerrados.

El amoniaco en el agua se presenta bajo dos formas: amoníaco no ionizado (NH_3), que es tóxico, y el ion amonio (NH^+_4) que no es tóxico, a menos que la concentración sea demasiado alta. $NH_3 + H^+$ —> NH^+_4

Los niveles tóxicos del amoníaco no ionizado para exposiciones de corta duración por lo general están entre 0.6 y 2 mg/lt. Los efectos subletales se manifiestan en valores entre 0.1 y 0.3 mg/lt. El pH y la temperatura regulan la

proporción de amoniaco total que existe en la forma no ionizada. El aumento del pH y de la temperatura incrementa el porcentaje de amoniaco no ionizado y por consiguiente su toxicidad, como se observa en la tabla 3 y la figura 11, donde se muestra la relación entre el ion amoniacal y el gas amoniacal a diferentes valores de pH.

4.6 SULFURO DE HIDRÓGENO

No es un parámetro muy común de los estanques de peces, valores bajos de pH facilitan la presencia del sulfuro de hidrógeno no ionizado. Si hay déficit de oxígeno y un alto contenido de sulfato y materia orgánica en el agua se pueden presentar mortalidades, debido a que los iones de sulfurosos se combinan con el hierro de la hemoglobina bloqueando la respiración. Cuando ésto ocurre los síntomas en los peces corresponden a branquias de coloración violeta rojiza, con infiltración sanguinolenta. El sulfuro de hidrógeno no ionizado es tóxico para los peces en concentraciones menores de 1 mg/l, lo cual ocurre por lo general en aguas contaminadas, con abundante materia orgánica y bajo pH.

4.7 CICLO DEL FÓSFORO

El fósforo es un nutriente requerido para el crecimiento de las plantas y es abundante en los huesos y dientes de los animales. La relación de **carbono – nitrógeno - fósforo**, requerido por la mayoría de las especies de fitoplancton es de **106 – 16 - 1** (Stickney, 1979), lo que indica que cantidades muy pequeñas de fósforo influyen en la productividad primaria.

Corresponde a uno de los elementos principales en la vida de las plantas y es componente de ciertas proteínas, de los ácidos nucleares y de los nucleótidos y por lo general es el elemento regulador del crecimiento del fitoplancton en los estanques.

TABLA 3. Porcentaje de amonio total en la forma no ionizada (NH_3) a diferentes temperaturas y valores de pH (tomado de Emerson *et al.*, 1975)

Temperatura °C	pH				
	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
16	0.1	0.3	0.9	2.9	8.5
18	0.1	0.3	1.1	3.3	9.8
20	0.1	0.4	1.2	3.8	11.2
22	0.1	0.5	1.4	4.4	2.7
24	0.2	0.5	1.7	5.0	14.4
26	0.2	0.6	1.9	5.8	16.2
28	0.2	0.7	2.2	6.6	18.2
30	0.3	0.8	2.5	7.5	20.3

El crecimiento normal de las algas y la producción primaria de materia orgánica en el agua están condicionadas a la existencia de fósforo, pero las aguas naturales no son ricas en fósforo y esto limita el desarrollo de las algas.

El fósforo se puede encontrar en forma mineral o en compuestos orgánicos (Fig. 12), quizás el más común corresponde al fosfato tricálcico $Ca_3(PO_4)_2$, que es un componente importante de los huesos y es así como en harina de huesos el porcentaje de fósforo es del 22-25% (Hepher sin fecha). El fosfato tricálcico no es soluble en agua y difícilmente soluble en ácidos orgánicos. La mayoría de los compuestos de fósforo presentes en la naturaleza no son solubles en agua, por consiguiente el agua lluvia que se percola a través de la roca y del suelo disuelve pequeñas cantidades de fosfatos. Por lo general la concentración puede ser de 1-3 microgramos por litro.

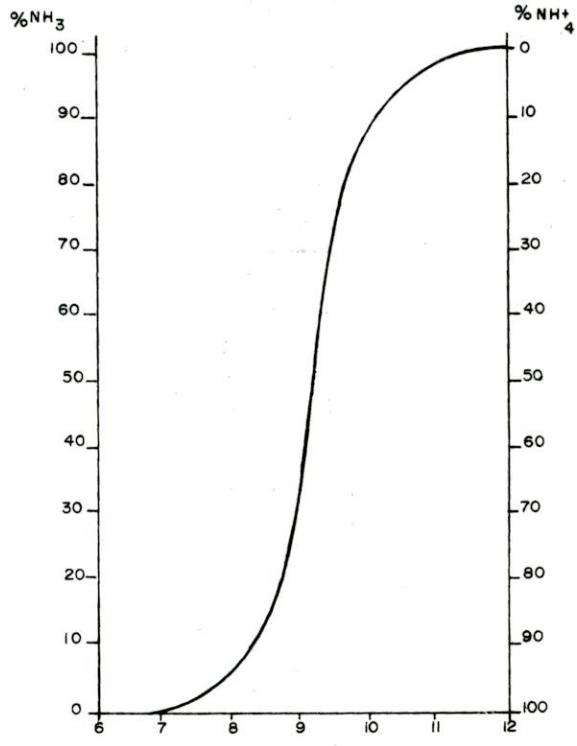


FIGURA 11. Relación cuantitativa entre el ion amoniacal y gas amoniacal a diferentes pH (temperatura del agua a 25°C) (tomado de Hepher, sin fecha)

La principal fuente de fósforo en el agua es de origen orgánico, la mayor concentración de fósforo está en la capa de agua más próxima al fondo debido a que existe un suministro constante y considerable de fósforo por la descomposición de materia orgánica, además al que se deposita como fosfatos o es absorbidos como coloide.

4.8 Contaminación

Aunque no es un parámetro propio de la calidad del agua es importante enunciarlo debido a las graves consecuencias que ocasiona la contaminación bien sea de origen industrial, agrícola o por pesticidas. Estas últimas son los más frecuentes y pueden alcanzar los estanques vía escorrentía o por el viento. Según Boyd y Lichtkoppler (1979), los niveles de toxicidad aguda para muchos insecticidas de uso común están en el orden de los 5 a los 10 microgramos por litro y concentraciones mucho más bajas pueden ser tóxicas luego de una exposición prolongada. Aun cuando los peces no mueran se puede producir a largo plazo daños irreversibles a las poblaciones de peces de medios contaminados con pesticidas y además puede afectar la cadena trofica del estanque y por consiguiente el crecimiento de los peces.

Finalmente, es importante cuando se va a escoger el terreno para el establecimiento de un proyecto de acuicultura, verificar que la cuenca que va abastecer los estanques esté libre de contaminación.

5. CORRECTIVOS A LA CALIDAD DEL AGUA

5.1 Remoción del dióxido de carbono

El $C0_2$ puede removerse del agua mediante la aplicación de hidróxido de calcio $Ca(0H)_2$, el cual se aplica a razón de 1.68 mg/l por cada mg/l de $C0_2$ a eliminar. Su aplicación debe efectuarse con cuidado debido a que incrementa el pH del agua.

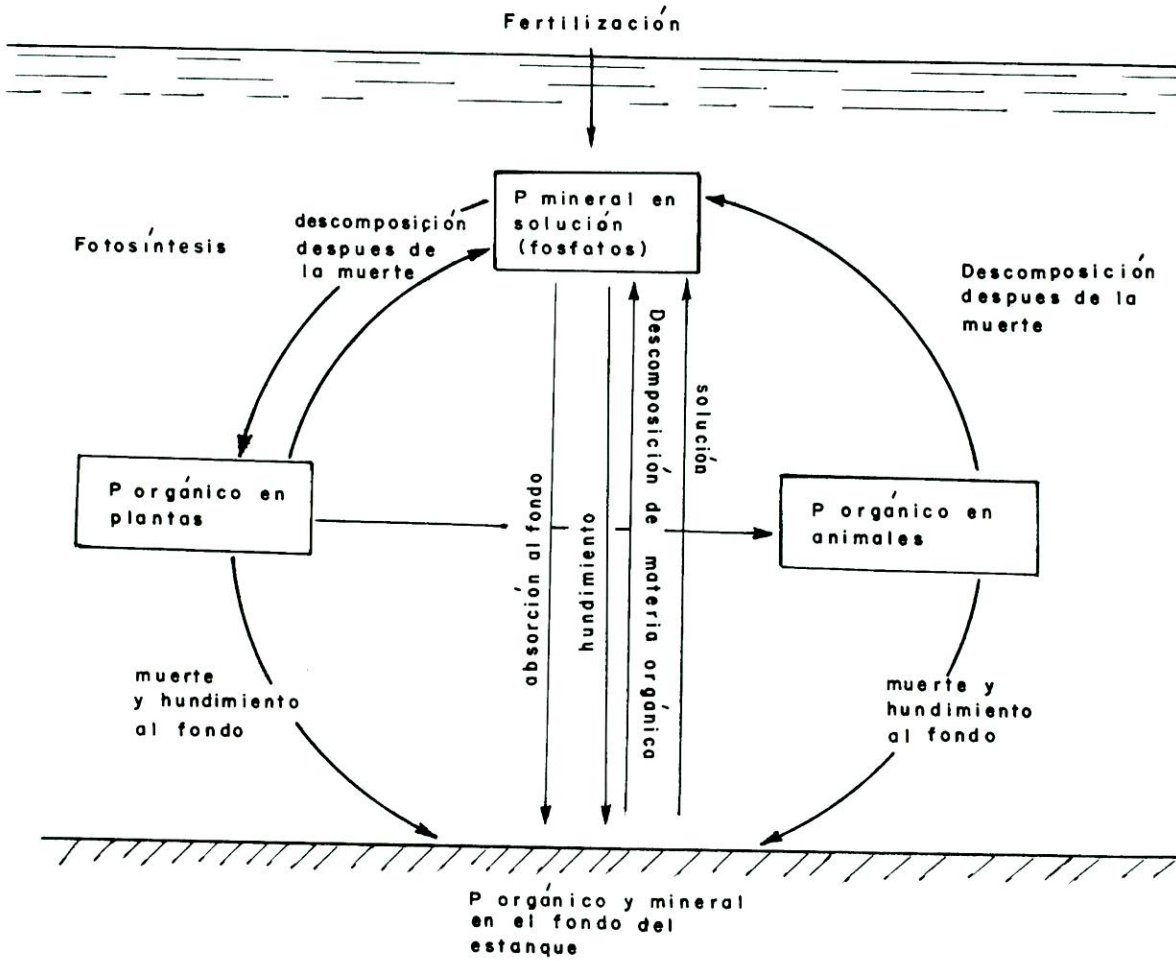


FIGURA 12. Ciclo del fósforo en un estanque

5.2 ALCALINIDAD

Las aguas con niveles bajos de alcalinidad son poco productivas debido a la poca presencia de dióxido de carbono y de bicarbonato. Además, aguas de alcalinidad baja generalmente son fuertemente ácidas y no presentan condiciones adecuadas para que vivan los organismos acuáticos. De otro lado, el fondo de los estanques de baja alcalinidad son ácidos y permiten que el lodo absorba el fósforo de los fertilizantes.

Por consiguiente la adición de cal a estanques de baja alcalinidad incrementan el pH del agua, facilitan la solubilidad del fósforo e incrementa el carbono disponible para la fotosíntesis.

La cantidad de cal a suministrar a un estanque debe estar de acuerdo con la alcalinidad total; si está por encima de 20 mg/l no es necesario encalar. Además es una práctica que se hace cuando se va a abonar para facilitar la disolución del fósforo. En estanques donde los peces van a depender únicamente del alimento concentrado no es necesario encalar, ya que éstos no van a necesitar aguas productivas que le suministren alimento natural.

Boyd (1979) experimentó aplicando cal agrícola bien molida $CaMg(C0_3)_5$ en cinco estanques a una tasa de 4000 kg/ha, dejando como control cinco estanques sin encalar, cuya alcalinidad era de 13.5 mg/l. Todos los 10 estanques se fertilizaron observándose un marcado incremento en la dureza total y en la alcalinidad total, así como un mejor pH del lodo en los estanques que fueron encalados. La producción en estos últimos estanques fue mayor en un 25% que en los no encalados.

La aplicación de cal es más práctica hacerla cuando el estanque está desocupado, pero se puede hacer con el estanque lleno.

La cal apagada $Ca(0H)_2$ y la cal viva son mejores neutralizantes que la cal agrícola; sin embargo, su aplicación en grandes cantidades incrementa el pH y su uso se recomienda para eliminar peces después de drenar los estanques.

5.3 Disminución de la turbidez

Como ya se mencinó, el principal causante de la turbidez es la arcilla en suspensión la cual limita la penetración de los rayos solares y por consiguiente la fotosíntesis y la productividad de un estanque.

La turbidez se puede controlar por varios métodos. El más usual es la aplicación de alumbre (sulfato de aluminio, $Al_2(S0_4)_3.14H_20$, el cual permite que las partículas de arcilla se floculen y se precipiten al fondo. Se recomienda aplicar alumbre a razón de 35 - 40 mg/l. Cuando se aplica este compuesto hay que tener en cuenta que se produce una reacción ácida que disminuye el pH y afecta la alcalinidad, por consiguiente en alcalinidades menores de 20 mg/l es necesario encalar.

Otro método es aplicar paja seca a razón de 2000 - 4000 kg/ha o estiércol de vacuno a razón de 2000 kg/ha, pero este tratamiento es demorado en mostrar resultados y puede durar varias semanas.

5.4 Control del pH

Para disminuir el pH se aplican fertilizantes a base de amonio, cuyo efecto se presenta debido a que el ion amonio es nitrificado a nitrato, liberando el ion hidrógeno, que permite una disminución del pH. En pH muy altos hay que tener especial precaución debido a que un porcentaje del ion amonio es transformado en amonio no ionizado que es altamente tóxico para los organismos en cultivo.

5.5 Oxígeno disuelto

Por lo general cuando el $C0_2$ es alto el nivel de oxígeno es muy bajo y la aplicación de hidróxido de calcio eliminará la materia orgánica y la producción de $C0_2$. Se recomienda aplicar 1.68 mg/l de Ca $(0H)_2$ por cada mg/l de $C0_2$ a eliminar.

5.6 Aireación del agua

La aireación consiste en el uso de equipos que incrementen el contacto del aire con el agua, generalmente este efecto se consigue sobre la superficie del agua. El uso de los aireadores se realiza para prevenir el estrés o la mortalidad de la población bajo cultivo, cuando se presentan bajas en la concentración de oxígeno disuelto. Este proceso mecánico comúnmente conocido como aireación de emergencia.

Cuando se utilizan densidades muy altas de siembra en un estanque es necesario aplicar en forma permanente la aireación. Se han reportado producciones superiores a 30000 kg de peces por hectárea con una permanente aireación; sin embargo, para obtener altas producciones es necesario renovar un porcentaje considerable de agua que oscila entre el 10 y el 30%, con lo cual se ayuda a remover el amonio y otros metabolitos tóxicos.

Algunos acuicultores emplean la aireación solamente de noche cuando la concentración de oxígeno disminuye. En la figuras 13 y 14 se presentan diferentes medios mecánicos usados para incrementar el contacto del aire con el agua.

Además de incrementar el intercambio de oxigeno entre la atmósfera y el agua, la aireación trae otros beneficios, entre los cuales vale la pena destacar los siguientes:

- Se homogeniza la temperatura del agua debido a que durante el día la capa superficial del agua se calientan más que las profundas. Esta estratificación puede causar agotamiento del oxígeno disuelto en el fondo, debido a que

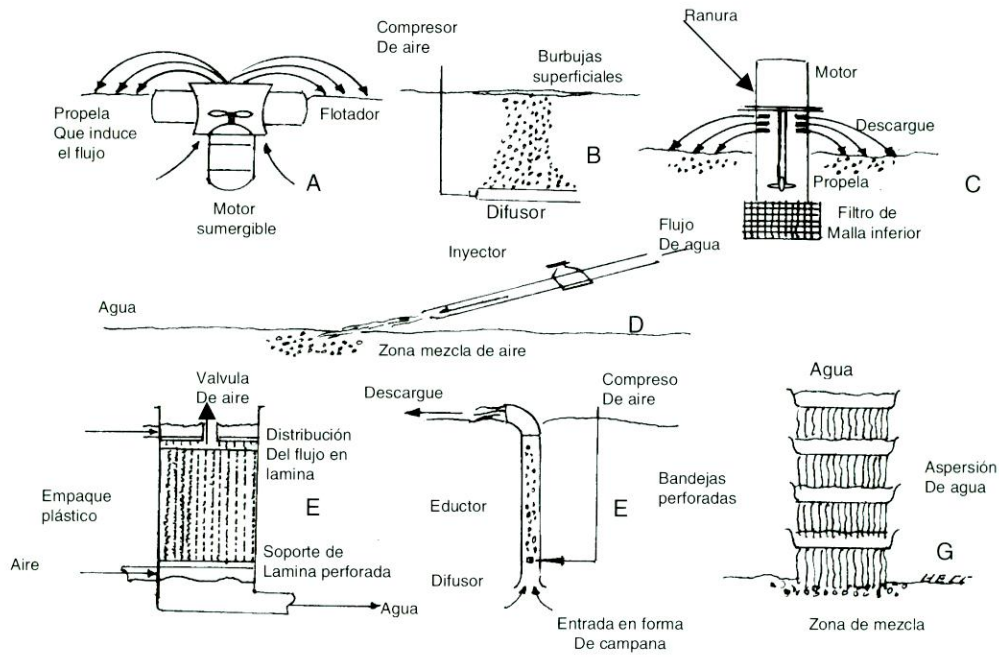


FIGURA 13. Equipos usados para incrementar el contacto aire agua. A. Agitador de superficie flotante. B. Difusor de aire sumergido. C. Agitador de superficie con tubo eductor. D. Aireador de agua inyectada, tipo "jet" E. Columna de contra corriente del flujo aire-agua. F. Sistema de paso de agua por acción de la burbuja denominado"air-lift. G. Cascada. Tomado de Watten (1994).

la mayor parte del oxígeno se origina por la fotosíntesis en las capas superiores o por el que capta a través del intercambio aire-agua en superficie.

- Se incrementa la circulación del agua tanto en sentido horizontal como en la columna de agua.
- Ayuda a la eliminación de gases disueltos

La aireación también causa efectos secundarios negativos, entre los cuales los más significativos son:

- La aireación crea corrientes de agua y los animales gastan energía nadando contra la corriente que de una u otra forma podrían gastar en crecimiento.
- Causa erosión de los taludes del estanque a consecuencia del pequeño oleaje que se genera. Algunos aireadores causan erosión al fondo del estanque y el agua presenta una mayor concentración de partículas de suelo suspendidas.

5.7 LA FERTILIZACIÓN Y EL INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN NATURAL DE ORGANISMOS DEL ESTANQUE

La aplicación de abonos o fertilizantes a un estanque es una estrategia para aumentar la producción de alimento natural.

El nitrógeno, fósforo y potasio son los denominados **nutrientes primarios**, los cuales conjuntamente con la energía solar constituyen la materia prima para iniciar la producción de materia orgánica a partir del proceso fotosintético efectuado por el fitoplancton, el cual sirve de alimento al zooplancton, a insectos acuáticos y a peces consumidores de fitoplancton .

El grado del fertilizante se refiere a los porcentajes en peso de nitrógeno(N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O), lo que quiere decir que un abono de grado 10-30-10 contiene el 10% de nitrógeno, 30% de fósforo y 10% de potasio. El calcio, el magnesio y el azufre son denominados **nutrientes secundarios** de los fertilizantes. Nutrientes como el

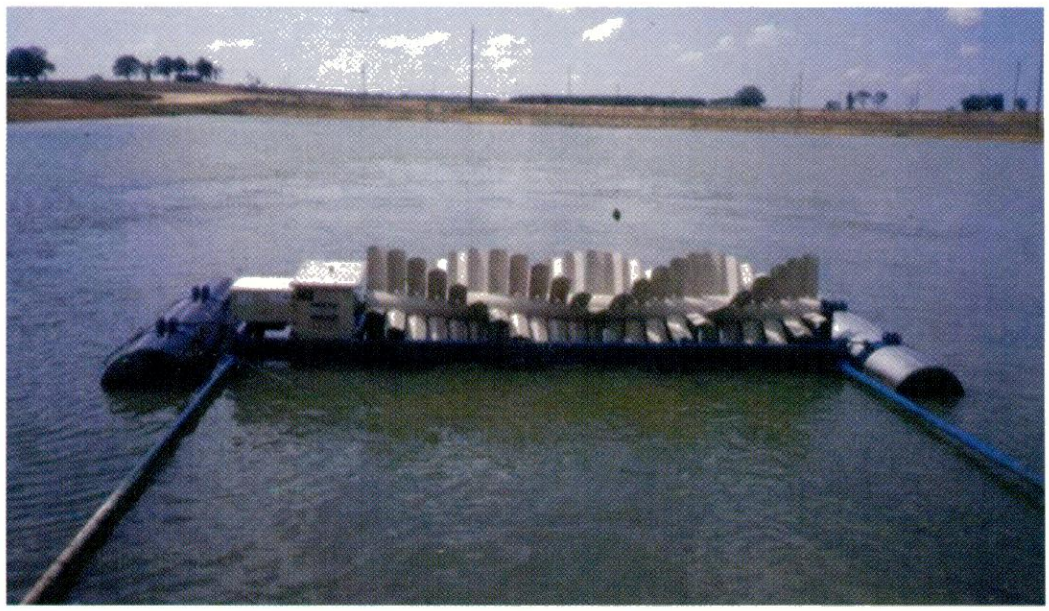


FIGURA 14. Aireador de paleta

cobre, zinc, boro, manganeso, hierro y el molibdeno también son necesarios y pueden estar presentes en algunos fertilizantes. La composición de algunos de los fertilizantes más comunes se indica en la tabla 4.

5.7.1 Fertilización inorgánica

El uso de fertilizantes para aumentar el rendimiento de un estanque tiene bastante analogía con el área agropecuaria, donde se usan los fertilizantes para mejorar la calidad de los pastos y así obtener mayor producción de ganado (Boyd y Lichtkoppler, 1979). Por tal razón el acuicultor debe tener en cuenta algunos de los principios básicos que regulan el uso benéfico de los fertilizantes en la agricultura que relacionan la proporción de fertilizante, la producción con el valor económico del fertilizante y del producto.

En un estanque la producción de plancton se desequilibra con mayor frecuencia por la escasez de fósforo. Los fertilizantes a base de fosfatos son los más usados para la producción acuícola, pero en algunos estanques resulta benéfico aplicar también el nitrógeno. Tacon (1989) presenta una tabla con el incremento de la producción a partir de la aplicación de fertilizantes químicos (Tabla 5).

Es importante tener en cuenta que los requerimientos de fertilizante varían en los diferentes estanques y por lo tanto se debe tener presente que una recomendación de aplicación de un fertilizante que funcione en un estanque puede que no sirva para otro. La abundancia de plancton medida con el Disco Secchi puede emplearse para determinar si una preparación de fertilizante es aconsejable.

Métodos de aplicación de los fertilizantes inorgánicos

Grandes cantidades de fertilizantes a intervalos prolongados son un desperdicio, porque la mayoría del fósforo es absorbido por el lodo y el nitrógeno se pierde por desnitrificación (Boyd y Lichtkoppler, 1979). El fertillizante se puede aplicar lanzándolo desde la orilla del estanque, pero la aplicación es más eficiente si el fertilizante se coloca en plataformas sumergidas.

Este método de aplicación evita que el fósforo se asiente en el fondo donde es rápidamente atrapado por el lodo. Boyd y Lichtkoppler (1979) mencionan que las plataformas deben quedar 30 cm por debajo del agua y una plataforma es adecuada para 2 ó 3 hectáreas de área del estanque. El fertilizante se vierte sobre la plataforma y las corrientes se encargan de distribuir los nutrientes a medida que se disuelven.

TABLA 4. Composición de los fertilizantes inorgánicos más comunes (tomado de Boyd y Lichtkoppler, 1979)

	Contenido en porcentajes		
Compuesto	**N**	**P_2O_5**	**k_2O**
Nitrato de amonio	33-35	-	-
Sulfato de amonio	20-21	-	-
Metafosfato de calcio	-	62-64	-
Nitrato de calcio	15.5	-	-
Fosfato de amonio	11.16	20-48	-
Muriato de potasa	-	-	50-62
Nitrato de potasio	13	-	44
Sulfato de potasio	-	-	50
Nitrato de sodio	16	-	-
Superfosfato	-	18.20	-
Superfosfato (doble/triple)	-	32-54	-

TABLA 5. Incrementos en la producción reportados para peces y camarones en estanques fertilizados químicamente, comparados con estanques testigos sin fertilizar (tomado de Tacon, 1989)

Especies	**Incremento en la producción (%)**	**Fertilizante utilizado**	**Fuente**
Oreocrhomis mossambicus	440	Fosfatos	Vander Lingen (1967)
Tilapia (hìbrido)	82-222	Fosfatos	Lazard (1973)
Tilapia sp	214	Fosfatos	Strum (1966)
Oreochromis niloticus	340	Fosfatos	George (1975)
Tilapia (hibrido macho)	302-420	Fosfatos	Hickling (1962)
Oreochromis mossambicus	174	0:8:2 (NFP)	Varikul (1965)
Oreochromis mossambicus	170	8:8:2 (NFP)	Varikul (1965)
Cyprinus carpio	752-945	F:A:S	Hepher (1963)
Cyprinus carpio	109	0:8:2 (NFP)	Swingle *et al.* (1963)
Cyprinus carpio	137	8:8:2 (NFP)	Swingle *et al.* (1963)
Ictalurus punctatus	565	0:8:2 (NFP)	Swingle *et al.* (1963)
Ictalurus punctatus	476	8:8:2 (NFP)	Swingle *et al.* (1963)
Mugil cephalus	167	Fosfatos	El Zarka y Fahmy (1968)
Penaeus stylirostris	89	Fosfatos/úrea	Rubright *et al.* (198)

Debe efectuarse control de maleza en estanques invadidos por macrófitas o estas resultarán estimuladas por el fertilizante en lugar del plancton. Finalmente, los estanques con lodos ácidos y alcalinidad total por debajo de 15-20 mg/lt pueden ser que no respondan a la fertilización, a menos que primero se aplique cal.

Es importante considerar que en algunos casos los estanques nuevos requieren de más fertilización que otros que ya han sido fertilizados varias veces. Así mismo es inútil la fertilización en estanques que tienen flujo permanente de agua a través de él. En los sistemas de cultivo como los intensivos y superintensivos, donde los peces reciben casi todos los requerimientos alimenticios a base de concentrados, no es necesario fertilizarlos.

Algunos fertilizantes tales como úrea, sulfato de amonio y nitrato de amonio estimulan la formación de ácido y su uso continuado puede originar un descenso en la alcalinidad y el pH. La acidez de los fertilizantes nitrogenados puede neutralizarse con cal.

5.7.2 Fertilización orgánica

Contrario a lo que sucede con los fertilizantes inorgánicos, que actúan sobre los organismos autótrofos (fitoplancton), los fertilizantes orgánicos se utilizan para estimular la cadena alimenticia heterotrófica mediante el suministro de materia orgánica y detritus al ecosistema del estanque; el estiércol sirve principalmente como un substrato para el crecimiento de bacterias y protozoarios, los cuales a su vez sirven como alimento rico en proteínas para otros animales del estanque incluyendo los peces y camarones cultivados (Tacon, 1989).

Los fertilizantes orgánicos corresponden a estiércol o desechos vegetales. Estos pueden servir como fuentes directas de alimento para los organismos alimenticios y para los peces, o se descomponen y los nutrientes inorgánicos liberados pueden originar florecimientos de plancton. Los fertilizantes orgánicos tienen poco contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, como se puede observar en la tabla 6, pero es importante tener en cuenta que la composición de los nutrientes en los fertilizantes orgánicos varía de acuerdo con la especie, edad, dieta, tratamientos que se le hayan efectuado al estiércol, etc. De otro lado se requieren mayores cantidades para suministrar comparándolo con un fertilizante químico. Además, es necesario considerar que la materia orgánica se decompone y consume oxígeno durante este proceso, y se deben aplicar con cuidado ya que se puede originar disminución del nivel de oxígeno.

TABLA 6. Composición química del estiércol producido por algunos animales (tomado de Dorado y Salazar, 1993)

Animales	Humedad %	Materia orgánica %	Nitrógeno (N) %	Fósforo (P) %	Potasio (K) %
Cerdos de engorde	71	13.34	0.57	0.12	0.37
Patos	57	26.00	1.00	1.40	0.60
Pollos	76	26.00	1.60	1.50	
Vaca lechera	79	17.00	0.50	0.10	

6. CADENA ALIMENTICIA

El plancton está constituido por todos los organismos microscópicos que están en suspensión en el agua e incluye pequeñas plantas (**fitoplancton**), pequeños animales (**zooplancton**) y bacterias.

En sistemas de cultivo de peces donde no reciben alimento suplementario, el plancton se constituye en la fuente principal de la cadena alimenticia, como se observa en las figuras 15 y 16.

Para obtener el máximo rendimiento de un estanque es importante y necesario conocer y saber manejar la cadena alimenticia desde su comienzo, es decir, la producción primaria de materia orgánica.

Los organismos acuáticos se pueden dividir en las siguientes dos categorías:

a) **Productores o autótrofos:** corresponden a las plantas, tienen capacidad de autoalimentarse y son las encargadas de la producción de materia orgánica con base en la energía solar y los nutrientes por medio de la fotosíntesis y son los que inician la cadena alimenticia.

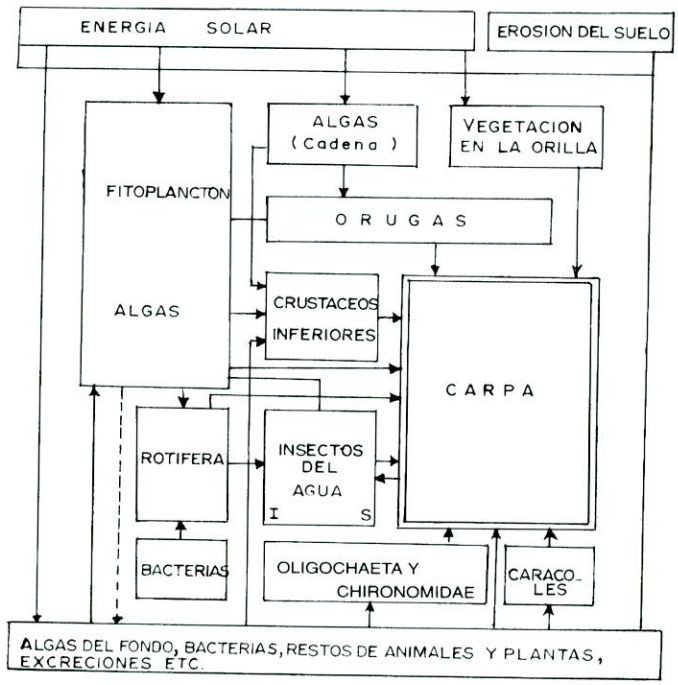


FIGURA 15. Representación esquemática de la cadena alimenticia de la carpa en un estanque (Tomado de Hepher y Pruginin, 1981)

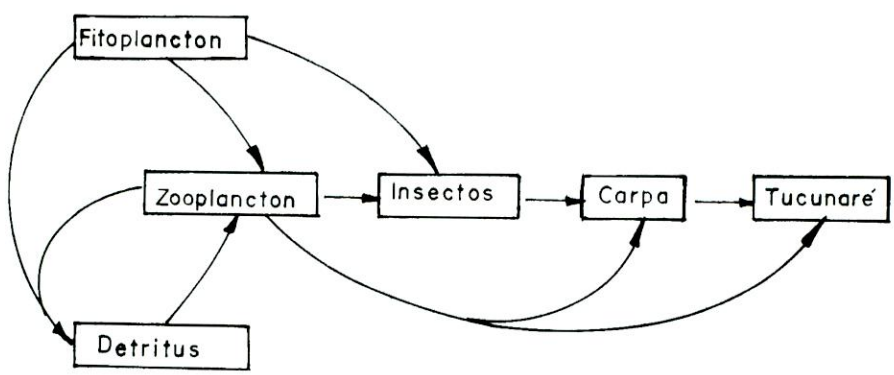


FIGURA 16. Cadena alimenticia representativa de un cultivo en el cual participa un pez carnívoro como el tucunaré (*Cichla ocellaris*) (Modificado de Boyd y Lichtkoppler, 1979)

b) **Consumidores o heterótrofos:** corresponden a los animales y utilizan la materia orgánica producida por los anteriores. Dentro de esta categoría se ubican los descomponedores, como las bacterias, que se encargan de la descomposición de la materia orgánica.

La cadena alimenticia de los organismos de un estanque puede ser corta o larga, dependiendo que su consumo sea del primer eslabón o de los productores y en este caso es corta, mientras los de cadena larga se alimentan de otros animales, por consiguiente todos los animales herbívoros corresponden a cadena corta o consumidores primarios, ya que se alimentan directamente de material vegetal. Los organismos de cadena larga se alimentan de otros y dentro de estos se pueden dividir en predadores de primer grado aquellos que se alimentan de animales herbívoros y de segundo grado los que se alimentan de otros predadores.

La evolución y productividad de todos los organismos que componen un estanque no dependen sólo de la cantidad de alimento disponible, también entran a consideración otros factores tales como son la temperatura, la concentración de oxígeno y la acción ejercida sobre el plancton por los organismos del estanque en los diferentes niveles tróficos.

Cada uno de los niveles en la cadena trófica puede ser alterado por condiciones adversas y afectar de esta manera los niveles superiores. Se puede dar el caso en que el nivel más bajo sea abundante y algún factor afecte drásticamente un nivel intermedio o superior interrumpiendo la cadena. De lo anterior se deduce que para obtener el máximo rendimiento de un estanque es necesario manejar la cadena trófica integralmente desde su inicio.

Es importante considerar que ningún organismo usa para construcción de su cuerpo el 100% del alimento que toma, ya que una parte del alimento ingerido se convierte en energía y calor. Se ha establecido, de una forma simplificada, que la disipación de energía en cada eslabón de la cadena que no es fijada al siguiente eslabón alimentario sería del 80 al 90%, por lo cual 1 kg de fitoplancton conduciría aproximadamente a 100 g de zooplancton, éstos a su vez a 1 g de predadores o carnívoros de segundo orden. Por consiguiente, debe ser prioridad de la acuicultura la utilización de especies de niveles tróficos inferiores a las de niveles superiores; así sería deseable la utilización de especies de hábitos filtradores, detritívoros, herbívoros., con prioridad a las de carácter carnívoro, predador y omnívoro (Margalef, 1974 en Martínez, 1987).

PRODUCTORES —> HERBÍVOROS —> CARNÍVOROS —> CARNÍVOROS SUPERIORES

Hepher (sin fecha) presenta la producción en los diferentes niveles tróficos del Lago Mendota en los Estados Unidos con los siguientes resultados:

NIVEL TRÓFICO	**Gramo-calorías/cm²/año**
Carnívoros superiores	0.3
Carnívoros	2.3
Herbívoros	41.6
Plantas productoras	480.0

Lo anterior permite concluir que para incrementar la producción en el nivel trófico más alto se deben dar las condiciones para aumentar la producción en los niveles tróficos más bajos y sobre todo a nivel de la producción primaria. Por consiguiente, entre más corta sea la cadena alimenticia del organismo en cultivo más eficiente será la producción. El estanque representa el ecosistema más simple y mejor delimitado (Fig. 17).

En los estanques de aguas continentales hay dos tipos de vegetales:

Las algas planctónicas: algas verdes (*Pandorina, Scenedesmus, Closterium, Cosmarium*); algas verde azules o cianofíceas (*Oscillatoria, Anabaena*); diatomeas (*Navicula, Cyclotella*); algas verdes (*Spirogyra, Pediastrum*); **los vegetales superiores** sumergidos (*Potamogeton*), flotantes (*Eichornia, Salvinia*) o erguidos cerca de las orillas como el junco (*Typha*). Estos vegetales son consumidos por la fauna herbívora, constituida por el **zooplancton** como pequeños crustáceos los cladóceros (*Daphnia, Bosmina*), copépodos (*Cyclops, Diaptomus*) y rotíferos; caracoles que viven sobre los sustratos, como *Limnaea, Planorbis, Pomacea, Marissa* y por peces herbívoros como la mojarra plateada *Oreochromis niloticus* (filtrador de fitoplancton) y la mojarra herbívora *Tilapia rendalli* que consume vegetales superiores.

Estos herbívoros sirven de alimento a los **peces carnívoros** de primer orden, pero el zooplancton es también objeto de atención de otros carnívoros como insectos. Una cierta parte de los carnívoros de primer orden son consumidos por **depredadores de segundo orden** como la trucha *Onchorynchus mikiss* y el tucunaré *Cichla ocellaris*, que culminan la cadena.

Es importante considerar que se establecen **intercambios entre ecosistemas,** ciertos herbívoros terrestres como algunos insectos pueden caer al agua y ser comidas por carnívoros acuáticos, además, diversos carnívoros terrestres, como el martín pescador (familia Alcedinidae), las garzas, el águila pescadora (*Pandion haliaetus*), la babilla (*Caiman cocodrilus fuscus*), muchas veces obtienen su alimento entre los peces del estanque.

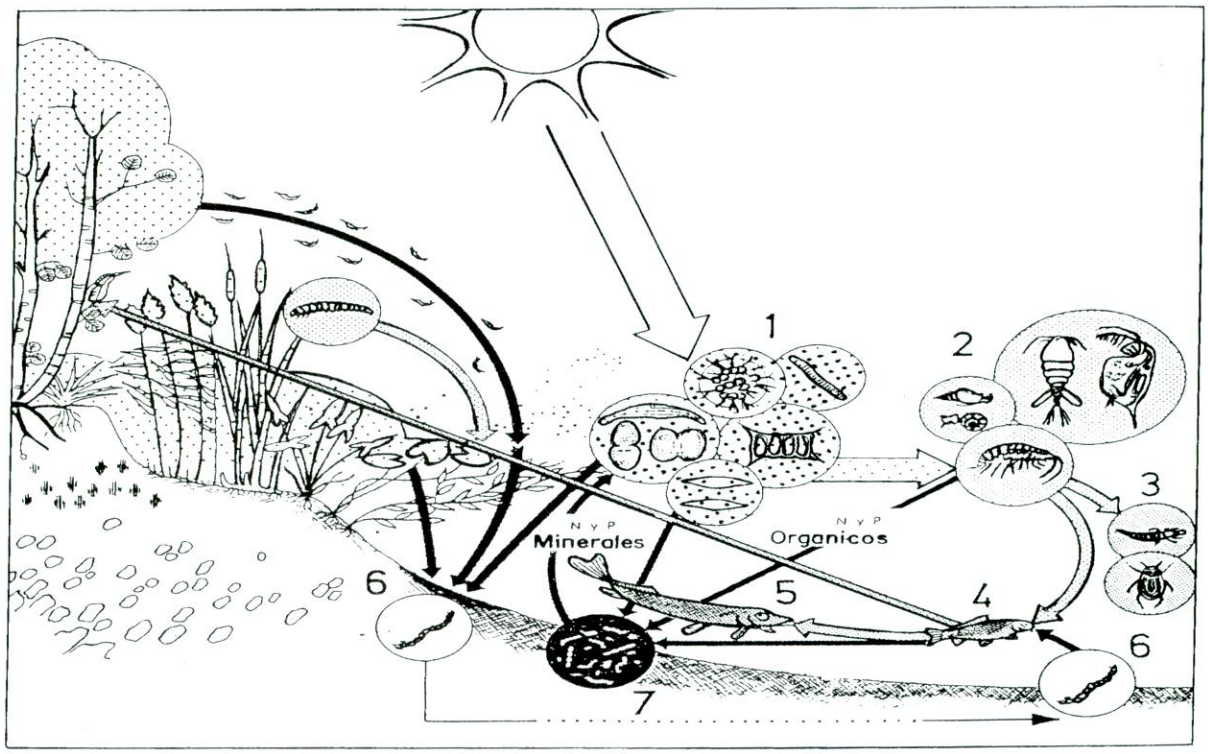


FIGURA 17. Esquema del ecosistema estanque. 1) Fitoplancton *Navicula, Scenedesmus, Pandorina, Oscillatoria, Cosmarium*. 2) Zooplancton como copépodos, rotíferos, cladóceros. 3) Insectos tanto larvas como adultos. 4) Carpa *Cyprinus carpio*. 5) Tucunaré *Cichla ocellaris*. 6) Larva de quironómidos. 7) Bacterias.

Los vegetales muertos sirven de alimento a los saprobios. Así los quironómidos descomponen la materia orgánica cualquiera que sea su origen (acuático o terrestre, es decir, de la vegetación litoral), siendo luego presa de peces como la carpa, a través de los que introducen de nuevo en el ciclo una parte de la materia orgánica.

Finalmente, las bacterias descomponen la materia orgánica y liberan los elementos minerales, restituyendo a los vegetales aquellos elementos biógenos que precisan para su asimilación.

Existen varias técnicas para medir la abundancia del plancton, pero la mayoría son tediosas y poco prácticas para el acuicultor. La técnica más aconsejable para ser usada en estanques que no contengan una apreciable turbidez de arcilla, es medir la visibilidad del Disco Secchi, debido a que hay una alta correlación entre la visibilidad del disco y la abundancia de plancton (Fig. 18). Es importante que el acuicultor sepa distinguir entre la turbidez del plancton y otras formas de turbidez, debido a que no siempre los florecimientos de plancton son verdes.

No es posible establecer una turbidez de plancton ideal para cultivo. Sin embargo, se acepta que una visibilidad del Disco Secchi entre 30 y 60 cm es generalmente la adecuada para una buena producción de peces y para sombrear las malezas acuáticas. A medida que la visibilidad del Disco Secchi disminuye de 30 cm hay un incremento en los problemas de oxígeno disuelto.

7. EL BENTOS DE UN ESTANQUE

Este término se aplica para referirse a todos los organismos que viven dentro o sobre el suelo del fondo. Estos organismos influyen en las características del suelo, como resultado de sus diferentes actividades. Pero el grupo que

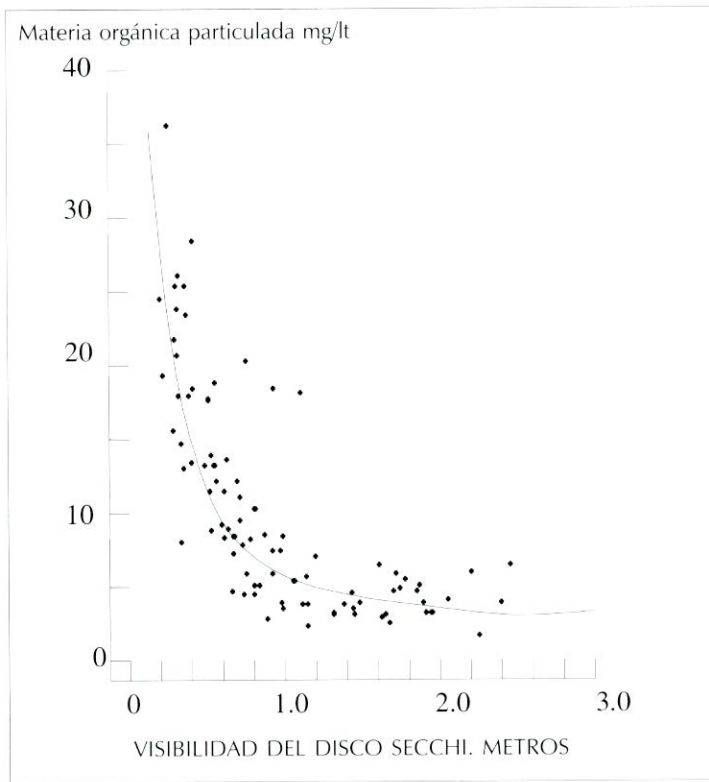


FIGURA 18. Relación entre la abundancia del plancton (materia orgánica particulada) y la visibilidad del disco de Secchi en estanques para peces (Tomado de Boyd y Lichtkoppler, 1969)

tiene más influencia entre los organismos del suelo son las bacterias. Las bacterias así como otros microorganismos descomponen la materia orgánica del suelo y en sus actividades metabólicas consumen oxígeno y producen desechos metabólicos potencialmente tóxicos.

8. EFECTO DEL SUMINISTRO DE ALIMENTO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN UN ESTANQUE

Algunos de los problemas de calidad de agua y de suelo que se presentan en un estanque son generados por el suministro de alimento concentrado que se utiliza para incrementar la producción, los cuales en términos generales causan problemas de disminución de oxígeno, incremento de nutrientes, de materia orgánica, de amonio y disminución de pH.

Gran parte del alimento que se suministra a una población bajo cultivo es consumida; sin embargo **el alimento no consumido** es convertido por acción de las bacterias en diferentes sustancias que se disuelven en el agua siendo las más importantes el dióxido de carbono, el amonio y los fosfatos y las partículas mayores pasan a sedimentarse.

Gran parte del **alimento consumido** es absorbido por el intestino y convertido en carne y el que no se utiliza se vuelve heces y a su vez estas son convertidas por acción bacteriana y se convierte en materia orgánica soluble y sedimento.

Gran parte del **alimento absorbido** es devuelto al agua a través de los procesos metabólicos como dióxido de carbono a causa de la respiración y como amoniaco y fosfatos en la excreción.

A causa de los tres procesos anteriores (alimento no consumido, consumido y absorbido) se generan nutrientes inorgánicos mineralizados que se obtienen por la acción de los microorganismos y que son utilizados por el fitoplancton y a su vez éste produce oxígeno en la fotosíntesis y lo consume durante la respiración y finalmente cuando muere se convierte en materia orgánica muerta la cual es atacada nuevamente por los microorganismos. En la figura 19 se presenta el ciclo del alimento en un estanque.

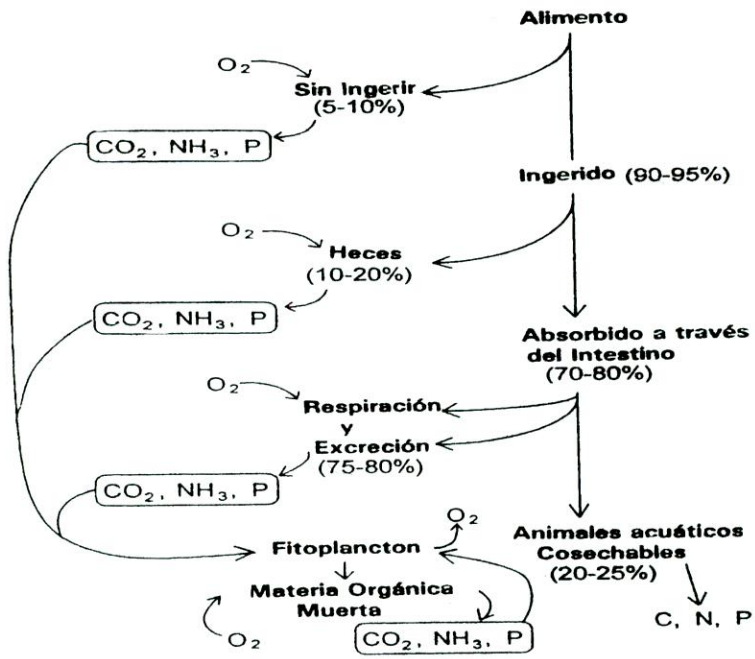


FIGURA 19. Ciclo del alimento suministrado a una población bajo cultivo (tomado de Boyd, 2000)

En la tabla 7 se presenta el suministro de carbono, nitrógeno y fósforo a un estanque con base a una producción de 1000 Kg de tilapia y con una conversión alimenticia de 2:1, el remanente de materia seca, carbono, nitrógeno y fósforo causa contaminación en el estanque Boyd (2000). El mismo autor menciona que los nutrientes provenientes de la producción de 1000 kilos de peces vivos, estimulan el crecimiento del fitoplancton hasta aproximadamente 2500 kilos de materia orgánica seca.

De otro lado es importante tener en cuenta que como producto metabólico está el amoniaco que es altamente tóxico.

La mayor parte de la materia orgánica y los nutrientes originados por los alimentos se disuelven en el agua o son atrapados por el fondo del estanque y a su vez estos nutrientes son aprovechados por el fitoplancton y la materia orgánica en su descomposición demanda oxígeno y genera gases hacia la atmósfera finalmente la materia orgánica, los nutrientes y las partículas suspendidas son drenadas a la fuente de agua generando contaminación (Fig. 20).

TABLA 7. Cálculo de insumos, producción, cargas de carbono, nitrógeno y fósforo para la producción de 1000 kilos de tilapia viva con un índice de conversión de 2 (Tomado de Boyd, 2000)

Insumos	%	Cant. (kg)	Producción	%	Cant. (kg)	Carga (kg)
Alimento balanceado[1]		2000	Peces vivos	–	1000	–
Materia seca[2]	92	1840		27.5	275	1565
C*	47	865		45.7	125.7	739.3
N*	4	73.6		8.3	22.8	50.8
P*	0.9	16.6		2.7	7.4	9.2

1 Base secado al aire. 2 Base secado al horno. * Base secado al horno.

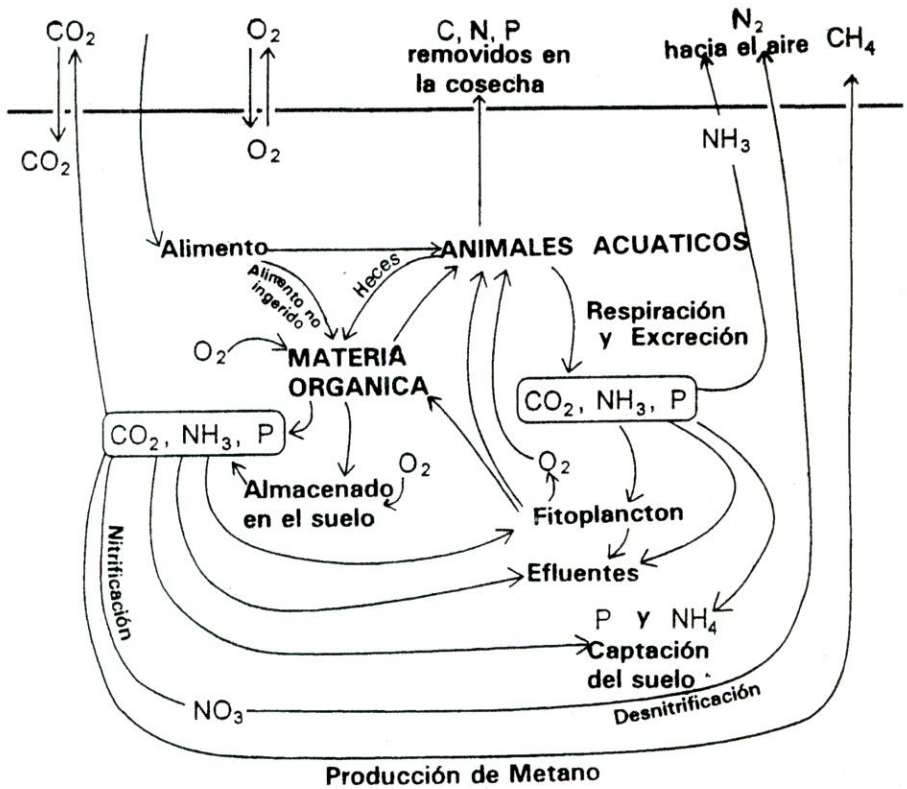


Figura 20. Destino de la materia orgánica y de los nutrientes resultantes del suministro de alimento balanceado en acuicultura (Tomado de Boyd, 2000)

BIBLIOGRAFÍA

BOYD, C.E. 1979. Water quality in warmwater fish ponds. Auburn Univ. (Ala) Agr.Exp. Sta. 359p.

BOYD, C. E. 2000. Manejo de suelo y de la calidad de agua en la acuicultura de piscinas. Seminario "Tilapias y camarones en producción" Asociación Americana de Soya. Bogotá.

BOYD,C.E y F. LICHTKOPPLER. 1979. Water quality management in pond fish culture. Auburn University. Research and Development Series Nº 22, 30 p.

DORADO, M. del P. y G. SALAZAR. 1993. Cultivos integrados a otrasactividades agropecuarias. 251 - 262 p. En: Rodríguez, H., G. Polo y O. Mora (Eds.) Fundamentos de Acuicultura Continental, INPA, Bogotá, 286 p.

EICHER, 1947. Aniline Dye in Aquatic Weed Control. J. Wildl. Manag. 11: 193-197.

EMERSON, K.; R.C. RUSSO; R.E LUND y R.V. THURSTON. 1975. Aqueous ammonia equilibrium calculations: Effect of pH and Temperature. J. Fish. Res. Bol. Can. 32: 2379-2383.

HEPHER, B. (sin fecha). Limnología de estanques para peces. Departamento de Pesquería Min. Agri. Israel. mimeo.

HEPHER, B. y PRUGININ. 1981. Comercial fish farming. John Wiley and Sons (Publishers) Inc, New York. N. Y. 261 p.

INDERENA, 1990. Manejo de cuencas hidrográficas abastecedoras de acueductos municipales. Ministerio de Agricultura, Campaña municipio verde. Bogotá. 24 p.

MARTINEZ, L. 1987. Manejo del alimento y estrategia alimentaria. 167-218 p. En: Espinoza J. y U. Labarta (Eds.). Alimentación en Acuicultura. CAICYT, Madrid.

MEADE,T.L. 1976. Closed system salmonid culture in the United States. Marine Advisory Service, University of Rhode Island, Kingston, Marine Memorandum 40. 16 p.

ROMAIRE, R.P. 1985. Water quality. in: Huner, J.V. and Brown, E.E., Eds. Crustacean and mollusk culture in the United States. Ed. AVI Pub. Co. Inc. Westport, Conn., USA. Cap.10:415-451.

STICKNEY, R. R. 1979, Principles of warm water aquaculture, John Wiley and Sons (Publishers) Inc. New York, N.Y. 375 p.

SWINGLE, H.S. 1957 Relationships of pH of pond waters to their suitability for fish culture. Proc. Pacific. Sci. Congress.9, vol.10, Fisheries.72-75.

SWINGLE,H.S. 1969. Methods of analysis for waters, organic matter and bottom soils used in fisheries research. Ed. Green, G. N. y Lovell, R.T. 119 p.

TACON, A. G. J. 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Manual de capacitación. FAO, GCP/RLA/102/ITA, Documento de campo 4, Brasilia (Brasil), 572 p.

WARREN, J.W. 1983. The nature of fish disease. in: A guide to integrated fish health management in the Great Lakes basin. Special Pub. 83(2):7-14.

WATTEN, 1994. Aireación y oxigenación. 173-205 p. In Timmons, M. B. y T. M. Losordo (Ed.) Aquaculture water reuse systems: Engineering design and management. ELSEVIER.

WELCH,P.S. 1952 Limnology. Mc Graw-Hill, New York, 471p.

Capítulo IV. CONSTRUCCIÓN DE ESTANQUES

Hermes Orlando Mojica Benítes[1]
Abraham Alberto Villaneda Jiménez[2]

I. GENERALIDADES

Los estanques en acuicultura son embalses artificiales para almacenar agua y que se pueden llenar y vaciar fácilmente según las necesidades y deben ser un medio favorable para el desarrollo de los organismos que se estén cultivando (peces, camarones, moluscos, etc.). El tamaño varía de unos pocos metros cuadrados a varias hectáreas y su profundidad entre 0.60 m y 4.5 m (Fig. 1) (Esteves, 1987; González y Heredia, 1989; Esteves, 1990; Villamil, 1990; EICA, 1991 y Ramírez *et al.* 1996).



FIGURA 1. Vista general de un estanque

Para la implementación de un proyecto piscícola se debe tener en cuenta el tipo de cultivo a realizar, especies a cultivar, tipo de acceso para insumos y comercialización y la selección del terreno donde se van a construir los estanques. Para acuicultura se deben tener en cuenta las siguientes características que están íntimamente ligadas para una mejor viabilización y optimización del proyecto acuícola, sin dejar a un lado aspectos como la vegetación local y los datos meteorológicos (temperatura, precipitación, evaporación, humedad, intensidad de los vientos e hidrología), como son los que se presentan a continuación:

Topografía: que su conversión en estanques sea económica.
Subsuelo: que sea impermeable es decir que retenga agua.
Suministro de agua: que sea suficiente y de buena calidad.

1 Biólogo Marino, Director Estación Piscícola La Terraza, Villavicencio (Meta). INPA. E-mail: inpa1@villavicencio.cetcol.net.co
2 Biólogo Marino, Subdirector de Investigaciones INPA. E-mail: bran7585@usa.net

1.2 TOPOGRAFÍA

Es la característica superficial del terreno, es decir el relieve y determina la viabilidad económico-financiera de la inversión. Los costos de construcción de un estanque pueden reducirse en gran proporción si se saca ventaja de estas características (Proença *et al.*, 1994).

La cantidad de estanques, el tipo (de presa o derivación), la forma, superficie y profundidad dependen del relieve. Para que se puedan construir uno o varios estanques en un terreno con declive es preciso que se pueda llevar el agua a un nivel superior de los estanques y que la parte baja se encuentre en un nivel inferior al fondo de los mismos para poderlos desocupar (Bard *et al.*, 1975; Rey y Amaya, 1983; Esteves, 1990 y EICA, 1991).

Es importante que el terreno tenga desnivel o pendiente, no exagerado, para no construir diques demasiado altos y costosos en la parte baja del terreno. En terrenos con pendiente alrededor del 2%, el movimiento de tierra es mínimo, incrementándose el tamaño del dique con el aumento de la pendiente. Si no se cuenta con un levantamiento topográfico, una forma sencilla de medir el desnivel es marcar dos puntos a lo largo del terreno, medir la distancia entre ellos y la diferencia de altura con un nivel. (Bard *et al.*, 1975 y Mercado, 1989) (Fig. 2).

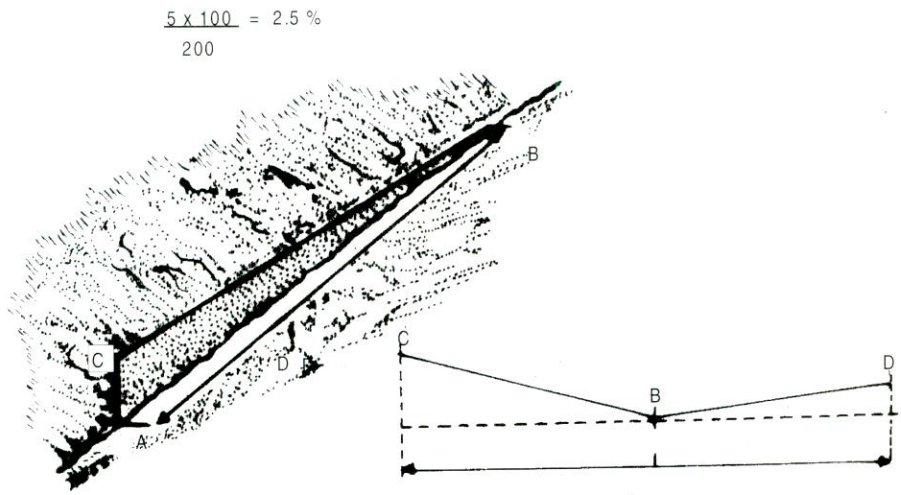


FIGURA 2. Declive a lo largo de un valle

Ejemplo: en un terreno con una pequeña inclinación se tomó una distancia entre un punto A y un punto B situado 200 metros más abajo y se obtuvo una diferencia de nivel de 5 metros, entonces:

$$\text{Pendiente} = \frac{5 \times 100}{200} = 2.5\%$$

Terrenos planos o ligeramente inclinados, con pendientes naturales inferiores a 5%, son recomendables para la construcción de estanques. Muchos de los estanques pueden ser construidos en hondonadas o en depresiones naturales con pendientes superiores al 8 %, cerrando cañones angostos con diques que retengan el agua.

En otras ocasiones cuando el terreno es ligeramente plano y una quebrada fluye a través de él, pueden construirse estanques levantando diques alrededor de dos o tres lados de la quebrada; el agua para llenarlo se desvía de la corriente. Los costos de construcción de una presa pueden ser muy altos e incrementarse si el agua del arroyo o quebrada no es suficiente para el llenado.

Los lados u orillas de la depresión o del llano que se van a encerrar deben ser lo suficientemente altos, de tal manera que den un rango de profundidad de agua apropiado.

1.2 SUELO

El suelo está compuesto de partículas orgánicas resultantes de la descomposición plantas, animales y minerales como arcilla, sílice, arena, grava, etc. Generalmente se encuentran en camadas superficiales de 30 ó 40 cm.

Un estanque no es más que un recipiente de tierra para colectar y mantener agua, los diques y el fondo debe estar compuestos de material del suelo que reduzcan la filtración al mínimo. Los suelos con alto contenido de arcilla son los mejor adaptados para este propósito. Se deben evitar suelos con textura gruesa, grava, arena o arena y grava a menos que los pueda impermeabilizar y controlar la filtración. Se deben evitar suelos bajo los cuales hay calizas, hendiduras, resumideros o canales. Los suelos de textura arcillosa o franco arcillosa son los mejores.

Si el contenido de arcilla es superior al 30%, no se necesitarán medidas especiales de protección de los diques y control de la filtración. Si el contenido de arcilla es inferior al 10% es mejor desechar el terreno seleccionado (Villamil, 1984; Baños, 1989; Mercado, 1989; Proença *et al.*, 1994 y Wedler, 1998).

1.2.1 Tipos básicos de suelo

El tamaño de los materiales que componen el suelo varía de un lugar a otro de acuerdo con los elementos que predominen en su composición (Baños, 1989 y Wedler, 1998) (Tabla 1) y se clasifican así:

A. **Grava y Arena:** aparece como fracciones de rocas visibles y sin coherencia, es permeable.

B. **Limo Inorgánico:** partículas de limo mucho más pequeñas que las de arena, no visibles a simple vista. El limo no deja pasar el agua tan fácilmente como la arena y es menos permeable. No se agrietan cuando se secan y tampoco se adhieren a las herramientas cuando están húmedos. Son más fáciles de trabajar que los arenosos, pero más difíciles que los arcillosos. Se puede confundir con la arcilla y se necesita modelarlo y manipularlo para establecer la diferencia, pues no presentan plasticidad y son inconsistentes.

C. **Limo Orgánico:** son partículas de limo inorgánico mezcladas con partículas de materia orgánica en descomposición y tiene olor característico. Tienen alta capacidad de filtración.

D. **Arcilla Inorgánica:** es la parte más fina del suelo, con fuertes propiedades de retención para el agua y las sustancias químicas. Se pueden reconocer fácilmente porque al perder agua se agrietan y forman terrones muy duros. La absorción del agua es muy lenta, pero una vez lo hacen pueden retenerla en grandes cantidades y dilatarse hasta alcanzar más del doble de su volumen. Los suelos arcillosos son demasiado adhesivos cuando están húmedos y resistentes a la manipulación cuando están secos.

E. **Arcilla Orgánica:** arcilla con materia orgánica muy fina y un fuerte olor a descomposición, su coloración es amarilla, roja o blanca.

F. **Turba:** es suelo formado cerca del 80% por materia orgánica parcialmente descompuesta y se encuentra en lugares poco drenados, áreas pantanosas o zonas costeras, alcanzan algunas veces varios metros de profundidad y son altamente permeables.

La mayoría de los suelos se componen de una mezcla de diferentes tipos, se llaman suelo compuesto y su denominación va de acuerdo con los elementos principales y secundarios que contienen (Tabla 2).

El tipo de material para los diques, las características de compactación, compresibilidad, permeabilidad y textura describen la aptitud relativa de los distintos tipos de suelo como material apto para la construcción de estanques. En la tabla 3, se presentan las diferentes texturas del suelo y sus características.

Según Villamizar (1984) se consideran como buenos suelos para la construcción de terraplenes o diques homogéneos, los que contienen material limo arcilloso, que son poco plásticos y presentan pequeñas variaciones de volumen con los cambios de humedad y además poseen suficiente impermeabilidad. Los suelos arcillosos son impermeables, de

TABLA 1.Clasificación de los suelos según tamaño de la partícula (Wedler, 1998)

Diámetro (mm)	Tipo de suelo
< 0.002	Arcilla
0.002 - 0.05	Limo
0.05 - 0.1	Arena muy fina
0.1 - 0.25	Arena fina
0.25 - 0.5	Arena mediana
0.5 - 2	Arena gruesa
2 - 5	Arena muy gruesa
> 5	Grava

TABLA 2. Composición de suelos (Baños, 1989)

Suelo	Principal	Secundario
Limoso arcilloso	Limo	Arcilla
Arenoso limoso	Arena	Limo
Arcilla arenoso	Arcilla	Arena

Tabla 3. Características de los diferentes tipos de suelo (Baños, 1989)

Textura	Permeabilidad	Compresibilidad	Caracteristicas de Compactación	Aptitud como material para diques
Arcilloso	Impermeable	Media	Regular o buena	Excelente
Arcilloso arenoso	Impermeable	Baja	Buena	Buena
Franco	Semipermeable a impermeable	Alta	Regular a muy deficiente	Deficiente
Franco	Semipermeable a impermeable	Media alta	Buena o muy deficiente	Deficiente
Arenoso	Permeable	Insignificante	Buena	Deficiente
Turboso				Muy deficiente

baja plasticidad y poco cambio de volumen con los cambios de humedad. Las arcillas arenosas son de buena impermeabilidad.

Las arcillas expansivas o sea las que sufren grandes cambios de volumen con las variaciones de la humedad no son apropiadas para la construcción de diques, debido a los permanentes cambios de humedad que presentan a lo largo de su vida útil. Se pueden utilizar haciéndoles un tratamiento de estabilización con cal y adicionalmente revestir el dique con una tela impermeable para mantener constante la humedad.

1.2.2 Método del triángulo textural

Es un método apropiado para determinar la textura del suelo, aplicado por USDA y basado en análisis granulométrico que clasifica las partículas de acuerdo con el tamaño (Baños, 1989), así:

Limo: todas las partículas cuyo tamaño varía de 0.002 a 0.05 mm.

Arcilla: todas las partículas de menos de 0.002 mm.

Para definir la textura de la fracción fina se procede de la siguiente manera:

- Tomar una muestra de suelo y hacer un análisis granulométrico.
- Determinar los porcentajes relativos de arena, limo y arcilla (dentro del intervalo de tamaño total de 0.002 a 2 mm)

Para determinar la clase textural de cada muestra de suelo empleamos el diagrama triangular que aparece en la figura 3, de la siguiente manera:

1. Hallar el porcentaje de arena que figura en la base del triángulo y seguir una línea en sentido ascendente, hacia la izquierda.

2. Hallar el porcentaje de arcilla a lo largo del lado izquierdo del triángulo y seguir la línea horizontal hacia la derecha hasta encontrar la línea que representa la arena (punto cero). Este punto indica la textura de la muestra de suelo.

3. Comprobar si este punto corresponde al porcentaje de limo de su análisis, siguiendo una línea desde el punto cero hacia la derecha hasta alcanzar la escala de porcentaje de limo que aparece en el lado derecho del triángulo.

1.2.3 Propiedades físicas del suelo

La permeabilidad y consistencia del suelo son condiciones importantes en la viabilidad técnico económica de un proyecto piscícola. Los suelos con porcentajes de arcilla superiores al 35% son de buenas características técnicas para la construcción de diques y cuando el porcentaje de arena es superior al 50% se deben desechar.

Color

El color del suelo se relaciona con las condiciones de drenaje. En el horizonte superficial se pueden observar matices oscuros que indican presencia de materia orgánica y poco drenaje. Los horizontes más profundos poseen colores rojizos o pardos brillantes que indican buen drenaje, si aparecen colores negros o grises indican un mal drenaje.

Textura

Está dada por el porcentaje de las diferentes partículas que componen el suelo y que determinan la facilidad para manipularlo, la cantidad de agua que retienen y la velocidad con que lo atraviesa. Para determinar la textura existen los siguientes métodos de campo:

En el sitio seleccionado para la construcción de estanques, tomar una porción de suelo a 1 metro de profundidad, humedecerlo, amasarlo, hacer una bola con la mano y luego dejarla caer, si la bola no se desbarata, significa que el suelo contiene suficiente arcilla para la construcción de los diques. Se debe repetir en varios lugares debido a que el horizonte del suelo varía con la topografía.

Para determinar las proporciones aproximadas de las partículas se debe colocar una muestra de suelo en un frasco transparente, llenarlo de agua y agitarlo fuertemente, dejarla en reposo por cinco minutos y volver a agitarla para posteriormente dejarla en reposo por una hora y observar distintas capas que se forman de acuerdo con la composición del suelo. En el fondo se depositará la arena, en el medio el limo y encima la arcilla. Si el agua no queda totalmente clara, esto indica que parte de la arcilla está en suspensión. En la superficie se observarán restos de materia orgánica flotando. El grosor de las capas será un indicativo de las fracciones del suelo.

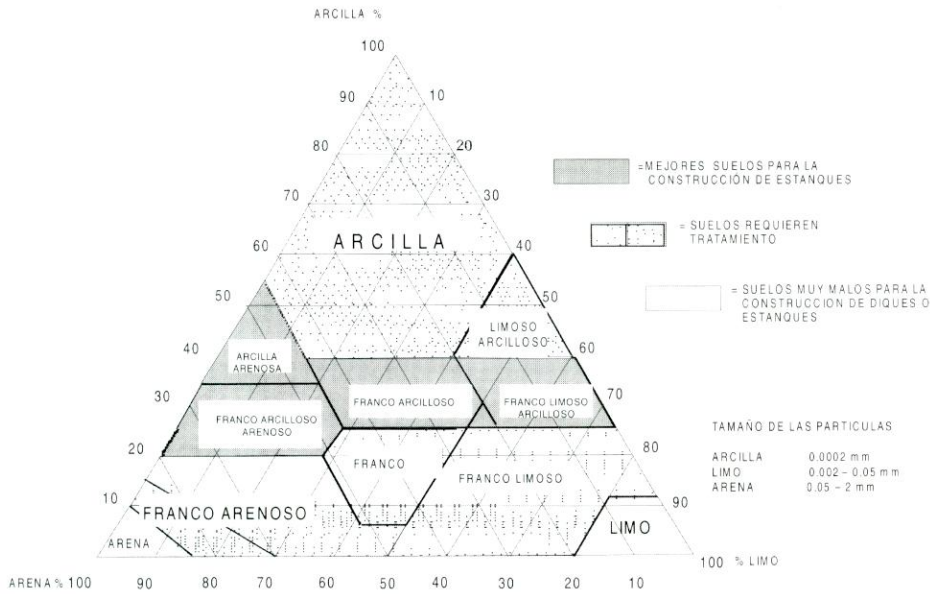


FIGURA 3. Diagrama del Triángulo Textural

La prueba de modelaje y manipulación se realiza principalmente para suelos limosos y arcillosos que presentan textura muy similar. Se toma una muestra de suelo húmedo para formar un cilindro de 8 cm de diámetro y 1.5 cm de espesor, se coloca la muestra en la palma de la mano y se observa si permanece opaca por la presencia de limo o si es brillante por el suelo arcilloso. Si doblando la masa entre los dedos se torna opaca de nuevo se trata de material limoso. La muestra se deja secar totalmente y si se rompe al manipularla es limo o si por el contrario forma un terrón duro, el material es arcilloso (Fig. 4) (Proença, 1994).

1.2.4 Estructura

Define la forma en que están unidas las partículas de los componentes de suelo (granulares y prismáticas). Estos agregados pueden definir una buena o mala estructura del suelo. Esta propiedad se relaciona con la textura, consistencia, permeabilidad y plasticidad y permiten definir de forma más precisa las características físicas del suelo (Proença, 1994).

1.2.5 Consistencia

Es la resistencia del suelo a la deformación y ruptura y puede ser medida en muestras de suelo mojado, húmedo o seco. El suelo es plástico si al manipularlo se adhiere a los dedos y al separarlos, el material se estira. Se puede formar un cordón de 3 mm de espesor con suelo mojado y determinar el índice de plasticidad así: si no se puede formar el cordón no es plástico, si el cordón se rompe y vuelve a su estado inicial es poco plástico y si el cordón formado se rompe y se puede amasar de nuevo y formar el cordón.

En suelo húmedo, si al apretarlo con la mano no presenta cohesión es suelto, si presenta resistencia a la presión de la mano es suelo firme y si al someterlo a fuerte presión se rompe en pedazos es suelo muy firme.

En suelo seco se procede de la forma anterior, considerándolo muy duro si presenta una coherencia tal que resista una fuerte presión sin romperse o duro si se rompe con dificultad.

1.2.6 Plasticidad

Está definida como una propiedad del suelo y es la mayor o menor capacidad de ser moldeados bajo ciertas condiciones de humedad sin variar su volumen. Los límites de plasticidad o de Atterberg (Proença *et al.*, 1994 y

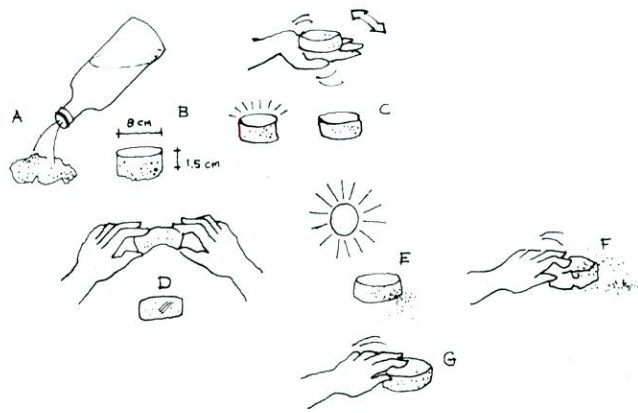


FIGURA 4. Prueba de modelaje para la textura del suelo

General Electric de Colombia y Caterpillar, 1971), reflejan el contenido de agua de una muestra cuando pasa de un estado sólido a uno plástico y de uno plástico a uno líquido.

La humedad de un suelo es muy elevada si se presenta como fluido denso o estado líquido. A medida que el agua se evapora hasta un cierto tenor de humedad (h) que es igual al Límite de Liquidez (LL), perdiendo su capacidad de fluir pudiendo ser moldeado fácilmente y conservar su forma y alcanzando un estado plástico. Al continuar la pérdida de humedad el estado plástico desaparece y el tenor de humedad (h) es igual al Límite de Plasticidad (LP), este es un estado semisólido. Al secarse alcanza el estado sólido y el tenor de humedad (h) es igual al Límite de Contracción (LC) (Fig. 5).

Los límites de plasticidad deben determinarse en laboratorio y van a definir el Índice de Plasticidad (IP) que es igual a:

IP = LL - LP

LÍMITES		LL	LP	LC	
ESTADO	LÍQUIDO	PLÁSTICO	SEMISÓLIDO	SÓLIDO	

Entre mayor sea IP, más plástico será el suelo. El grado de plasticidad (Tabla 4) recomendado para el cimiento y núcleo de un dique debe estar entre 16 y 20% y el LL< 60%, LP < 20% e IP > 30%

TABLA 4. Índice del grado de plasticidad de suelos

Categoría	Suelo	Ip (%)	Grado de plasticidad
I	Areno limoso	0 - 1	No plástico
	Arenoso con trazos de arcilla	1 - 5	Ligeramente plástico
	Areno arcilloso	5 - 10	Bajo
II	SIL arcilloso	10 - 20	Medio
III	Arcillo limoso	20 - 35	Alto
	Arcilloso	> 35	Muy alto

Tomado de Proença *et#al.*, 1994

1.2.7 Permeabilidad

Es la propiedad del suelo que permite el paso del agua y del aire, y es una de las más importantes cualidades que han de considerarse en la construcción de estanques. La permeabilidad se mide en función de la velocidad del flujo

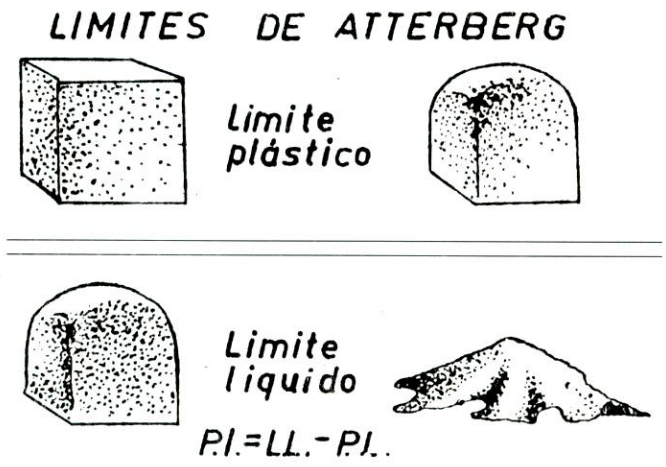


FIGURA 5. Límites de plasticidad del suelo

de agua a través del suelo durante un período determinado. Se expresa como una tasa de permeabilidad en cm/h, mm/h, o como un coeficiente de permeabilidad en cm/seg o m/seg.

Entre más fina sea la textura del suelo más lenta será la permeabilidad (Baños, 1989).

Suelos	Textura	Permeabilidad
Arcillosos	Fina	Muy lenta
Limosos	Moderada	Moderada
Arenosos	Gruesa	Muy rápida

La permeabilidad del suelo puede ser alterada para disminuirla. Es aceptable una tasa media de filtración de 1 a 2 cm/día; sin embargo, cuando se superan los 10 cm/día se deben tomar las medidas correctivas necesarias.

Un método de campo sencillo para estimar la permeabilidad es abrir un hoyo de 1 metro de profundidad y llenarlo de agua hasta el borde en las primeras horas de la mañana; por la noche parte del agua se habrá filtrado en el suelo. Volver a llenar el agua hasta el borde y cubrirlo con ramas. Si a la mañana siguiente la mayor parte del agua permanece, la permeabilidad del suelo es apta para construir estanques. Se debe repetir lo mismo en diferentes áreas del terreno (Fig. 6).

1.2.8 Propiedades químicas del suelo

Los suelos pueden presentar reacciones ácidas o alcalinas y algunas veces un comportamiento neutral, esta reacción química se expresa mediante el valor de pH.

La medida del pH se puede realizar con un pHmetro eléctrico que ofrece una lectura directa, introduciendo los electrodos de vidrio en una solución que se obtiene mezclando una parte de suelo con dos partes de agua destilada. El pH del suelo que conformará los diques y el fondo de los estanques influirá en la productividad de los mismos; por ejemplo, el crecimiento de microorganismos que alimentarán las especies de cultivo pueden disminuir en gran proporción cuando el agua está muy ácida. Cuando la acidez o alcalinidad son extremas se afecta el crecimiento y la reproducción.

El pH del suelo debe estar entre 6.5 y 8.5 para obtener buenas condiciones de productividad de los estanques. Los suelos con pH inferior a 5.5 son considerados demasiado ácidos y los superiores a 9.5 demasiado alcalinos, en

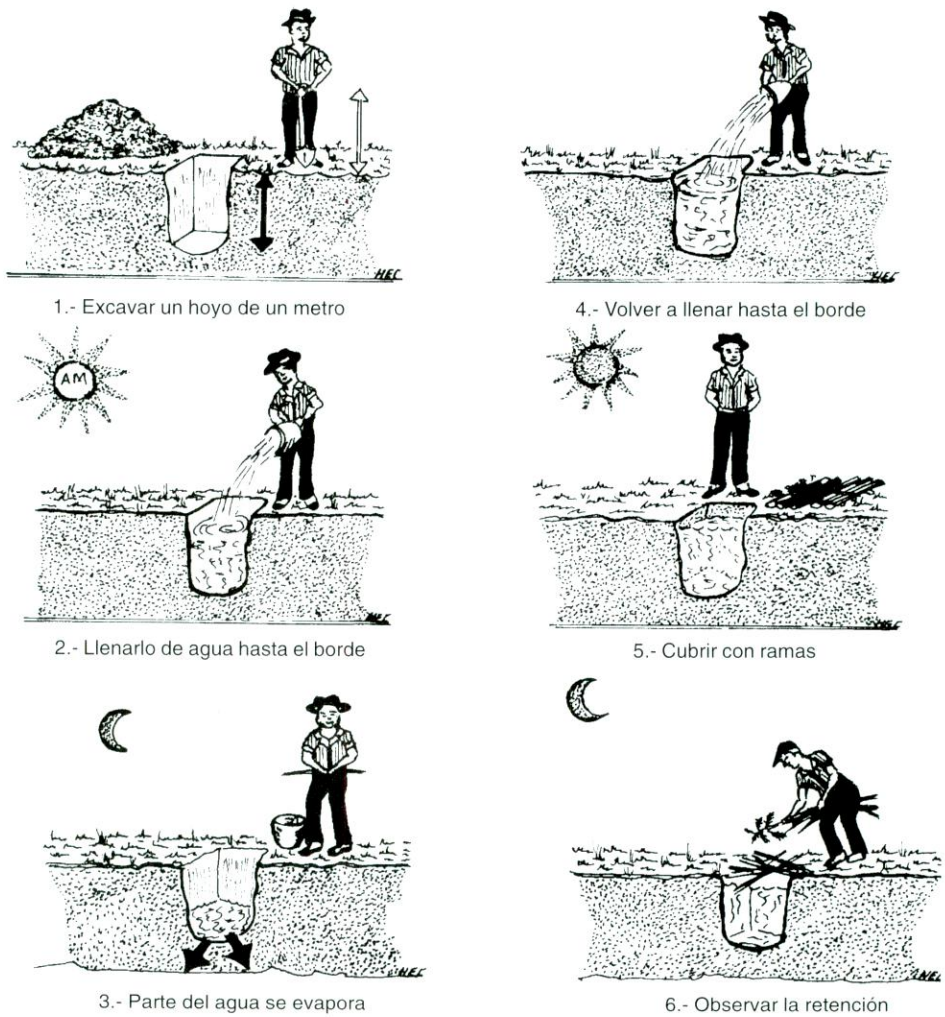


FIGURA 6. Prueba para determinar la permeabilidad del suelo

ambos casos se requieren técnicas costosas para la adecuación. Si el pH es superior a 11 o inferior a 4, los suelos deben ser descartados para la construcción de diques o para el fondo de estanques en acuicultura.

Los suelos sometidos a drenajes y exposición al aire se convierten en suelos ácidos sulfáticos potenciales; son comunes en áreas de manglares, salinas e incluso en agua dulce, registrándose formación de ácido sulfúrico y sulfatos ácidos que provocan toxicidad, respuesta pobre a la fertilización, baja producción natural y crecimiento lento de las especies. El pH varía de 5 a 6; sin embargo, la oxidación química y biológica provocan la acidificación del suelo y el pH llega a 4 en pocos meses.

En áreas de manglares donde se desarrolla el cultivo de camarones, los suelos poseen un alto contenido de pirita (FeS_2) y monosulfato de hierro (Von Prahl *et al.*, 1990). Al construir diques se expone la pirita al aire, liberando grandes cantidades de ácido sulfúrico, como se observa en la siguiente reacción:

$$FeS_2\ (s) + 7/2O_2 + H_2O = Fe^2 + 2SO_4^{-2} + 2H+$$
$$Fe^{2+} + 1/4O_2 + H+ = Fe_3^{+} + 1/2H_2O$$
$$Fe^{3+} + 3H2O = Fe(OH)_3\ (s) + 3H+$$
$$FeS_2\ (s) + 15/4O_2 + 7/2H_2O = Fe(OH)_3\ (s) + 2SO_4^{-2} + 4H^+$$

Debido a la gran insolubilidad del hierro oxidado Fe3+, se forman cuatro equivalentes ácidos por cada mol de pirita oxidado. Esta movilización del hierro provoca mayor captación de fosfatos, los cuales se neutralizan, bajando la productividad del estanque y causando la muerte a los camarones.

1.3 Suministro de agua

La cantidad de agua para el llenado de un estanque debe ser suficiente y de buena calidad. Inicialmente se necesita una cantidad para llenarlo, que debe ser igual al volumen requerido del estanque. Cuando se ha llenado se perderá cierta cantidad por filtración en el suelo a través del fondo, los diques y también por evaporación. El agua para los estanque puede provenir de corrientes naturales como ríos y quebradas, lluvia, acueducto, aguas subterráneas, etc.

1.3.1 Volumen de agua del estanque

Se determina conociendo el área del espejo de agua y la profundidad media. Si el estanque es de forma rectangular o cuadrada el área del espejo del agua se determina, así:

Área = lado x lado (m^2)

Longitud x Ancho (m^2)

Si el estanque es de forma irregular, pero los lados son rectos, se subdivide el estanque en áreas más pequeñas que pueden calcularse fácilmente y al final se suman todas las áreas determinadas para obtener el área total.

Si el estanque es de forma irregular con un lado curvado, se tienen que hacer aproximaciones de la parte curva para encontrar el área de la superficie.

La profundidad media (P) en estanques vacíos se calcula tomando varias mediciones a lo largo del estanque y promediando. Se utilizan cuerdas a lo largo, colocadas a la altura del nivel del agua proyectado.

Si el estanque está lleno y es de forma regular y con pendiente constante, se toma la profundidad en cuatro puntos a lo largo del estanque y se obtiene el promedio:

$$p = \frac{1 + 2 + 3 + 4}{4}$$

Si el estanque es muy grande, pero de forma regular y pendiente constante, se debe medir la profundidad nueve veces o más (Fig. 7).

$$p = \frac{1 + 2 + 3 + ... + 9}{9}$$

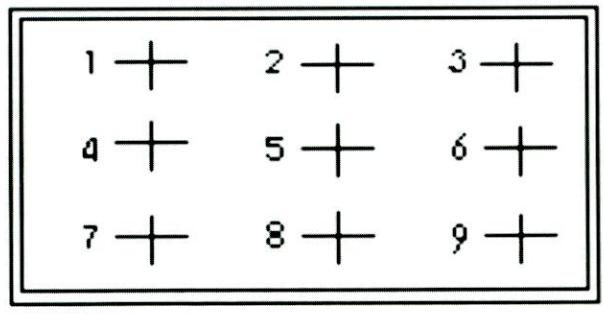


FIGURA 7. Sitios para medir la profundidad y poder calcular el volumen del estanque

1.3.2 Pérdidas de agua por filtración

La filtración de agua es mayor en un estanque nuevo. Cuando se llena por primera vez, la estructura del suelo dejará filtrar agua. Después que el estanque ha estado lleno por algún tiempo, el agua tiende a disgregar la estructura del suelo cerrando los poros existentes. Además, la materia orgánica que se acumula en el fondo disminuye la permeabilidad del suelo y por consiguiente las pérdidas de agua por filtración (Tabla 5).

TABLA 5. Pérdidas por filtración en milímetros por día para diferentes tipos de suelo

Tipo de Suelo	Pérdidas por Filtración (mm/día)
Arenoso	25 - 250
Franco Arenoso	13 - 76
Franco	8 - 20
Franco Arcilloso	2.50 - 15
Arcilloso	1.25 - 10

Tomado de Baños (1989)

Ejemplo: se tiene un estanque de 1500 metros cuadrados, de suelo franco arcilloso y se necesita conocer el volumen necesario para compensar la pérdida por filtración diaria.

La pérdida de agua diaria por infiltración en un suelo franco arcilloso (2.50 - 15 mm) es en promedio 8.75 mm, lo que equivale a 0.000875 metros/día y como el área del estanque son 1500 metros cuadrados, entonces:
0.000875 x 1500 = 1.3 m^3/día.

1.3.3 Pérdida de agua por evaporación

Es el agua que se pierde en la atmósfera desde la superficie del estanque, depende de las condiciones climáticas locales y va en proporción a la superficie del estanque:

- Altas temperaturas, vientos fuertes, baja humedad y el sol incrementan la evaporación.
- Alta pluviosidad y nubosidad, baja temperatura y humedad elevada disminuyen la evaporación.

La evaporación también dependerá del área de la superficie del agua, cuanto mayor sea el área del estanque,más agua se evaporará de su superficie. Para calcular la cantidad de agua perdida de la superficie del estanque por evaporación, se deben conocer las velocidades de evaporación que se expresan como la profundidad de agua perdida en milímetros durante un período de tiempo (2mm/día, 2 mm/semana ó 2 mm/mes).

Las velocidades de evaporación se pueden obtener por el método de **Cubetas de clase A** (Fig. 8).

Para medir la velocidad de evaporación se requiere de un recipiente llamado cubeta de clase A de 1.50 m de diámetro y 0.50 m de profundidad, el cual es llenado de agua y consiste en medir todos los días las pérdidas de agua. Debido a que el agua se evapora más rápidamente en la cubeta que en superficies mayores como las de un estanque, se debe multiplicar por un coeficiente de corrección (0.75) para aproximarse a las pérdidas reales.

Los pasos a seguir son:

- Se obtiene la velocidad media de evaporación de la cubeta clase A en mm para cada mes durante el tiempo que el estanque esté lleno.
- Se suman las velocidades (mm) de cada mes y se multiplica el total por 0.75 para determinar la evaporación corregida para todos los meses.
- Se multiplica este valor por el área de la cubeta para encontrar la pérdida total de agua por evaporación en los meses que emplee el estanque.

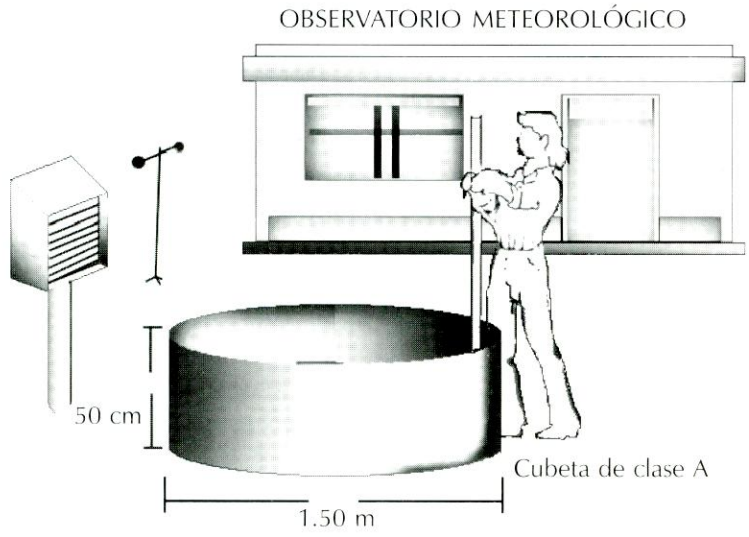


FIGURA 8. Cubeta de clase A

Ej.: determinar la cantidad de agua que por evaporación pierde un estanque de 1000 m^2, durante 6 meses de cultivo.

Las velocidades de evaporación durante los seis meses fueron (20, 35, 28, 42, 30 y 40 mm)

La evaporación total fue 20 + 35 + 28+ 42 + 30 + 40 = 195 mm

La evaporación total corregida es 195 mm x 0.75 = 146.25 mm, es decir, 0.146 m

La cantidad de agua que pierde el estanque por evaporación durante los seis meses es: 1000 m^2 x 0.146 m = 146 m^3.

1.3.4 Medición de caudales

Existen diversas formas de determinar la cantidad de agua en un canal o quebrada y el método a utilizar depende de varios factores:

- La exactitud que se necesite en la medición.
- La cantidad de agua que fluye por el canal.
- El equipo que se disponga.

Método de flotador

Se miden caudales de pequeños y medianos canales con poca exactitud. Se usa un flotador que puede ser un trozo de madera de 30 cm de longitud y 5 cm de ancho, un corcho grande, una naranja, una botella pequeña de 10 cm de altura bien cerrada, con lastre suficiente en el interior, de manera que la parte superior flote encima de la superficie. Se marca el arroyo como se observa en la figura 9. Utilizando cuerda y estacas se marca un trayecto determinado a lo largo del arroyo; se coloca el flotador unos pocos metros aguas arriba de la primera cuerda (línea AB), en el centro del canal y se mide el tiempo (seg) que éste tarda en recorrer la distancia del trayecto AB - CD (Fig. 9).

Método del flotador y la sección transversal

La velocidad media de la superficie del agua (v) se calcula dividiendo la distancia recorrida por el flotador entre el tiempo medio y multiplicando por 0.85 que es un coeficiente de corrección.

$$v = \frac{L\ (AB\ a\ CD)\ (m)}{t\ Tiempo\ (seg)} \times 0.85$$

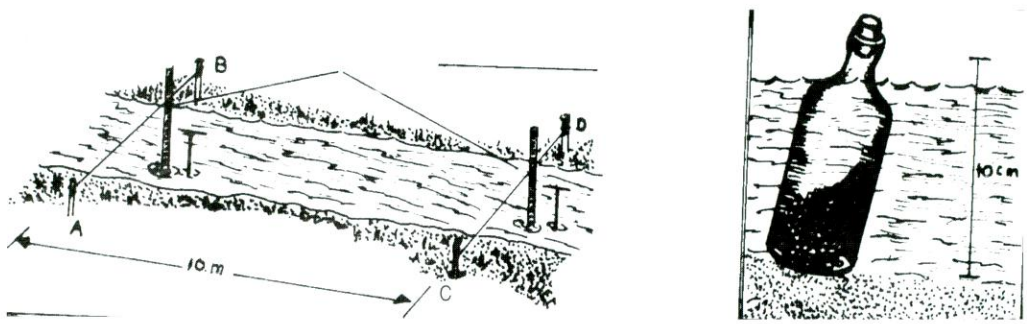


FIGURA 9. Toma de medidas para determinar una sección

Ejemplo: determinar la velocidad del agua en una sección de 10 m de un canal, recorrida por un flotador en 25 seg.

v = 10 m / 25 seg x 0.85 = 0.3 m/seg.

Para medir el ancho del canal (a) se escoge la medida que más se repite después de haberla tomado en diferentes sitios a lo largo de la porción del canal marcado (Fig. 10).

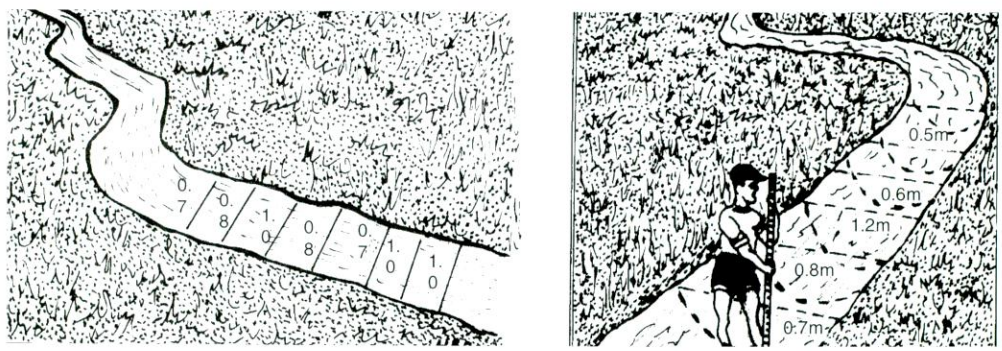


FIGURA 10. Determinación del ancho y profundidad de un canal

Ej.: si las medidas tomadas han sido 0.7 m; 0.8 m; 1 m; 0.8 m; 1 m; 0.7 m; 1 m se toma como ancho promedio 1 m.

La medida de la profundidad media (p) del canal se registra como la mitad de la medida más profunda: se toma la profundidad en diferentes partes y la mayor encontrada se divide por dos.

Ejemplo: las medidas de profundidad en el trayecto marcado son: 0.5 m; 0.6 m; 1.2 m; 0.8 m y 0.7 m. Entonces la profundidad promedio es 1.2/2 = 0.6 m (Fig. 10)

Para calcular el caudal de agua del canal se aplica la siguiente fórmula:

Q = v. a. p.
Donde : Q = Caudal (m^3/seg)
v = velocidad del agua (m/seg)
a = Ancho (m)
p = Profundidad (m)

Usando los datos anteriores:

Q = 0.3 m/seg x 1 m x 0.6 m = 0.2 m^3/seg

Método del flotador y la sección transversal

Es un método para medir caudales pequeños a grandes pero con mayor exactitud. Se marca el terreno en la misma forma que con el método del flotador (AB y CD). El caudal es igual a la velocidad media por el promedio de la sección transversal (Fig. 11).

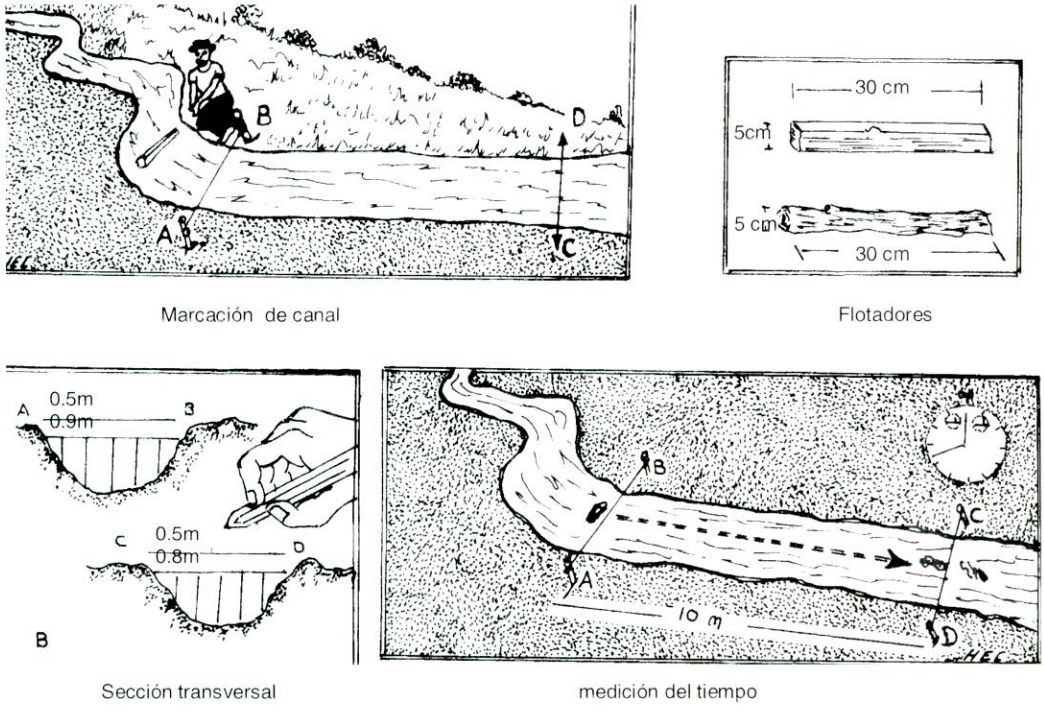


FIGURA 11. Método del flotador para medir caudales

Q = v x Sección Transversal promedio (m^3/seg)

Para estimar la velocidad media del agua en m/seg, se procede como en el método anterior, tomando mínimo tres medidas de tiempo para promediar.

Para obtener la sección transversal promedio se mide la profundidad media del canal en las transversales AB y CD, midiendo cinco veces la profundidad del agua a distancias iguales a través del canal. El promedio de profundidad se multiplica por el ancho del canal.

Se promedian las dos secciones transversales y se multiplica por la velocidad del agua para obtener el caudal (Q).

Ejemplo:

v = 0.50 m/seg.

Profundidad media del canal en los puntos AB

p = 0.5; 0.9; 1; 0.8; 0.3 = 3.5/5 = 0.7 m

Profundidad media del canal en los puntos CD

p = 0.5; 0.8; 0.5; 0.7; 0.5 = 3.0/5 = 0.6 m

Ancho del canal en el punto AB = 2 m

Ancho del canal en el punto CD = 1.8 m

Sección Transversal AB = 0.7 m x 2 m = 1.4 m^2.

Sección transversal CD = 0.6 m x 1.8 m = 1.08 m^2

$$\text{Sección transversal media} = \frac{1.4\ m^2 + 1.08\ m^2}{2} = 1.24\ m^2$$

Q= 0.50 m/seg x 1.24 m^2.

Q = 0.62 m^3/seg.

Método del colorante y la sección transversal

Es otro método para calcular caudales con mediana exactitud y para medir la velocidad se emplea un colorante que puede ser Permanganato de Potasio o Fluorescencia.

Se suelta una porción de colorante en el centro de la línea AB y se mide:

El tiempo que tarda en llegar la parte delantera del colorante a la línea CD (t_1).

El tiempo que tarda en llegar la parte posterior del colorante a la línea CD (t_2).
Se promedia t1 y t2

$$\text{Tiempo medio} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

La velocidad media se calcula conociendo la longitud (L) entre AB y CD.

$$V = \frac{\text{L (AB a CD) (m)}}{\text{t tiempo medio (seg)}} = \text{m/seg}$$

La sección transversal del canal se calcula como en el método anterior.

El caudal: Q = v x Sección Transversal promedio = (m^3/seg.)

2. DISEÑO DE ESTANQUES

2.1 Usos

La construcción de un estanque permite mantener agua por tiempo prolongado especialmente donde el recurso es temporal o el volumen disponible es limitado. El uso del agua del estanque es diversificado y puede ser riego, funcionamiento de plantas eléctricas, casa, jardín, bebederos y piscicultura entre otros (EICA, 1991).

2.2 Tipo de estanques

2.2.1 Estanques de presa

Se construyen donde la pendiente es inclinada, ondulada o con suave pendiente. Los diques se construyen a través de la corriente en la parte baja de hondonadas alimentadas por varias fuentes de agua (ríos, lluvias, etc.), poseen forma irregular determinada por la topografía del terreno inundado, difícil controlar el volumen de agua y su manejo es complicado (Fig. 12).

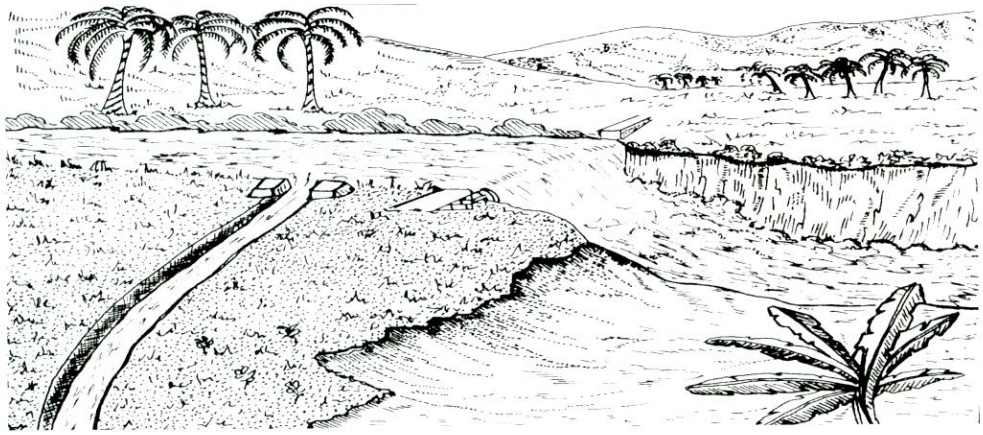


FIGURA 12. Estanque tipo presa con vertedero

La construcción es relativamente económica y su productividad natural es bastante buena por su alimentación directa del terreno aguas arriba. Necesita de un vertedero bien ubicado y construido para evitar ruptura del dique en épocas de lluvias fuertes. La aplicación de abonos y alimentos artificiales no es funcional por las variaciones de caudal.

2.2.2 Estanques de derivación

Son estanques alimentados por la derivación de un canal o fuente principal. Reciben una cantidad de agua controlada, normalmente son de forma rectangular y están dispuestos sobre un valle o terreno inclinado. Son de fácil manejo y la aplicación de abonos y alimento artificial es más sencilla cuando se controla el caudal. La productividad es más baja que en los estanques de presa, principalmente si la calidad del suelo no es óptima. La construcción puede ser más costosa dependiendo del movimiento de tierra (Fig. 13).

Los estanques pueden ser:

Excavados: cuando la topografía es nivelada o con mínimo declive. La capacidad de agua a almacenar es proporcional a la cantidad de tierra excavada y esto puede ser negativo, debido a que la construcción es muy costosa en relación con el volumen de agua almacenada.

No es fácil su drenaje por gravedad, lo cual implica remover el agua por bombeo para otros usos y cosechas o construir canales extensos que permitan drenarlo por gravedad.

Semiexcavados: se construyen donde la topografía del terreno es inclinada, con pendientes naturales entre 2 % y 8 %. Son los más económicos y eficientes. El volumen de agua que se puede almacenar es grande en relación con la cantidad de tierra removida y se recomiendan donde los requerimientos de agua sean mayores. La forma, dimensiones y profundidad se pueden acomodar a las necesidades del piscicultor y al terreno disponible. Sobre este tipo de estanques se centrará la atención del documento.



FIGURA 13. Estanques de derivación

Estanques terraplenados: se construyen en suelos totalmente plano con dificultades de drenaje. El área y profundidad son limitadas, se construyen sobre la superficie del suelo y se requiere suelo adecuado de una zona cercana para la construcción de los diques. Su construcción es similar a los estanques semiexcavados.

2.2.3 Formas y dimensiones

Los estanques más comunes son de forma rectangular y semiexcavados. Su construcción es fácil y el uso de maquinaria (buldozer, retroexcavadoras, etc.) es más eficiente. El tamaño depende del propósito del estanque y las dimensiones se miden como la superficie del agua y puede ir desde varios centenares de metros cuadrados a varias hectáreas según la topografía disponible, el tipo de acuicultura a desarrollar, los recursos del propietario, etc. (Tabla 6).

TABLA 6. Tamaño recomendable de los estanques

Tipo de estanque	Área
Desove	5000 m²
Precriadero	200 m² - 2 ha
Levante	250 m² - 1 ha
Engorde	1000 m² - 10 ha

La forma tiene mucha importancia, debido a que el perímetro del estanque varía con la longitud y los costos de construcción de los diques siguen esta misma variación. Muchas veces la forma del estanque depende directamente de la conformación del terreno y los límites de la finca. Si el declive es fuerte es mejor seguir la curva de nivel, alargando la pared para evitar una desnivelación excesiva entre el dique de la parte superior y el de la parte inferior, disminuyendo el movimiento de tierra.

En estanques muy grandes con altas tasas de población, fertilización y alimentación suplementaria, el intercambio de agua puede volverse crítico. Si los niveles de oxígeno disminuyen es esencial que se cuente con un recambio rápido de agua, pues muchas veces las bombas no son suficientes. Se debe considerar que al duplicar las dimensiones de un estanque, su superficie se multiplica por cuatro; por ejemplo un estanque de 10 x 10 m tiene una área de 100 m² y uno de 20 x 20 m tiene una superficie de 400 m².

Las ventajas de estanques pequeños son:

- Fácil y rápida cosecha.
- Llenado y drenaje rápido.
- Fácil tratamiento de enfermedades y parásitos.
- Menor efecto de la erosión y el viento.

Las ventajas de estanques grandes son:

- Menor costo de construcción por hectárea.
- Mayor capacidad de intercambio de oxígeno por la superficie.
- Menos espacios no utilizados, como diques

Los estanques grandes deben construirse con el eje más largo, perpendicular a la dirección del viento predominante, para reducir la erosión. Por el contrario, los estanques pequeños se construyen con el eje más largo paralelo a los vientos para aumentar la aireación.

2.2.4 Profundidad

La profundidad mínima de un estanque debe estar entre 0.5 y 0.75 m, con ello los organismos cultivados pueden disminuir los efectos adversos de la temperatura en climas cálidos y también evitar el crecimiento de plantas nocivas en el estanque, que pueden disminuir el área y la producción (Ramírez, *et al.*, 1996).

En estanques demasiado profundos la luz no llega al fondo, impidiendo el desarrollo del fitoplancton en toda la capa de agua, además las capturas se hacen más difíciles y la construcción de los diques es muy costosa y complicada. Es recomendable construir estanques con profundidad máxima entre 1.2 m y 1.5 m, aunque algunos alcanzan los 4.5 m.

3. ESTRUCTURAS DE TIERRA

Conformadas por los cimientos y diques que son construidos en tierra y los canales de abastecimiento y drenaje que son excavados.

3.1 Cimientos

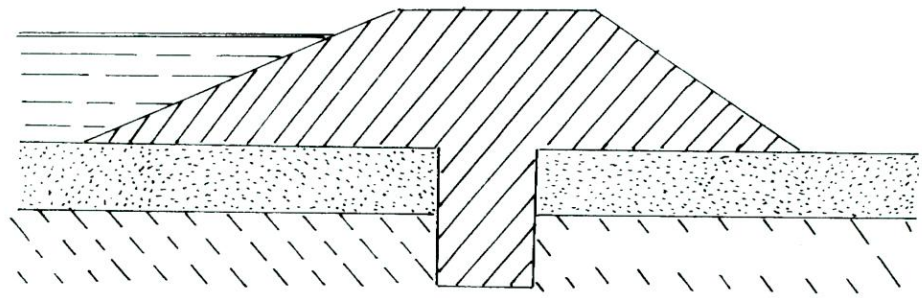
No son necesarios en suelos consolidados, pues estos son capaces de sostener los diques y retener el agua. Los suelos lodosos o pantanosos pueden ser usados como cimientos, pero con mucha precaución; sin embargo, lo mejor es retirar este tipo de suelo y la materia orgánica que se descomponga y produzca asentamientos a largo plazo y por consiguiente fugas y rompimientos de las estructuras (Figs. 14 A y 14 B).

3.2 Diques

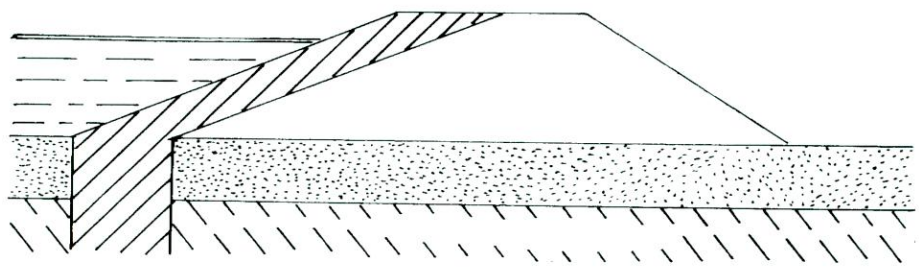
Es un terraplén de tierra compactada destinada a retener agua, forman las paredes del estanque y se fabrican con el material disponible en el área de construcción. Las dimensiones y la sección transversal dependen de los propósitos del estanque y del material accesible. Mientras más alargado sea el estanque más grande será el perímetro y la longitud total de los diques (Tabla 7).

La construcción del dique se debe iniciar después de la limpieza y descapote del terreno, retirando los estratos de grava, arena, material vegetal, etc., que provoquen mal asentamiento y filtración.El dique en corte transversal tiene forma de trapecio y consta de las siguientes partes (Fig. 15):

- Cima
- Altura
- Talud o pendiente
- Base



A. Dique de arcilla



B. Núcleo y mascara de arcilla que cubre el declive interno del dique en tierras no

FIGURA 14. A. Dique con cimiento de arcilla. B. Núcleo y Máscara de arcilla

TABLA 7. Longitud de los diques en relación con las medidas del estanque

Longitud m	Ancho m	Superficie m^2	Longitud total de los diques
50	20	1000	153.32
60	16.66	1000	168.56
70	14.28	1000	185
80	12.5	1000	220
100	10	140	

Cima: es la parte superior del dique conocida como corona. Debe ser mínimo de un metro de ancho; sin embargo, pueden ser más anchos dependiendo de la altura del dique y del sistema de construcción. Pueden tener en promedio 2 m en estanques pequeños y más de 3 m si los estanques son muy grandes. Normalmente o se toma la distancia entre las orugas cuando se hacen con buldozer:

Altura del dique (m)	Ancho de la cima (m)
Menos de 3	2
3 - 4.5	3
4.5 - 6	3.7
6 - 7.5	4.3

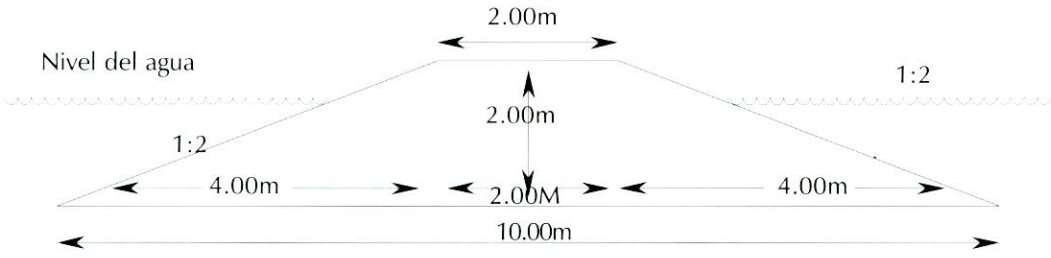


FIGURA 15. Corte transversal de un dique

Para determinar el ancho de la cima en diques con altura superior a 4.5 m se debe aplicar la fórmula de Frevert (1962) en Baños, 1989.
$W = 1.10\ (H)^{1/2} + 0.91$

Donde:

W = Ancho de la cima en m
H = Altura del dique en m

La Altura: (H) es igual a la profundidad del agua más una porción de borde libre u obra muerta para control del nivel.

Altura de la Ola: la altura del dique debe ser suficiente para evitar el derramamiento del agua por acción de las olas. La altura de la ola se establece tomando la dirección y fuerza del viento predominante, la longitud del estanque en la dirección del viento o Fetch y la profundidad del agua (Baños, 1989).

Existen varias formulas para el cálculo de la altura de la ola:

$hw = 0.0186\ w^{0.171} \times B^{0.24} \times h^{0.54}$ (Dyakova)

$hw = 1/3\ B$

$hw = 0.014\ (f)^{1/2}$ (Frevert, 1962)

hw = Altura de la Ola (m)

w = Velocidad del viento (m/seg)

B = Longitud del estanque en la dirección del viento (Km)

(Longitud del Fetch)

h = Profundidad del agua (m)

f = Fetch (m)

Conociendo la profundidad del estanque se puede aplicar la siguiente fórmula para determinar la altura del dique:

$H = h + hw + hf + hs$

Donde:

H = Altura del Dique (m)

h = Profundidad del agua (m)
hw = Altura de la ola (m)

hf = Obra muerta o borde libre

hs = asentamiento

Ejemplo: cuál es la altura de un dique para un estanque con una profundidad de 1,50 m, borde libre de 30 cm, la longitud en la dirección del viento (Fetch) es 80 m y la compactación durante la construcción se hizo en buenas condiciones.

h = 1.50 m

$hw = 0.014 \times (f)^{1/2} = 0.014 \times (80)^{1/2} = 0.125$ m

hf = 0.3 m

hs = 0.05 debido a la buena compactación (5 % de asentamiento)

$H = 1.5 + 0.125 + 0.3 + 0.05H$

$H - 0.05H = 1.925$

$0.95H = 1.925$

H = 2.03 m

Borde libre u Obra Muerta: es la parte extra del dique que se construye como seguridad para evitar el desbordamiento del agua y corresponde a la distancia entre la superficie del agua y la cima. De acuerdo con la profundidad del agua, las dimensiones del dique pueden ser (Tabla 8).

Talud: (p) es la pendiente lateral o parte inclinada de los diques, esta dada por la altura del dique y el ancho de la base; un talud de 2:1 quiere decir que por cada metro de altura, la base se extiende 2 m. La pendiente depende del tipo de terreno, la profundidad del agua, la acción de la ola y el tamaño del estanque (Tabla 9).

TABLA 8. Borde libre en relación con la profundidad

Profundidad del agua (m)	Ancho de la cima (m)	Obra muerta o borde libre (m)
0.50	0.50	0.40
0.50 - 0.80	0.50 - 1.00	0.40 - 0.50
0.80 - 1.20	1.50	0.50
1.20 - 2.00	2.00 - 2.50	0.50
2.00 - 3.00	2.50 - 4.00	0.50 - 0.60

Aunque se construyan diques con excelentes materiales y se apisone muy bien, siempre ocurrirán asentamientos y con el tiempo el dique perderá altura. El nivel de asentamiento dependerá de la calidad y la humedad del suelo y de la compactación.

TABLA 9. Taludes recomendados de acuerdo con el tipo de suelo

Tipo de suelo	pendiente interna	pendiente externa
Arenoso	2:1	3:1
Franco Arenoso	2:1 - 3:1	1.5:1- 2:1
Arcilloso Arenoso	1.5:1	1.5:1
Arcilla Estable	1:1	1:1

En general se debe dejar una tolerancia mínima del 5 % en condiciones normales de construcción y del 10 % cuando los materiales de construcción no son buenos y/o los métodos de construcción son precisos, especialmente en la parte central del dique en estanques de represa.

4. MOVIMIENTO DE TIERRA

Para la construcción del dique se deben evaluar varios sitios, la experiencia en la selección del terreno para la construcción de los estanques es muy importante; sin embargo, como guía se pueden tener en cuenta las siguientes relaciones entre el área de superficie del agua (m^2) obtenida con un volumen (m^3) de excavación (EICA, 1991) dado así:

$m^2/m^3 < 3$. En este caso la pendiente es muy pronunciada y no se debe tener en cuenta para la construcción de estanques a menos que no se cuente con más posibilidades.

$m^2/m^2 > 3$. Desde el punto de vista técnico, el lugar es satisfactorio para la construcción de estanques.

$m^2/m^3 > 7$. El sitio es ideal para construir estanques desde un punto de vista económico.

4.1 VOLUMEN DEL DIQUE

Hondonadas: generalmente se construye un solo dique en la parte más angosta y con menor pendiente para disminuir el movimiento de tierra y optimizar la profundidad y el área del estanque así: se busca el punto más profundo y se define la altura del dique, luego se procede a tomar diferentes alturas donde el relieve presente variaciones significativas y la distancia (d) entre estos puntos (Fig. 16). (Baños, 1989; INDERENA - AID - PAN, sin fecha; Bard *et al.*, 1975 y Esteves, 1990).

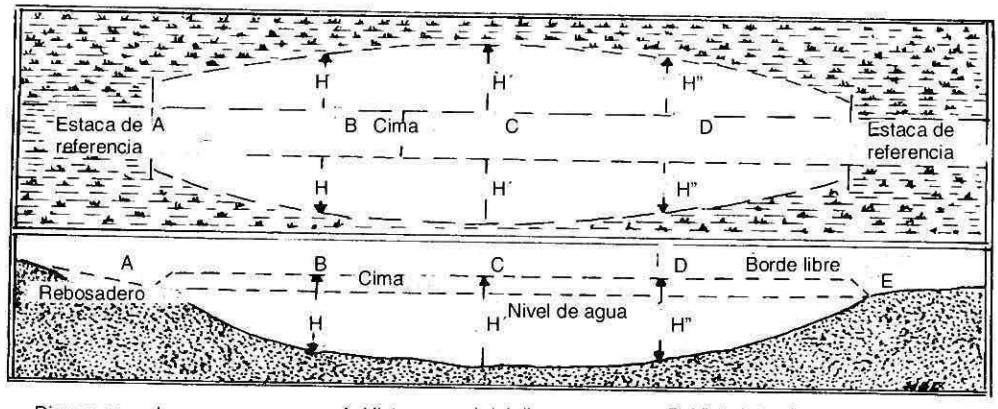


FIGURA 16. Vista general y longitudinal de un dique en hondonadas

La cima (C) del dique generalmente es igual a 3 m y corresponde al ancho de la oruga de un buldozer. Es recomendable una pendiente interna de 3:1 y una externa de 2:1, con el fin de mantener repartida la presión que ejerce la columna de agua y evitar que se rompa.

Para determinar el volumen de tierra necesario para la construcción del dique se procede de la siguiente forma:

Se determina el área (A) del dique en cada uno de los puntos donde se tomo la altura de variación del relieve, aplicando:

$$A = \bar{H} (C + P.H)$$

Donde:

A = Área en punto determinado (A, B, C, etc.) (m^2.)

H = altura (m)

C = Cima del dique (m)

p = Pendiente promedio:

$$p = \frac{p1 + p2}{2}$$

Una vez obtenidas las áreas en los diferentes puntos (A, B, C, etc.) se saca el promedio de ellas, así:

$$A_{AB} = \frac{A_A + A_B,\ A_{BC}}{2} = \frac{A_B + A_C, \ldots\ldots, A_{n-1,n}}{2} = \frac{A_{n-1} + A_n}{2}$$

El volumen total de tierra del dique se obtiene por la sumatoria de los volúmenes de las áreas promedio, multiplicado por la distancia (d) entre los puntos.

$$\bar{V} = \bar{A}_{AB}\, d_{AB},\ \bar{V}_{BC} = \bar{A}_{BC}\, d_{BC}, \ldots\ldots,\ \bar{V}_{n-1,n} = \bar{A}_{n-1,n}\, d_{n-1,n}$$

$$\bar{V}_{Total} = \bar{V}_{AB} + \bar{V}_{BC} + \ldots\ldots, + \bar{V}_{n-1,n}$$

4.1.1 Terreno plano

En terrenos planos, los estanques son excavados y el volumen de tierra a mover se puede determinar con exactitud usando la siguiente fórmula prismoidal: (Fig. 17). (EICA, 1991)

$$V = \frac{(A \times 4B \times C) \times D}{6}$$

Donde:

V = volumen de excavación (m^3)

A = Área de excavación en la superficie del terreno(m^2)

B = Área de excavación en el punto de la profundidad media (½D) (m^2)

C = Área de excavación en el fondo del estanque (m^2)

D = Profundidad promedio del estanque (m^2)

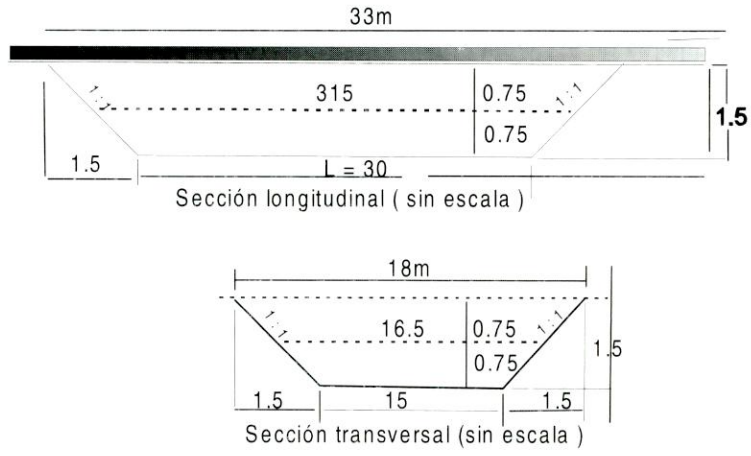


FIGURA 17. Sección típica de un estanque excavado

Ejemplo: se planea construir un estanque en un terreno plano con una profundidad de 1.50 m, ancho del fondo de 15 m, el largo del fondo de 30 m y una pendiente interna y externa de 1:1 (Fig. 16).

A = 33 m x 18 m = 594 m^2

4B = 4(31.5 m x 16.5 m) = 2079 m^2

C = 30m x 15m = 450 m^2

(A + 4B + C) = 3123 m^2

D = 1.5 m

$$V = \frac{3123}{6} \times 1.5 \text{ m} = 780.75 \text{ m}^3$$

Si el estanque se llena hasta la superficie del suelo, el volumen del estanque es igual al volumen de tierra removida

4.1.2 TERRENO LIGERAMENTE INCLINADO

En terrenos con pendientes naturales entre 2% y 8% se hacen estanques semiexcavados, se extrae la tierra de la parte superior y se acumula en la parte baja para la formación de los diques. Se pretende reducir al mínimo la cantidad de tierra a mover, logrando que ésta sea igual al volumen necesario para la construcción del dique (Fig. 18) (Esteves, 1987, 1990 y INDERENA - AID- PAN, sin fecha).

Se procede de la siguiente forma:

Determinar el área del estanque

Calcular la altura promedio del terreno dentro del estanque.

Calcular el volumen de tierra disponible por cada centímetro de profundización, así:

Área(A) x 0.01m = Volumen de tierra por cada cm de profundidad

Determinar la altura del dique

Estimar la profundización necesaria (cm) y calcular el volumen de tierra disponible

Comparar esta cifra con el volumen de tierra necesario para construir el dique en tierra firme.

Hacer ensayos con otras profundizaciones, hasta que el volumen de tierra disponible se aproxime al volumen necesario para el dique.

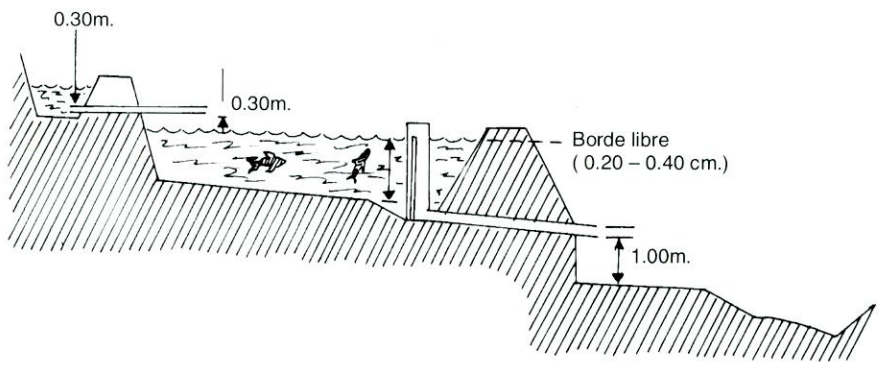


FIGURA 18. Niveles de un estanque semiexcavado

Ejemplo: Se propone la construcción de un estanque en un terreno ligeramente inclinado y de buena compactación, con las siguientes características: (Se tuvo en cuenta la acción del oleaje para determinar la altura del dique)

Area (A) = 50 x 20 = 1000 m^2

Longitud del dique (L) = (50 x 2) + (20 x 2) = 140 m.

Anchura de la cima (C) = 2 m

Altura del dique (H) = 2.03 m.

Pendiente (p) = 2:1 (externa e interna)

Tierra movida por 1 cm de profundización Tm:

Tm = 1000 m^2 x 0.01 m = 10 m^3/cm

Para calcular el volumen de tierra a una profundidad determinada (Vtp), se analizan varias posibilidades:

a) Caso 1: Profundización de 60 cm.

Vtp = Tm x Profundización deseada

Vtp = 10 m^3/cm x 60 cm

Vtp = 600 m^3

La altura del dique (Ad) es igual a la altura determinada (H) menos la profundización:

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

Ad = H - Profundización

Ad = 2.03 m - 0.60 m = 1.43 m

El volumen de tierra necesario para construir el dique (Vtd) es:

Vtd = Ad (c + p (Ad))L

Vtd = 1.43 m (2 m + 2 (1.43 m)) 140 m

Vtd = 972.97 m^3

Profundizando 60 cm se obtendrá un volumen de 600 m^3 de tierra, pero el dique necesita 973 m^3, por lo tanto es necesario profundizar más

b) Caso 2: Profundización 80 cm.

Vtp = Tm x Profundización deseada

Vtp = 10 m^3/cm x 80 cm

Vtp = 800 m^3

Ad = H - Profundización

Ad = 2.03 m - 0.80 m = 1.23 m

Vtd = Ad (c + p (Ad))L

Vtd = 1.23 m (2 m + 2 (1.23 m)) 140 m

Vtd = 768.01 m^3

Como el volumen necesario para construir los diques (768 m^3) es menor que el volumen de tierra que se obtendría profundizando 80 cm (800 m^3), se puede considerar que la profundización adecuada esta entre 70 y 80 cm.

5. CONSTRUCCIÓN

5.1 Descapote y Limpieza

Se debe retirar la capa superficial de suelo que contiene material vegetal, humus, piedras, árboles, troncos hasta que aparezca la capa arcillosa. El terreno debe quedar completamente raspado para evitar filtraciones futuras o crecimiento de vegetación en el fondo del estanque. El suelo retirado se puede utilizar para la cobertura vegetal de protección de los diques (Fig. 19).

5.2 Material de excavación

En terrenos planos se debe determinar con antelación donde se va a ubicar el material de excavación. Este puede ser usado para las vías de acceso, ubicarlo en el lado donde sopla el viento para formar una barrera cubierta de vegetación que dirija la corriente de aire al estanque y mejorar el intercambio de oxígeno con el agua.

Si no se encuentra sitio donde ubicarlo por el costo, se puede extender en las áreas adyacentes del estanque, extendiéndolo muy bien y evitando la formación de montículos cerca del estanque que interrumpan la horizontalidad del terreno y desmejoren el paisaje.



FIGURA 19. Descapote de un terreno para construir estanques

En estanques de presa, el material para la construcción del dique se toma de los montículos de la parte baja y de las salientes en las paredes de la hondonada (zona de préstamo). Una vez descapotado el terreno donde se ubicará el dique y las zonas de préstamo, se inicia el movimiento de tierra de las partes más lejanas para formar la base y de las áreas cercanas (paredes) para la parte media y alta del dique cuidando de hacer el apisonamiento cada 10 ó 20 cm de tierra amontonada para evitar la filtración y teniendo en cuenta el 5 % ó 10 % del asentamiento.)

En estanques semiexcavados, el material para la construcción de los diques se obtiene de la profundización determinada y en estanques terraplenados se debe conseguir una zona de préstamo cercana para la obtención del material.

5.3 MARCACIÓN O ESTACADO DE LOS DIQUES

Consiste en marcar el terreno para limitar los terraplenes que conformarán los diques del estanque de la siguiente forma:

En estanque de presa se marca el sitio donde va a quedar el dique con ayuda de estacas y cuerda (Fig. 20).

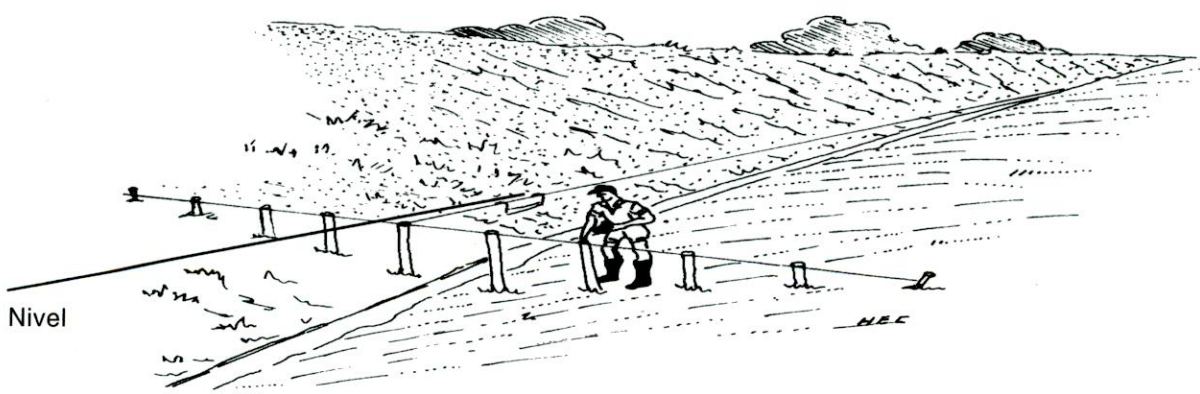


FIGURA 20. Marcación y estacado de un estanque de presa

En estanques de derivación se marca el perímetro del estanque con ayuda de cuerdas y estacas (Fig. 21).

Con estacas largas se marca la altura del dique y la anchura de la cima; las estacas se alinean con la ayuda de un nivel. Utilizando estacas pequeñas se marca la base del dique; se pueden colocar cuerdas para darle la forma característica.

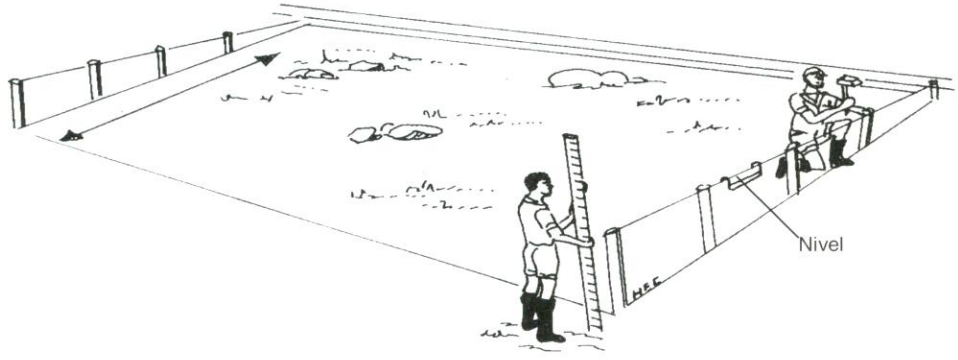


FIGURA 21. Marcación y estacado en estanques de derivación

5.4 Compactación o apisonado

La compactación es el proceso de densificación incrementando el peso por unidad de volumen de tierra. Este proceso está conformado para aumentar la resistencia al deslizamiento o separación de partículas de un dique, siendo el resultado de la expulsión del aire de la tierra (General Electric de Colombia y Caterpillar, 1971) (Fig. 22).



FIGURA 22. Compactación y apisonado de diques

La compactación del suelo se ve afectada por el tamaño de las partículas del suelo (gradación), el contenido de humedad del material que provee lubricación y facilita el movimiento de las partículas haciéndolas plásticas, trabajables y produciendo esfuerzo constante a la resistencia y por último el esfuerzo compactivo que se refiere a la energía mecánica que se consume en hacer el suelo más denso.

Se extrae tierra de las orillas y se va acumulando en capas sucesivas no mayores de 20 cm, utilizando carretilla, tractor o buldozer y apisonando vigorosamente para lograr buena compactación. A medida que se eleva el dique se deben apretar los taludes para darles firmeza; esto se puede hacer con una vara flexible.

Cuando el terreno no es suficientemente arcilloso se debe hacer un canal o zanja de 50 cm de profundidad en el centro del dique alrededor del estanque y llenarlo de arcilla de buena calidad (Cimiento) antes de comenzar a levantar los diques (Fig. 14A).

5.5 FONDO DEL ESTANQUE

El fondo del estanque debe ser arreglado para que se pueda vaciar completamente y que al finalizar la operación se facilite la recolección de los organismos cultivados cerca al sistema de vaciamiento. El declive debe ser descendente, suave y regular, para que cuando se desocupe el estanque el agua se retire lentamente y no queden charcos aislados que retengan los peces, los cuales deben bajar progresivamente hacia los lugares más hondos. Una pendiente de 1 a 2% es conveniente en estanques menores a 1000 m^2.

Para lograr el declive necesario, durante la construcción, se debe estacar el fondo de la siguiente forma (Figs. 22A y 22B):

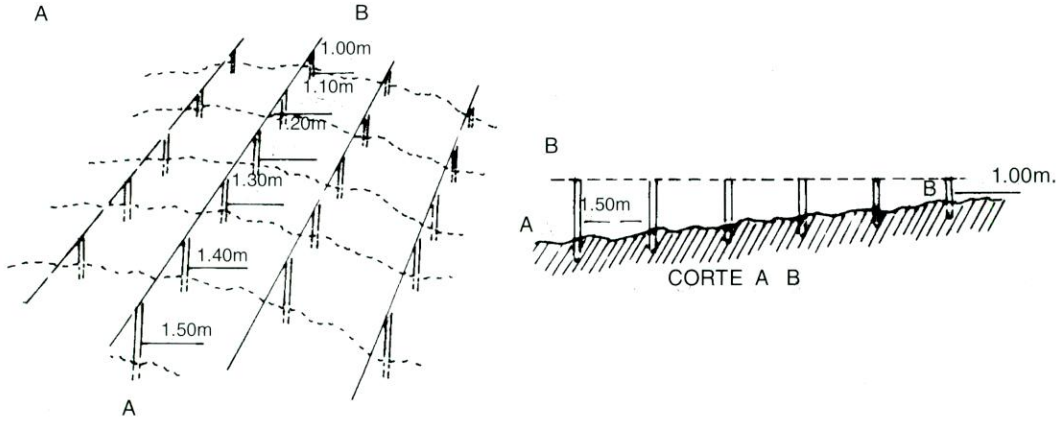


FIGURA 22 A-B. Estacado para el fondo del estanque

A partir del punto de desagüe donde la altura de la columna de agua es máxima (ejemplo: 1.50 m), se colocan en la zona limitada por los diques estacas dispuestas en arcos equidistantes, sensiblemente concéntricos y teniendo como centro el punto de drenaje.

Suponiendo que la profundidad mínima del estanque en la parte de arriba es 1 m, se disponen cinco hileras de estacas para las profundidades de 1.40 m, 1.30 m, 1.20 m, 1.10 m, y la última a 1.00 m, la cual debe estar cerca al borde del estanque, próxima al canal de alimentación. Si el declive escogido es 2 %, las hileras de estacas deben estar dispuestas a 5 m una de otra en distancia horizontal.

$$\frac{100 \times 0.10}{2} = 5 \text{ m}$$

Se cortan luego las estacas incluida la del desagüe al nivel que representa la superficie del agua en un plano horizontal, con la ayuda de un nivel.

Si se quiere tener 1.5 m de agua en el punto de desagüe, se excavará hasta 1.5 m bajo la cima de la estaca correspondiente.

Si se desea obtener la profundidad de 1.40 m a lo largo de la primera hilera de estacas, se debe cavar hasta 1.40 m del nivel de la superficie marcada. Se procede igual en cada una de las hileras.

Para representar en el terreno la profundidad a cavar, se dispone cerca de cada estaca una vara con la profundidad deseada (1.40 m; 1.30, etc.) y se excava hasta que la extremidad superior de la vara colocada verticalmente, coincida con la cima de la estaca colocada en el lugar.

En estanques grandes en necesario cavar un desaguadero que llegue al sitio de drenaje, con una red de venas transversales que faciliten el drenaje y la cosecha. El declive debe ser ligeramente mayor.

6. IMPERMEABILIZACIÓN

Excesiva filtración en los estanques se debe a la presencia de suelos muy permeables con baja retención de agua y solamente deben ser usados cuando la fuente de agua es muy buena y se tienen condiciones económicas que justifiquen la adecuación.

Cuando se remueve demasiada tierra para la conformación de los diques se pueden dejar expuestos suelos de arena, grava o rocas con grietas o canales que seguramente ocasionarán problemas de filtración. El método a utilizar para eliminar la filtración depende de la cantidad y grosor del material de fondo (grava, arena, etc.).

6.1 Compactación

Se utiliza cuando el material contiene un amplio rango de partículas, desde grava pequeña hasta arena gruesa, arena fina y un 10% de arcilla y lodo para taponar. Es el método más económico, pero su uso depende de la condición del suelo.

Se limpian el estanque de restos vegetales se rellenan las grietas y orificios con material adecuado y se escarba el suelo de 20 a 25 cm de profundidad con disco, rodillo, picas, etc. Se remueven rocas y raíces y luego se compacta el suelo como cuando se construye el dique.

6.2 Capa de arcilla

Estanques con alto porcentaje de grano grueso y deficientes en arcilla que evite la filtración. Se cubre totalmente el área correspondiente al fondo y al talud interno del dique con material que contenga más de 20% de arcilla obtenida de un área de préstamo cercana. El material requerido debe tener las mismas características del ha sido usado para construir diques (EICA, 1991).

El grosor de la capa de arcilla depende de la cantidad de agua a depositar. El mínimo es de 30 cm cuando la profundidad del agua alcanza hasta 3 m y se debe incrementar en 5 cm de capa por cada 30 cm de profundidad del agua por encima de los 3 m.

La colocación y compactación de la capa de arcilla es similar a la descrita en el numeral para la construcción de los diques, extendiendo el material en capas de 15 a 20 cm de grosor y compactar muy bien antes de colocar otra capa.

Para proteger la capa de arcilla contra las rupturas por secado, coloque una capa de grava de 30 a 40 cm sobre la capa de arcilla especialmente donde se concentra más el agua.

6.3 Bentonita

En suelos con gránulos gruesos y poca arcilla se puede aplicar para reducir la filtración, bentonita que es una arcilla coloidal de fina textura. El suelo al humedecerse absorbe varias veces su propio peso en agua hinchándose y ganando de 8 a 20 veces su volumen original (EICA, 1991). Mezclada en una proporción correcta con material granulado, bien compactado y saturado, la bentonita se hidrata haciendo que la mezcla sea prácticamente

impermeable; sin embargo, al secarse vuelve a su estado original formando grietas, por eso su uso no es recomendable en estanques con fluctuación en el nivel de agua.

Antes de decidir sobre el uso de este método para sellar los estanques, se debe localizar una fuente cercana de bentonita y determinar los costos de transporte, pues si esta está muy lejos el tratamiento puede ser muy costoso.

Para aplicarla se procede igual que en los métodos descritos, limpiar de vegetación, llenar huecos y grietas, picar el suelo y mezclarlo, compactar la mezcla y cubrir las áreas de grava con material adecuado. El nivel de mezcla debe ser óptimo para una buena compactación. Si está muy húmedo posponga la compactación y si está muy seco se debe adicionar agua para humedecer.

Extienda la bentonita uniformemente sobre el área a tratar a la tasa recomendada por un laboratorio de análisis de suelos que generalmente varía entre 2.5 y 8 kg /m^2 . Mezcle muy bien la bentonita con el suelo del fondo por lo menos 15 cm antes de compactar. No se debe dejar sin agua el estanque para evitar el secado y la ruptura; ramas o paja pueden utilizarse para cubrir el estanque, si este no va a ser llenado inmediatamente. En los lugares donde se concentra el agua se debe colocar grava.

6.4 ADITIVOS QUÍMICOS

Causada por la disposición de las partículas de arcilla, la filtración es algunas veces excesiva en suelos de arcilla fina. Se forman estructuras con poros aperturas o panales y el suelo es llamado agregado. Aplicando pequeñas cantidades de químicos se provoca un colapso en estas estructuras abiertas y ocurre una reagrupación de las partículas; ésta estructura dispersada reduce la permeabilidad. Los químicos usados se llaman agentes dispersantes (EICA, 1991).

El suelo del área donde se construye el estanque debe contener más del 50% de material de grano fino compuesto de arcilla y sedimento y por lo menos un 15% de arcilla para que el tratamiento químico sea efectivo. No se utiliza en suelos con gránulos gruesos (piedra y grava).

Muchas sales solubles son usadas como agentes dispersantes, entre ellos los Polifosfatos de sodio y el cloruro de sodio o sal común son los más comúnmente utilizados. Ceniza sódica con un grado técnico de 99 a 100% de carbonato de sodio también puede ser usada.

Entre los Polifosfatos de Sodio, el Pirofosfato de Tetrasodio y el Tripolifosfato de Sodio son los más efectivos y se aplican en dosis de 0.3 a 0.5 kg/m^2. El Cloruro de Sodio se aplica en dosis de 1.1 a 1.8 kg/m^2 y la Ceniza Sódica en dosis de 0.5 a 1.1 kg/m. Se debe certificar en un laboratorio de análisis de suelos, para que se determine el agente dispersante más apropiado y la cantidad a aplicar (EICA, 1991).

Se mezcla el dispersante con el suelo del fondo, formando una capa de 15 cm cuando la profundidad del agua es inferior a 2.5 m y 30 cm si es mayor. El procedimiento para la aplicación y compactación es similar al descrito en los métodos anteriores.

6.5 TELAS IMPERMEABLES

El uso de telas impermeables como el geotextil para la impermeabilización de estanques en suelos de grano grueso es otro método disponible.

6.6 PROTECCIÓN

Consiste en establecer una cubierta vegetal como una forma de controlar los efectos de la lluvia, el viento, el oleaje y el tránsito que causan erosión de los diques. Al terminar la construcción de los diques, se aconseja cubrir la parte libre con tierra fértil del descapote y plantar hierbas rastreras o forrajeras (Pangola, maní forrajero, araquis, grama, etc.) que formen césped compacto y continuo (Fig. 23).



FIGURA 23. Cobertura del dique para protección.

7. ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS

Las estructuras hidráulicas las conforman el sistema de abastecimiento y el sistema de drenaje. En un estanque la entrada y salida de agua deben estar separadas tan lejos como sea posible. El nivel de la entrada debe estar mínimo 10 cm por encima de la superficie del agua para asegurar una buena aireación y evitar el escape de los organismos del estanque. El tubo o canal de llegada de agua debe estar siempre horizontal, nunca en declive hacia aguas abajo.

La salida de agua se coloca en el lado opuesto de la entrada y puede ser por tubería en forma de L o un canal abierto o monje que permite controlar el nivel de agua y drenaje.

7.1 Toma de agua

El suministro para estanques de presa normalmente se hace por lluvias, nacederos o por aportes e la vertiente; debe ser evitado el suministro directo de ríos o quebradas y es mejor construir una bocatoma ó un canal de derivación que evite los efectos de las crecientes y permita controlar el flujo de agua al estanque.

Para un abastecimiento controlado, especialmente en estanques de derivación se debe verificar y evaluar la fuente de agua, identificando el punto de captación y el trayecto para el canal de abastecimiento o derivación. La toma de agua según Proença *et al.* (1994), debe cumplir algunos requisitos, así:

- Permitir un control total sobre el volumen de agua a ser captado
- Captar agua siempre en favor de la corriente, nunca directamente u opuesta a la misma.
- Captar el agua por debajo del nivel mínimo de la corriente, pensando en la época de sequía.
- Colocar un sistema de protección (malla, filtro de piedra y arena gruesa) para evitar la entrada de organismos indeseables al cultivo.
- Al igual que el canal de derivación, debe estar ubicado por arriba del nivel o cota máxima del estanque.

7.2 La bocatoma

Existen varios tipos de construcciones costosas para la toma de agua y otros más sencillos como la compuerta ahogada, formada por una tabla removible entre dos ranuras de concreto (Fig. 24).

Se puede construir una caja de concreto con cuatro ranuras, que además de ejercer una función protectora a través de mallas, permite el control del volumen de agua a través de compuertas de madera que encajan en las ranuras hechas en la caja de concreto o con un registro.

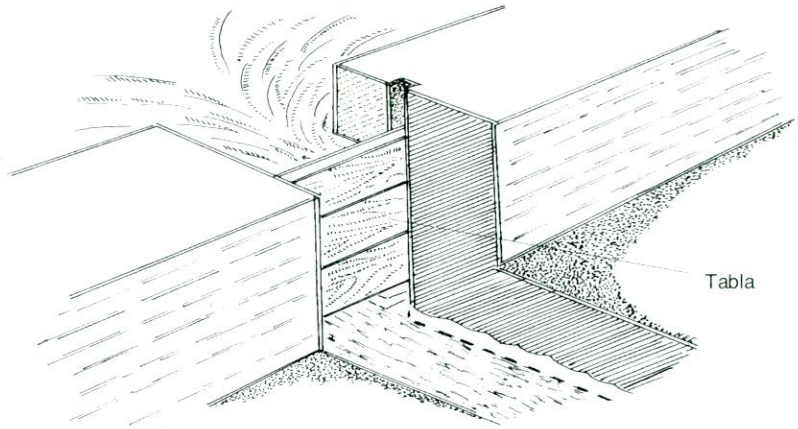


FIGURA 24. Compuerta ahogada para toma de agua

Cuando no se dispone de un sistema como los descritos, unos vertederos colocados aguas abajo del lugar de toma, pueden evacuar el agua excedente. Muchas veces es indispensable elevar el nivel del agua de la quebrada mediante una pequeña presa de piedra, arcilla, concreto, etc. construida más abajo de la toma de agua y colocándole un vertedero.

7.2.1 El canal de derivación

Cuando la toma de agua es distante de los estanques, se puede construir un canal de derivación en un terreno natural o colocar tubería que pueden ser de PVC, concreto, etc. que lleve el agua a una caja de derivación que a su vez la distribuirá a los estanques a través del canal de abastecimiento a cielo abierto o por tuberías (Proença *et al.*,1994) (Tabla 10).

El canal de derivación es de caudal constante, destinado a llevar agua a una altura tal que permita llenar los estanques. El trazado del canal se hace con estacas, ayudándose de nivel (Fig. 25).

TABLA 10. Dimensiones de canales de abastecimiento tipo trapezoidal (Baños, 1989)

Características	Instalaciones Artificiales (lt/seg)	Instalaciones Industriales 20 - 50 lt/seg
Anchura del fondo	0.25 - 0.30 m	0.50 m
Profundidad	0.25 - 0.40 m	0.60 - 0.80 m
Declive de las paredes	1.5:1	1.5:1
Anchura de la boca	0.60 - 1. 00 m	1.50 - 1.80 m
Declive del fondo	0	1%(1 cm x 10 m)

La velocidad de la corriente en el canal no debe causar erosión en las paredes. La velocidad del agua en tierra fina es de 0.15 m/seg y en piedras 1 m/seg.

En todo canal se deben considerar tres factores:

- La pendiente: debe estar en razón directa con el destino que se dé al canal y con la velocidad que el agua adquiere al pasar por él.
- La sección transversal: varía según las condiciones del terreno, puede ser de forma trapezoidal o rectangular.
- La velocidad del agua: debe ser moderada para evitar la erosión de los taludes.

Lo más importante en el trazado de la sección transversal es fijar el talud o ángulo que las paredes del canal forman con la horizontal del fondo. La sección del canal está en razón inversa a la pendiente, luego a mayor pendiente se necesita menor sección para conducir una cantidad cualquiera de agua (Fig. 26).

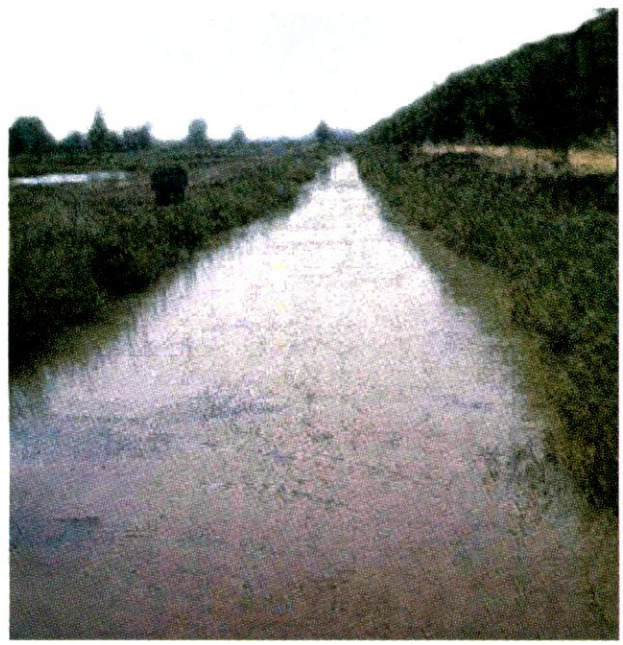


FIGURA 25. Canal de derivación

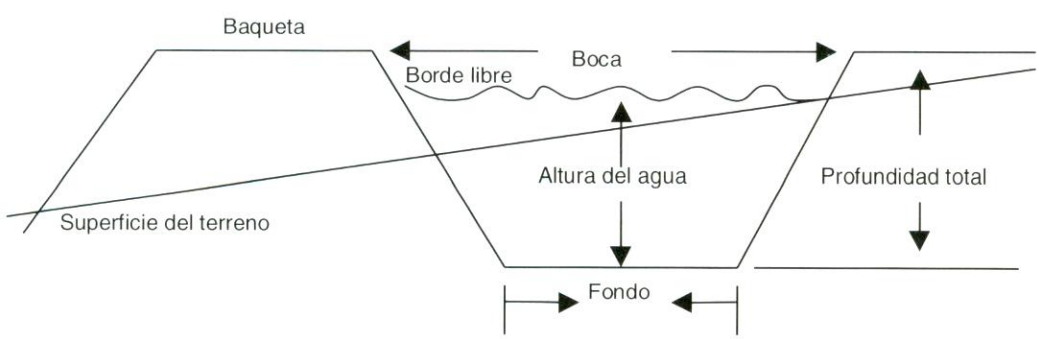


FIGURA 26. Corte transversal de un canal de derivación tipo trapezoidal

El área de la sección del canal establecida por Llaudaró se determina así:

$A = ah + nh^2$

Donde:

A = Area o sección del canal m^2

a = Ancho de la base m

h = Carga o altura del Agua

$$n = \frac{b}{h'}$$

Donde h' es la altura del talud y b la base de su triángulo.

Los taludes indicados por los ingenieros son:

Tierras flojas	b = 2;	h'= 1
Tierras arcillosas	b = 1.5;	h'= 1
Tierras compactas	b = 1;	h'= 1
Hormigón o concreto	b = 0.5;	h'= 1

La velocidad del agua debe considerarse dado que es diferente en la superficie del liquido, llamada velocidad superficial (vs); en el centro, llamada velocidad media (vm) que es la que se estima para determinar el caudal o gasto en el canal y la velocidad en el fondo de la corriente (vf) (Baños, 1989).

Prony reportado por Baños (1989) establece la relación de estas tres velocidades, así:

vs = 1.25vm = 1.27vf

vm = 0.80vs = 1.33vf

vf = 0.75vs = 0.60vm

El exceso de velocidad causa erosión y destrucción del canal, por lo cual se ha determinado que la velocidad máxima en los canales para evitar la erosión debe ser:

- Terrenos flojos 0.33 m/seg.
- Terrenos arcillosos y compactos 0.60 m/seg.
- Terrenos pedregosos o de grava 0.80 m/seg.
- Terrenos rocosos 2.25 m/seg.

Ejemplo: se planea construir un canal para conducir un caudal de 1000 litros por segundo en un terreno arcilloso.

La velocidad (v) del agua en un canal en terreno arcilloso no debe exceder 0.60 m/seg.

Por seguridad, se recomienda calcular con una velocidad menor a la máxima, por ejemplo v = 0. 50 m/seg

Como Q = Av, entonces:

$A = Q/v$; $A = 1\ m^3/seg / 0.50\ m/seg = 2\ m^2$

Para evitar el desbordamiento y erosión se incrementa a 2.20 m^2. De acuerdo con la naturaleza del terreno, se estima un talud: b = 1.0 h' =1.

Aplicando la fórmula de Llaudaró $A = ah + nh^2$

$A = 2.20\ m^2$; h' = 1; n = 1.0

$2.20\ m^2 = a\ (1\ m) + 1.0\ (1\ m)^2$

$2.20\ m^2 = a\ (1m) + 1.0\ m^2$

$a = 2.20\ m^2 - 1.0\ m^2$

$a = 1.20\ m$

Ancho del canal = 1.20 m

Altura del agua = 1 m

Base del talud = 1.0 m

Ancho superior del canal $a + 2b = 1.20\ m + 2(1.0\ m) = 3.20\ m$

Existe otra fórmula de exactitud matemática para evaluar el movimiento del agua en los canales como la de Darcy y Bazin, teniendo en cuenta las paredes del canal y su construcción, así:

$$V^2 = \frac{R.I}{K}$$

Donde:

V = Velocidad media del agua

R = Radio hidráulico que es igual a A/P

A = Área de la sección transversal

P = Perímetro mojado del canal

I = Pendiente del canal

K =Coeficiente que depende de las paredes del canal$K = 0.00028\ (\ 1 + 1.25/R)$

Ejemplo: se desea saber la pendiente que deberá tener un canal como el que se muestra en la figura 27. cuando su caudal sea de 1 m^3/seg

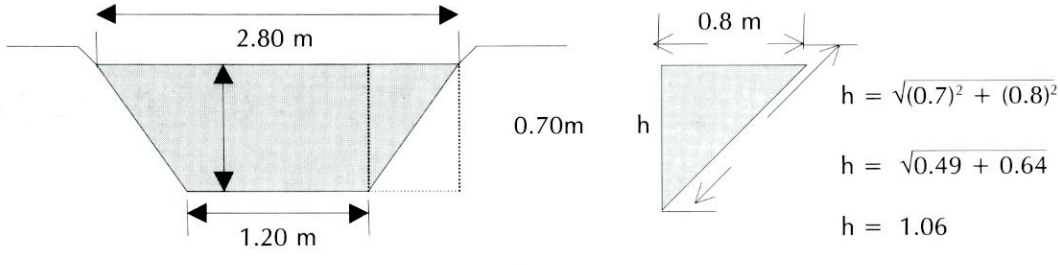


FIGURA 27. Diagrama de un canal trapezoidal

Sección de canal: $A = \frac{(B + b)\ h}{2}$

$$A = \frac{[(2.80m) + (1.20\ m)]0.7}{2} = 1.4\ m^2$$

Perímetro mojado: $P = 1.06+1.20+1.06 = 3.32$ m

Radio hidráulico: $R = A/P = 1.4\ m^2/3.32\ m = 0.42$ m

Velocidad del agua: $Q = Av$, entonces $v = Q/A = 1.0\ m^3/1.4\ m^2 = 0.71$ m/seg.

Aplicando la fórmula de Basin:

$$V^2 = \frac{R.I}{K}$$

$K = 0.00028(\ 1+1.25/0.42\ m) = 0.0011$

$$I = \frac{V^2\ K}{R} = [(0.71\ m/seg)^2\ \ (0.0011)]\ /\ 0.42\ m = 0.013\ m$$

El canal debe tener una pendiente de 13 mm por metro lineal de canal.

7.3 CANAL DE ABASTECIMIENTO Y CAJAS DE DERIVACIÓN

Las dimensiones del canal dependen de la cantidad del agua que se va a conducir, por lo cual el canal principal de alimentación o derivación deberá tener las dimensiones adecuadas para conducir esa cantidad de agua, considerando que debe ser capaz de abastecer el área inundada en un periodo corto (10 - 50 días)(Proença, et al., 1994). Se debe considerar un borde libre no menor a una tercera parte de la altura de la columna de agua en el canal.

Para el cálculo del caudal en canales a cielo abierto, existen varias fórmulas prácticas que se basan en la expresión de Chézy:

$V = C\sqrt{(R_H \times I)}$,

donde:

V = Velocidad media (m/seg)

R_H = Radio hidráulico

I = Pendiente o declive

C = Es un coeficiente que depende de la naturaleza y estado de las paredes del canal y de su propia forma. La fórmula de Bazin es una expresión muy usada para relacionar este coeficiente incluso con la pendiente (Tabla 11).

$$V = \frac{87\sqrt{((R_H.I)}}{1+\frac{\gamma}{\sqrt{(R_H}}}$$

Para Bazin el coeficiente C es:

$$C = \frac{87}{1+\frac{\gamma}{\sqrt{R_H}}}$$

Donde:

V = Velocidad media (m/seg)

R_H = Radio hidráulico

I = Pendiente o declive

γ = Coeficiente que depende de la naturaleza de las paredes, dado por la tabla 11.

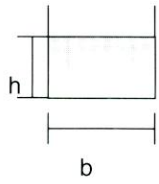
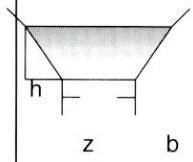
TABLA 11. Valores del coeficiente γ para la fórmula de Bazin

Clase de material	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
Superficies lisas de cemento	0.00	0.06	0.14	0.22
Tubos de concreto	0.14	0.22	0.33	0.41
Cajas de madera prensada	0.00	0.14	0.22	0.28
Cajas de madera no prensada	0.06	0.22	0.28	0.33
Canales revestidos de concreto	0.14	0.28	0.40	0.55
Conductos metálicos lisos	0.06	0.14	0.22	0.33
Conductos de metal corrugado	0.88	1.05	1.21	1.38
Canales de tierra en buena condición	0.50	0.69	0.88	1.05
Canales de tierra con vegetación y rocas	1.05	1.38	1.75	2.10
Canales excavados en roca	1.38	1.75	2.04	2.32
Cursos de agua naturales	1.05	1.38	1.75	2.10
Cursos de agua naturs. con veget., rocas, etc.	1.75	2.42	3.48	4.85

Tomado de Proença *et al.*, 1994.

Las secciones más comúnmente usadas son la rectangular y la trapezoidal y los cálculos se determinan en la tabla 12, así:

TABLA 12. Características de canales a cielo abierto

Canal Abierto	Sección	Área	Perímetro húmedo	Radio Hidráulico
De sección rectangular		b.h	b + 2h	$\frac{bh}{b + 2h}$
De sección trapezoidal		(b + zh)h	$b + 2h\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zh)h}{b + 2h\sqrt{1 + z^2}}$

Ejemplo: calcular el caudal (Q) del agua en un canal de abastecimiento de sección rectangular revestido en concreto de muy buenas condiciones (Fig. 28), donde la pendiente (I) es de 0.5% = 0.005 m/m; ancho (b) de 0.30 m; altura de la columna de agua (h) de 0.25 m; un borde libre de 0.15 m y el coeficiente (γ) es 0.14 (Tabla 11).

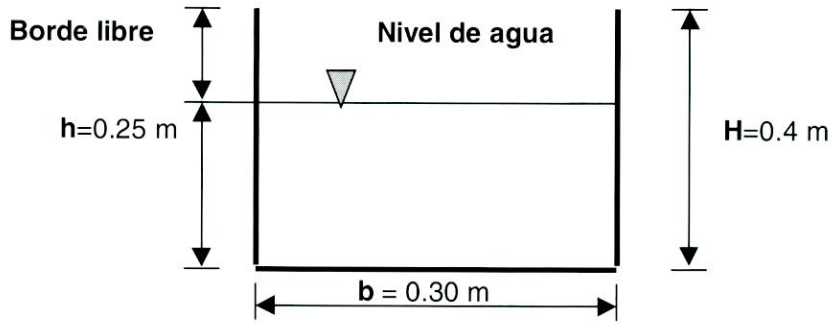


FIGURA 28. Canal de sección rectangular

$$R_H = \frac{bh}{b + 2h} = \frac{0.30 \times 0.25}{0.30+2(0.25)} = \frac{0.075}{0.8} = 0.094$$

De la fórmula: $V = \dfrac{87\ \sqrt{(RH.I)}}{1 + \dfrac{\gamma}{\sqrt{RH}}}$

Tenemos: $V = \dfrac{87\ \sqrt{((0.094 \times 0.005)}}{1+ \dfrac{0.15}{\sqrt{0.094}}}$

$$V = \frac{87}{1 + \dfrac{0.15}{0.30}} \times 0.02 \qquad V = \frac{87 \times 0.02}{1 + 0.50}$$

V = 1.16 m/seg

Se ha estimado un velocidad media (V) igual a 1.16 m/seg, entonces:

Q = V x S y S = b x h

Q = 1.16 x (0.30 x 0.25)

Q = 0.087 m^3/seg o sea Q = 87 lt/seg

Ejemplo: manteniendo las mismas dimensiones del canal del ejemplo anterior (base, altura del agua, borde libre y pendiente), se pretende construir un canal trapezoidal (Fig 29.); entonces:

DE COLOMBIA

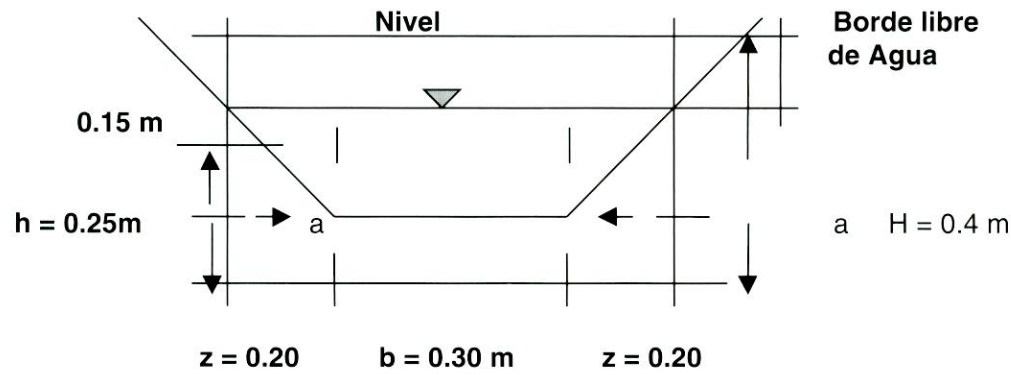


FIGURA 29. Canal de sección trapezoidal

$a^2 = z^2 + h^2$ $a^2 = 20^2 + 25^2$ $a = \sqrt{(400+625)}$; $a = 32$

$$R_H = \frac{S}{Ph} \quad S = \frac{0.70 + 0.30 \times 0.25}{2} \quad S = 0.125$$

$Ph = b + 2h\sqrt{(1 + z^2)}$ Perímetro húmedo)

$Ph = 0.30 + 2(0.25\sqrt{(1 + 0.20^2)}$ $Ph = 0.81$

$$R_H = \frac{0.125}{0.81} = 0.154$$

$$V = \frac{87\ \sqrt{(R_H.I)}}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R_H}}}$$

Tenemos: $$V = \frac{87}{1 + \frac{0.15}{\sqrt{0.1543}}} \sqrt{(0.1543 \times 0.005)}$$

$$V = \frac{87}{1 + \frac{0.15}{0.393}} \times 0.0277 \qquad V = \frac{87}{1 + 0.382} \times 0.0277$$

$V = 1.74$ m/seg

$Q = V \times S$ $Q = 1.74 \times 0.125$ $Q = 0.218$ m³/seg

El caudal (Q) en el canal trapezoidal es de 218 lt/seg.

Para adelantarla construcción del canal, se cava primero la parte central con paredes verticales con una distancia entre sí igual a la anchura del fondo y si este es de forma trapezoidal, se ajusta el declive a lo largo del fondo con ayuda de nivel y finalmente se arreglan los taludes.

7.4 LLEGADA DE AGUA AL ESTANQUE

Los canales abiertos están generalmente conectados a los estanques a través compuertas metálicas, un tubo metálico o de PVC o una compuerta ahogada como la de la toma de agua para controlar los volúmenes (Fig. 30).

En algunos casos, los canales descargan el agua en cajas de derivación, en las que se acoplan tuberías de PVC alta presión con diámetro variable en función del tamaño y la necesidad de recambio del estanque. El tubo de alimentación debe ubicarse horizontal y a la altura de la corona del dique de la parte menos profunda (Fig. 31).



FIGURA 30. Canal abierto de alimentación de estanques

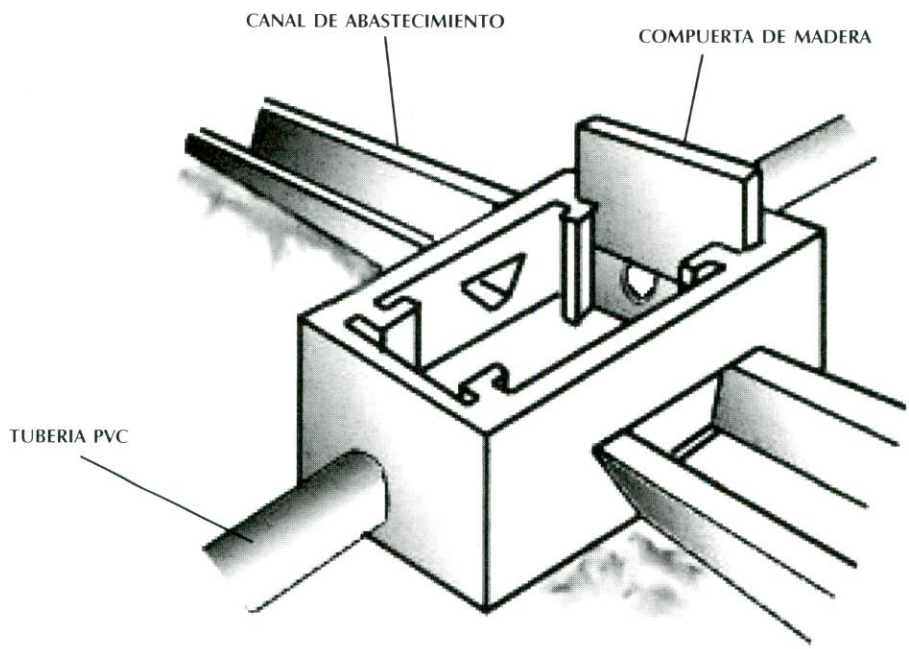


FIGURA 31. Caja de derivación (Según Proença *et al.*, 1994)

Para determinar el caudal en un tubo de abastecimiento se debe tener en cuenta, el diámetro, la longitud y la profundidad del agua en el canal de alimentación. Para el cálculo, se aplica la siguiente fórmula

$Q = \mu S\sqrt{2gH}$

Donde:

Q = caudal m^3/seg

μ = coeficiente de descarga (Fig. 32)

S = sección transversal de la tubería (m^2)

g = 9.81 (Aceleración debida a la gravedad, m/seg)

H = profundidad del agua desde el centro de la tubería hasta la superficie libre del fluido (m)

Ejemplo: determinar la descarga de una tubería con un diámetro de 0.05 m, si la longitud es de 5 m y la profundidad del canal de suministro es de 0.50 m.

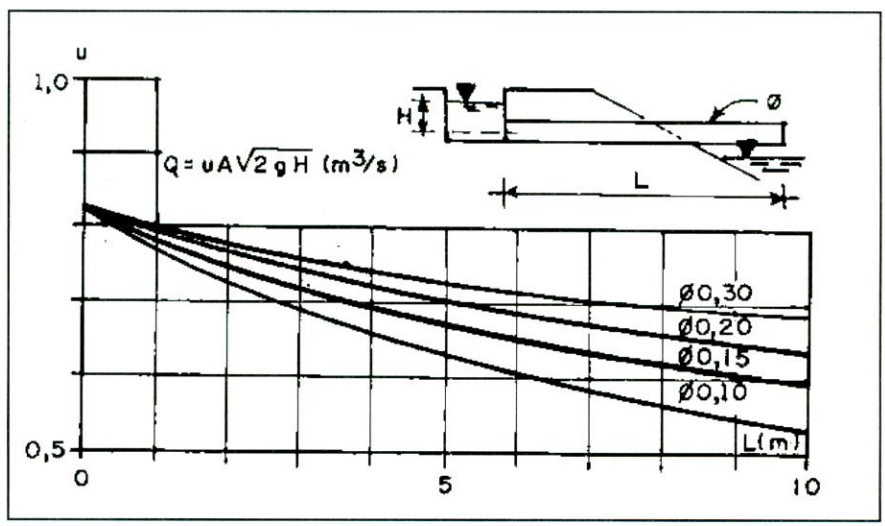


FIGURA 31. Coeficiente de descarga

El coeficiente de descarga (μ) es igual a 0. 6 de la figura 32

$$S = \frac{\pi D^2}{L} = \frac{3.14 \times (0.05\ m)^2}{5} = \frac{0.00785}{5} = 0.00157\ m^2$$

$$H = 0.50\ m - \frac{0.05\ m}{2} = 0.475\ m$$

$$Q = 0.60\ (0.00157\ m)\ \sqrt{2}(9.81\ m/seg \times 0.475\ m)$$

$Q = 0.0029\ m^3$/seg o sea 2.9 lt/seg

7.5 SISTEMA DE DRENAJE

El tamaño del estanque y los recursos económicos del piscicultor determinan el sistema más adecuado para desocupar el estanque, pero el dispositivo a utilizar debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

- El drenaje debe estar localizado en la parte más profunda, de modo que el estanque se pueda desocupar totalmente.
- El sistema de drenaje debe tener la capacidad suficiente, evitando que el agua se desborde por el vertedero o el dique ocasionando problemas de erosión
- El control de nivel o exceso de agua debe eliminarse por el fondo, donde se encuentra el agua de baja calidad, especialmente con niveles bajos de oxígeno disuelto.
- El dispositivo a utilizar debe poseer una malla de protección para evitar la fuga de los peces.

Existen varios tipos de estructuras para desocupar un estanque, pero los más comunes en las zonas tropicales son el monje y tubo en L con codo móvil. El diámetro del tubo depende del volumen de agua a evacuar. Los siguientes cálculos se hicieron para un tubo recto de 10 m de largo (Tabla 13) (INDERENA- AID-PAN, sin fecha)

TABLA 13. Descarga aproximada (lt/seg) en diferentes tuberías

Profundidad de la superficie hasta el nivel del tubo (m)	Diámetro del tubo (pulgadas) Litros/segundo			
	2"	4"	6"	10"
1.55	4	21	53	167
1.45	4	20	52	162
1.25	3	19	48	150
1.15	3	18	46	144
0.75	3	14	37	106
0.65	2	13	35	108
0.45	2	11	29	90
0.25	2	8	21	67
0.15	1	6	17	52

Tomado de Fundamentos básicos de piscicultura para especies de clima templado (INDERENA-AID-PAN, sin fecha)

La descarga en lt/seg depende del diámetro del tubo de desagüe y es directamente proporcional a la profundidad del estanque. El tiempo de vaciado se determina con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{0.75 \times A_1 \times ((H_1 - (H_2)}{A_2} \text{ (seg.)}$$

Donde:

T = Tiempo de vaciado (seg)

A_1 = Área del estanque (m^2)

A_2 = Área de la sección transversal de la salida (m^2)

H_1 = Profundidad inicial del estanque (m)

H_2 = Profundidad final del estanque (m)

Si el estanque se desocupa totalmente $H_2 = 0$

Ejemplo: determinar el tiempo para desocupar totalmente un estanque de 1000 m^2, con una profundidad de 1.5 m y un tubo de salida con diámetro de 0.15 m.

$A_1 = 1000\ m^2$

$$A_2 = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14158\ (0.15)^2}{4} = 0.01767\ m^2$$

$H_1 = 1.5$ m

$H_0 = 0$

$$T = \frac{0.75 \times 1000}{0.01767} (\sqrt{1.5} - \sqrt{0}) = 51984 \text{ seg} = 14 \text{ horas}$$

7.6 El Monje

Es una construcción vertical normalmente en concreto cuya sección horizontal es en forma de U abierta hacia el estanque y una tubería que atraviesa el dique del estanque y va al canal de desagüe o a la caja de pesca (Fig. 33) (Bard *et al.*, 1975; Esteves, 1990; Mercado y Gómez, 1989 y Mercado, 1989).

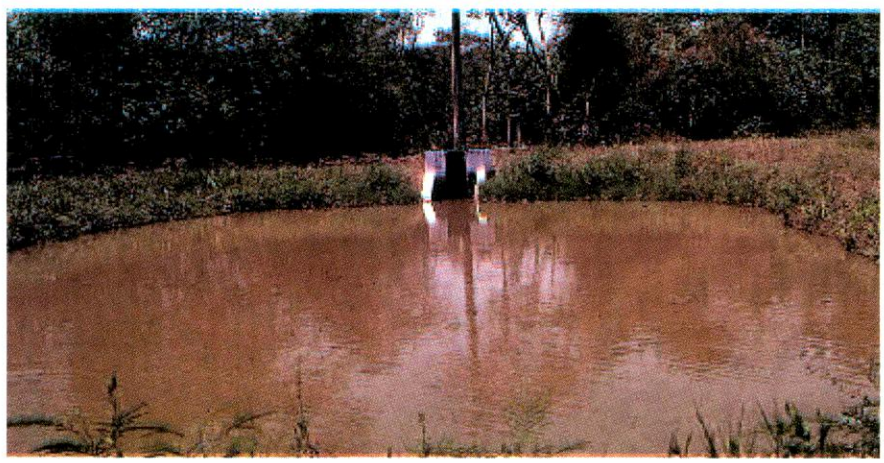


FIGURA 33. Estanque desagüe tipo monje

El monje debe construirse en la parte más profunda del estanque y con preferencia empotrado en el dique o afuera. La altura deberá corresponder a la cima del dique o sea 30 cm arriba del nivel máximo del agua en el estanque o la presa y la capacidad del tubo de drenaje debe ser superior al de abastecimiento.

La parte vertical comprende una pared dorsal y dos laterales que presentan normalmente tres ranuras verticales internas en cada una por donde corren tablas de madera dispuestas una sobre otra que cierran el monje, algunos se construyen con dos ranuras. En la base de la pared dorsal se acopla el tubo de drenaje que atraviesa el dique (Fig. 33).

En la base de la primera serie de tablas se coloca una malla que reemplaza la primera tabla y evita la fuga de los peces. Para mantener el nivel de agua, entre la segunda y tercera serie de tablas se rellena con arcilla apisonada.

Con este sistema se logra que el recambio se haga del agua del fondo del estanque. En monjes con dos ranuras, el recambio es superficial.

7.6.1 La construcción del monje

La construcción de la base del monje debe hallarse levemente más baja que el fondo del estanque y sobre suelo duro o cimientos especiales. Antes de la construcción se coloca el tubo de evacuación de material prefabricado, con declive de 1 % y sobre una estructura de cemento para darle sostén. El tamaño de los monjes varía con la capacidad del tubo de desagüe que puede ser en hierro, concreto o PVC y con la superficie del estanque. En estanques pequeños las dimensiones recomendables de un monje (Fig. 34):

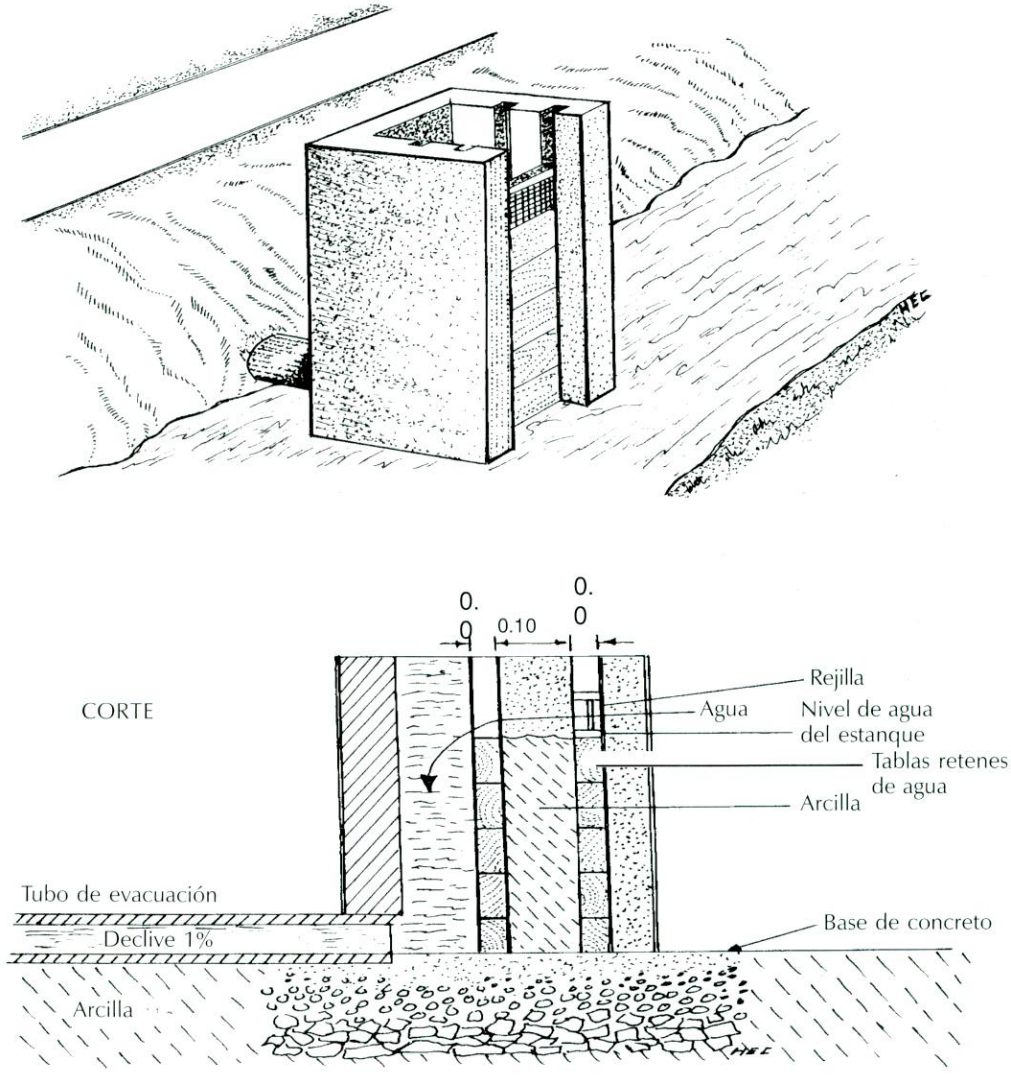


FIGURA 34. Monje de concreto

Altura 1.5 m

Anchura 0.57 m

Longitud de las alas 0.44 m

Espesor 0.12 m

En estanques de mayor tamaño las dimensiones recomendables pueden ser:

Altura 2.0 m

Anchura 0.57 m

Longitud de las alas 0.54 m

Espesor 0.15 m

Los cimientos del monje y del tubo de evacuación deben ser mucho más anchos que el monje para evitar hundimiento. Es posible construir monjes de madera de fácil construcción pero la durabilidad es muy corta.

Para calcular el caudal de descarga en el monje (lt/seg) se aplica la fórmula de Francis para vertederos rectangulares, sin tener en cuenta la velocidad de aproximación:

$Q = 1.84Bh^{3/2}$

Donde:

Q = Caudal

B = Ancho interno del monje (m)

h = Altura de carga (m)

Para calcular el caudal (Q) de descargue en la tubería se aplica la fórmula descrita para abastecimiento: $Q = \mu S\sqrt{(2gH}$

Se puede utilizar empíricamente de descarga (μ) igual a 0.88 que permite simplificar el cálculo del caudal de descarga, sin alterar significativamente los resultados (Proença *et al.*, 1994).

7.7 Desagüe con Tubo en L y codo

Se utilizan con más frecuencia en estanques con áreas inferiores a 1000 m^2. Se utilizan tubos de PVC u otro material, de 4 ó más pulgadas de diámetro. El desagüe consta de cuatro partes: (Fig. 35)

Un tubo colocado en la base del dique, con una pendiente de 1% para asegurar el flujo de agua. El tubo debe asegurarse con collaretes de concreto para darle sostén (Bard *et al.*,1975; Rey y Amaya, 1983; Esteves, 1987, 1990 y CAP, 1993).

Un codo móvil colocado en pie del dique interno, en el extremo interno del tubo de desagüe.

Un tubo vertical de longitud igual a la columna de agua, unido al codo y con movilidad para controlar el nivel.

Un sobretubo de mayor diámetro y longitud a manera de camisa, con ranuras en la parte inferior, permite recambiar el agua del agua de fondo del estanque que es de menor calidad.

El extremo del tubo vertical de desagüe debe cubrirse con una malla para evitar el escape de peces.

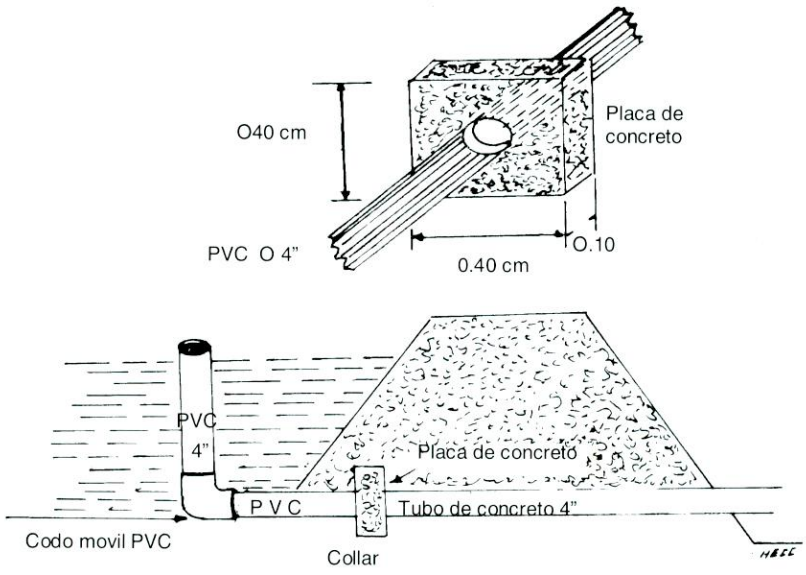


FIGURA 35. Desagüe con tubo en L y codo móvil

7.8 CANAL DE DRENAJE

Es la estructura hidráulica destinada a recibir todas las aguas provenientes de los drenajes de los estanques y demás infraestructura de la granja piscícola y conducirlas a un lugar para el tratamiento y disposición final.

Pueden ser construidos en concreto, con paredes revestidas de ladrillo, piedra, prefabricado o en un terreno natural excavado que presente adecuadas características de impermeabilidad. La sección transversal más usada es la trapezoidal.

El declive o pendiente del fondo debe tener como mínimo 5‰ (cinco por mil). Cuando por condiciones topográficas y tipo de suelo no se puede construir un canal abierto se deben utilizar tuberías subterráneas con cajas de inspección intercaladas.

La cantidad de agua de todo el sistema debe ser drenada en un tiempo tal que corresponde a:

$$(t) \text{ días} = 2\sqrt{\Sigma S}$$

donde:

t = tiempo de drenaje en días

ΣS = Sumatoria del área inundada de todos los estanques (ha)

Ejemplo: se requiere desocupar un área inundada de 2 hectáreas y si se considera que t = 2(2 (ha), se requieren 2.83 días, es decir 3 días, entonces el caudal estimado será:

$$Q = \frac{V \text{ (Volumen)}}{t\text{(tiempo)}}$$

$$Q = \frac{S \times h}{t} \quad (m^3/seg) \quad S = 2 \text{ ha y si se considera una profundidad promedio de 1 m.}$$

$$Q = \frac{2 \text{ ha} \times (10000 \text{ m}^2/\text{ha}) \times 1 \text{ m}}{3 \text{ días} \times 86400 \text{ seg/día}} = \frac{20000 \text{ m}^3}{259200} = 0.077 \text{ m}^3/\text{seg ó } 77.1 \text{ lt/seg.}$$

Con el caudal determinado se procede a realizar el diseño del canal, aplicando las fórmulas descritas por Chezy y Bazin para el diseño de canales tipo trapezoidal

8. OBRAS COMPLEMENTARIAS

8.1 Salida de Emergencia o Aliviadero

Para evitar que el agua sobrante proveniente de lluvias o excesos de caudal pase por encima del dique se debe construir una salida de emergencia o rebosadero unos 5 ó 10 cm por encima del nivel de agua del estanque y de 50 cm de ancho cuando el control de caudal es eficiente (Fig. 36).

El declive del fondo debe ser suave, no superior a 20% en terrenos naturales y se debe recubrir con grama para evitar la erosión. También se puede utilizar tubería para este mismo propósito.

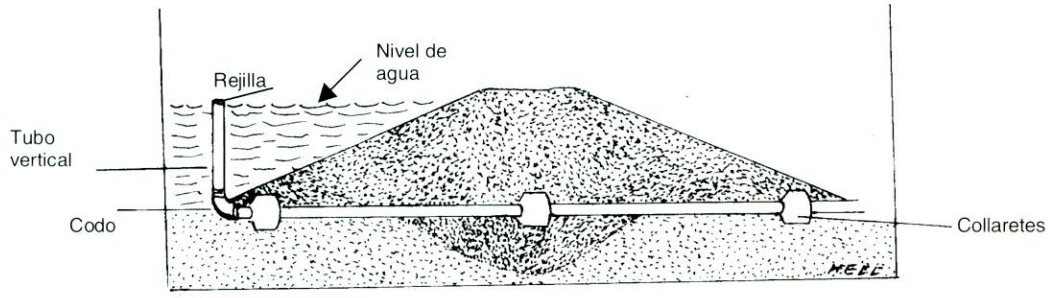


FIGURA 36. Aliviadero o salida de emergencia

8.2 Caja de Pesca

Es una estructura localizada en la parte profunda del estanque, cerca al desagüe o fuera del estanque y generalmente 30 cm por debajo del fondo. Se construye en cemento y ladrillo y sirve para recoger la cosecha cuando se desocupa un estanque. Cuando son internas poseen forma de abanico y el tamaño varia con el del estanque (Bard *et al.*, 1975 y Ramírez, 1996).

En cajas de pesca externas rectangulares se puede construir una común para dos estanques o individuales, conectadas al sistema de drenaje.

8.3 Estanque Reservorio

Es un estanque ubicado en la parte alta de la granja, sirve para almacenamiento y mejoramiento de la calidad del agua antes de entrar al estanque. Su tamaño varía de acuerdo con el tamaño de la piscicultura y el recambio que se pretenda realizar. Por lo menos debe permitir un recambio del 15% del total del agua de los estanques. En granjas camaroneras se denomina canal reservorio y generalmente uno de los diques del canal es compartido con las piscinas (De Nogales y Santos, 1995).

8.4 Compuerta de salida o de cosecha

Se utilizan en estanques para cultivo de camarón y pueden construirse en madera o concreto, la altura es proporcional a la altura del muro, pero su tamaño debe permitir operarlas fácilmente.

La compuerta está formada por una entrada amplia con dos alas en forma de Y, un canal denominado «Box culver» en concreto, una salida y una plataforma de cosecha. La entrada posee una estructura con ranuras para colocar los filtros y dos hileras incrustadas en las dos paredes para colocar los tablones, que se deslizan por ranuras paralelas. (De Nogales y Santos, 1995).

La serie de tablones se colocan bien encajados uno encina del otro, rellenando con arcilla o lodo para obtener un buen sellamiento, función similar a los monjes.

BIBLIOGRAFÍA

BAÑOS, G. 1989. Construcción de Estanques, Colegio de Biólogos de Guayaquil, Guayaquil.

BARD, J.; P. KIMPE; J. LEMASSON; P. LESSENT. 1975. Manual de Piscicultura Destinado a la América Tropical. Centre Technique Forestier Tropical, segunda Edición, Francia, 149 p.

CAP. 1993. La Piscicultura una oportunidad para su finca. Corporación autónoma Regional del Putumayo, Programa Recursos Hidrobiológicos, Mocoa. 36 p.

DE NOGALES, C y L. SANTOS. 1995. Cultivo de camarón en estanques. 61 -103 p. en: Rodríguez, H, G. Polo y O. Mora (Ed.) Fundamentos de Acuicultura Marina. INPA. Bogotá, D. C. 223 p.

EICA. 1991. Memories of Course on Fish Culture Development. The Egyptian International Centre for Agriculture, 335 p.

ESTEVES, M. 1990. Manual de Piscicultura. Universidad Santo Tomás- USTA. Bogotá, 232 p.

ESTEVES, M. 1987. La cachama, cultivo en estanque, INDERENA-Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Bogotá, 30 p.

GENERAL ELECTRIC DE COLOMBIA S.A. y CATERPILLAR. 1971. Movimiento de Tierra, principios básicos, Bogotá. 96 p.

GONZÁLEZ J. A. y B. HEREDIA. 1989. El cultivo de la Cachama(Colossoma macropomum). FONAIAP, Estación Exp. Guárico, Subestación Guanapito. Maracay, Ven. 124 p.

GRAS, J. C. (Sin fecha) Desarrollo físico de tierras bajo Riego. CIDIAT, Mérida, Ven 315 p.

INDERENA- AID- PAN (Sin fecha). Fundamentos básicos de piscicultura para especies de clima templado. Ministerio de agricultura INDERENA, 93 p.

MERCADO, J. 1989. Orientaciones básicas al piscicultor y como construir o acondicionar cuerpos de agua para cultivar peces. Recursos Hidrobiológicos. Rev Cient. Tec. Inf. INDERENA, Cartagena. 2: 4-33.

MERCADO, J. y C. GóMEZ R. 1989. Esquemas de estructuras para recambio de agua de superficie o de fondo en cuerpos de agua utilizables en cultivo de peces u otras actividades hidro-aplicadas. Recursos Hidrobiológicos Rev Cient. Tec. Inf. INDERENA, Cartagena. 1: 8-29.

PROENÇA, C. E.; E. MARTINS DE LEAL Y B. R. PAULO. 1994. Manual de Piscicultura Tropical. Brasilia: IBAMA. Bra. 196 p. Il: 21 Cm.

RAMÍREZ, M.; L. MORALES y M. MALVE. 1996. Manual de Acuicultura CONICIT- CVS- Gobernación del Estado Táchira - FUNDACITE, Ven. 104. p.

REY F. y R. AMAYA. 1983. Cartilla para el criador de peces en aguas cálidas, INDERENA, Bogotá, 44 p.

VILLAMIL, V. E. 1990. Guía para construcción y manejo de estanques piscícolas, INDERENA. Bogotá, 15 p.

VILLAMIZAR, C. A. 1984. Diseño de presas de tierra para pequeños almacenamientos. HIMAT, Bogotá 120 p.

VON PRHAL, H.; R. CANTERA y R. CONTRERAS. Manglares y hombres del Pacífico Colombiano, Fondo FEN Colombia, Bogotá, 135 p.

WEDLER, E. 1998. Introducción en la acuicultura con énfasis en los neotrópicos. Primera edición, Santa Marta. 388 p.

Capítulo V. NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN DE PECES

Wálter Vásquez Torres[1]

INTRODUCCIÓN

El objetivo de la producción acuícola es el aumento del peso de los animales en el más breve tiempo posible y en condiciones económicamente ventajosas. El requisito básico para lograr esta meta es cubrir satisfactoriamente todas las necesidades metabólicas del organismo. En Acuicultura esto es posible mediante la creación de unas condiciones ambientales óptimas y una esmerada alimentación y nutrición a base de alimentos naturales y artificiales que contengan todos los nutrientes requeridos por el pez en las proporciones adecuadas (Steffens, 1987).

Según Hepher (1988) los tres componentes básicos que están involucrados en la alimentación y nutrición de los organismos acuáticos en estanques son: requerimientos específicos de alimentos, alimento natural disponible y alimentación suplementaria (raciones artificiales).

La formulación y fabricación de dietas artificiales requiere, además de una amplia información sobre hábitos y preferencias alimenticias de la especie en su habitad natural, de un detallado estudio sobre su morfofisiología del sistema digestivo y de sus exigencias nutricionales.

Sin embargo, toda esta información no será suficiente para lograr metas de producción si no se diseñan dietas adecuadas a cada sistema de cultivo (extensivo, semintensivo, intensivo) y se aplican estrategias de alimentación apropiadas. La producción de peces por unidad de área o en el cultivo así como sus rendimientos económicos dependen en gran parte de la cantidad y calidad del alimento suplementario usado y de la eficiencia con que éste sea suministrado.

1. HÁBITOS ALIMENTICIOS DE LOS PECES

Los peces, como sucede con todos los animales, requieren de una nutrición adecuada para poder crecer y sobrevivir. La naturaleza les ofrece una gran variedad de alimentos tanto de origen animal como vegetal, además de diversos nutrimentos disueltos en el agua. Muchos compuestos necesarios junto con diversos iones del agua pueden ser absorbidos directamente a través de las branquias o también deglutidos con el alimento y después absorbidos en el tracto digestivo (Bardach-Lager, 1990).

Cuando se hace referencia a **hábitos alimenticios** se está mencionando la manera cómo se alimenta el pez, es decir, la conducta directamente relacionada con la búsqueda e ingestión de los alimentos. Es necesario hacer distinción entre hábitos alimenticios y alimento, ya que este último tiene que ver con el material que habitual u ocasionalmente estos comen y el primero con el comportamiento para tomar el alimento.

Con relación a sus preferencias alimenticias, tanto en condiciones naturales como en cultivo, los peces pueden ser considerados animales omnívoros u oportunistas; sin embargo, dentro de esta manera de agrupación se puede ver como algunas especies son más eficientes o presentan una mayor preferencia para la utilización de ciertos alimentos naturales. El conocimiento de estas preferencias para cada especie en particular es fundamental para el desarrollo de estudios nutricionales y de alimentación, de esto depende una adecuada formulación y fabricación de raciones y el planeamiento de estrategias de alimentación para los diferentes sistemas de cultivo.

De una forma práctica las diferentes especies de peces pueden ser clasificadas, de acuerdo con sus preferencias alimenticias, en los siguientes grupos:

---

1 Biólogo, Ph.D. Profesor Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos, IALL, Villavicencio (Meta). E-mail: wvasquez@ig.com.br

1.1 Carnívoros

También llamados predadores porque en su alimentación presentan preferencia por organismos vivos que van desde pequeños organismos planctónicos hasta insectos, crustáceos, moluscos, peces, reptiles, anfibios y pequeños mamíferos. La mayoría de los carnívoros tienen alta aceptación y muy buen precio en el mercado por la excelente calidad de su carne, caso de las truchas, los salmones, algunos bagres y los sábalos. Debido a la intensa actividad de cultivo a que han sido sometidas algunas de estas especies a lo largo del tiempo se ha producido en ellas una gradual adaptación al consumo de raciones artificiales, secas, como por ejemplo las truchas. Es importante anotar que estas especies por ser carnívoras requieren un alto porcentaje de proteína de excelente calidad en la dieta, esto puede limitar el desarrollo del cultivo de especies de atractivo comercial como por ejemplo algunas piscívoras: tucunaré (*Cichla ocellaris*), el pirarucú (*Arapaima gigas*) y algunos bagres.

1.2 Herbívoros

Pocos peces presentan preferencia por alimentos de origen vegetal que se caracterizan por ser ricos en fibra y muy bajos en proteína y energía. La carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella)* y la tilapia herbívora *Tilapia rendalli* son típicos ejemplos de especies herbívoras que se alimentan de plantas (macrófitas) y de algas filamentosas. Tienen un aceptable rendimiento en cultivo porque ocupan un nicho ecológico muy especializado en sistemas de policultivo y también porque pueden ser utilizadas como controladoras de malezas acuáticas.

1.3 Omnívoros

Existen otras especies tropicales que en condiciones naturales tienen preferencia alimenticia omnívora con tendencia a los frutos y semillas, caso de las cachamas blanca y negra (*Piaractus brachypomus* y *Colossoma macropomum*), el yamú (*Brycon* sp), las palometas (*Mylosoma* sp) y algunas sardinas (*Triportheus* spp.) (Araujo-Lima y Goulding, 1997). Particularmente en el ambiente natural las cachamas tienen una tendencia a alimentarse de frutos, semillas y hojas, abundantes durante las épocas de las inundaciones y en la época de aguas bajas, se alimentan de caracoles, cangrejos, insectos, cadáveres de animales diversos y de plancton (Arias y Vásquez-Torres, 1988). Estas especies en condiciones de cultivo reciben y convierten muy bien los alimentos concentrados secos que se les suministran.

La mojarra plateada (*Oreochromis niloticus*) y la carpa común (*Cyprinus carpio*) también son consideradas omnívoras, porque además de alimentarse de fitoplancton pueden consumir algas verde azules y alimentos concentrados.

1.4 Planctófagos o filtradores

Estos peces se alimentan de fitoplancton (organismos vegetales como algas unicelulares) y de zooplancton (protozoarios, rotíferos, cladóceros, peces, microcrustáceos copépodos y formas larvales de diferentes organismos). Prácticamente todas las especies de peces pasan por una fase plantófaga en sus primeras etapas de desarrollo (postlarva y alevino), antes de alcanzar su hábito alimenticio definitivo. Las tilapias, la carpa cabezona (*Aristichthys nobilis),* la carpa plateada (*Khypophthalmichthys molitrix*) y la cachama negra, son ejemplos de peces que mantienen su hábito plantófago, durante toda su vida. La mojarra roja por ser un híbrido de varias especies del género *Oreochromis* es considerada también un pez omnívoro y filtrador con una muy buena aceptación de alimentos concentrados y buena conversión alimenticia.

Los peces plantófagos utilizan sus rastrillos branquiales denominados branquiespinas para filtrar y concentrar el plancton presente en el agua que pasa a través de la cámara branquial, por eso también son llamados filtradores (Bardach-Lager, 1990). Con propósitos de cultivo, aparentemente los peces filtradores son muy rentables porque aprovechan la productividad primaria del estanque la que a su vez se produce mediante la aplicación al estanque de fertilizantes orgánicos e inorgánicos; sin embargo la práctica ha demostrado que la producción es muy baja porque los sistemas se deben manejar en condiciones semi-intensivas, que se caracterizan por bajas densidades de siembra.

1.5 Detritívoros

Algunos peces de agua dulce como los bocachicos (*Prochilodus* spp), la sapuara (*Semaprochilodus* sp) y estuáricos como la lisa (*Mugil cephalus)* y el lebranche (*Mugil liza)*, tienen un hábito alimenticio muy especializado, pues su

dieta está compuesta básicamente de detritos orgánicos que se acumulan en el fondo de los estanques (Yossa y Araujo-Lima, 1998), los cuales están compuestos por hongos, levaduras y también organismos bentónicos, tales como larvas y huevos de insectos, de moluscos, crustáceos y otros organismos. Estas especies tienen baja conversión alimenticia y necesitan mucho espacio para un buen crecimiento; por esta razón con propósitos de cultivo sólo se recomiendan en sistemas de policultivos y en muy bajas densidades de siembra.

2. ESTRUCTURA Y FUNCIÓN GENERAL DEL TRACTO DIGESTIVO

La diversidad de hábitos alimenticios de los peces es el resultado de la evolución que ha conducido a adaptaciones estructurales que sirven para obtener el alimento a partir de muy diversas situaciones que se han generado en el medio ambiente; de esta manera la morfología del aparato digestivo está íntimamente ligada a los hábitos alimenticios en el sentido que los peces han adaptado sus estructuras bucales para facilitar la búsqueda e ingestión del alimento.

La estructura básica del tracto digestivo de los peces es similar a la de los vertebrados en general, está compuesta por los siguientes órganos y estructuras asociadas:

2.1 Boca y cavidad bucal

De acuerdo con el hábito alimenticio de los peces, la posición de la boca puede ser terminal, como en la mojarra plateada (*Oreochromis niloticus)* (Fig. 1A), en las cachamas (*P. brachypomus* y *C. macropomum*) (Fig. 1C), y en el bocachico (*Prochilodus* spp) (Fig. 1B); superior o inferior (caso de algunos bagres) (Fig. 1D), además de otras posiciones menos frecuentes. El tamaño de la boca depende del tamaño de la partícula de alimento que normalmente ingiere. Así, peces plantófagos, herbívoros o detritívoros, en general, presentan boca pequeña en tanto que los peces carnívoros tienen boca y cavidad bucal grande, lo cual facilita capturar y engullir presas enteras.

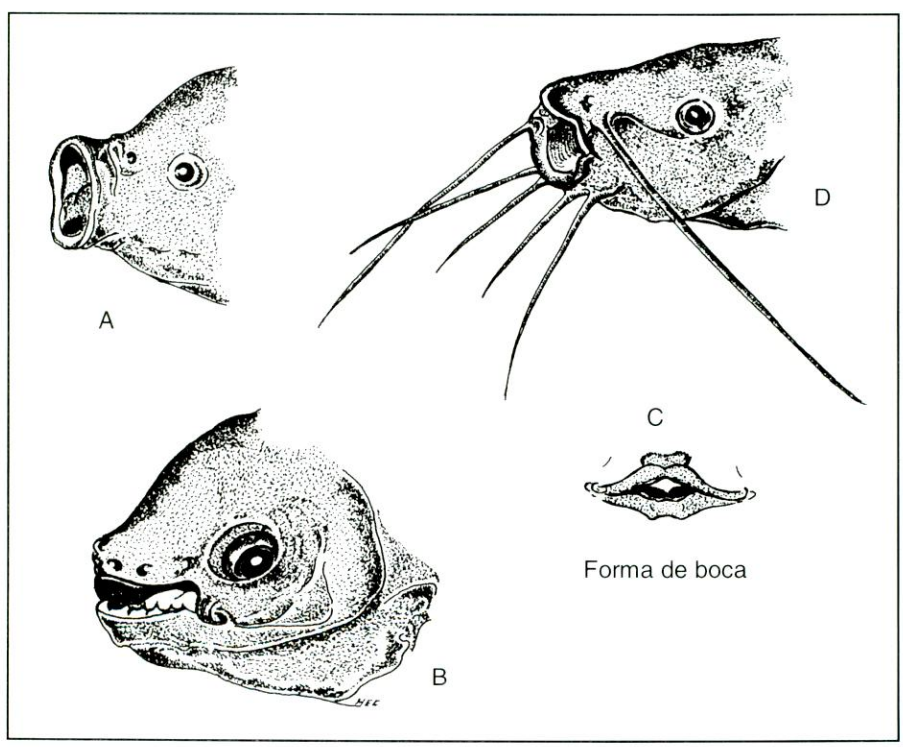


FIGURA 1. Diferentes tipos de bocas. A. Boca terminal protráctil: mojarra. B. Boca terminal: cachama. C. Boca subterminal: bocachico. D. Boca subterminal; nicuro, barbul.

Dependiendo del hábito alimenticio los dientes pueden estar presentes o ausentes y así mismo variar su número, forma y tamaño (Fig. 2); según su posición pueden ser mandibulares, bucales y faríngeos, Según su forma cardiformes (numerosos, cortos, finos y puntiagudos se presentan en bagres), viliformes (parecidos a los cardiformes, pero más alargados), caninos (son alargados de forma subconica, derechos o curvos y están adaptados para clavarse y sujetar), incisivos (tienen los extremos cortados en bisel) y molariformes (algo aplanados en algunos casos con amplias superficies rellenas y sirven para machacar y moler) (Bardach-Lager, 1990).

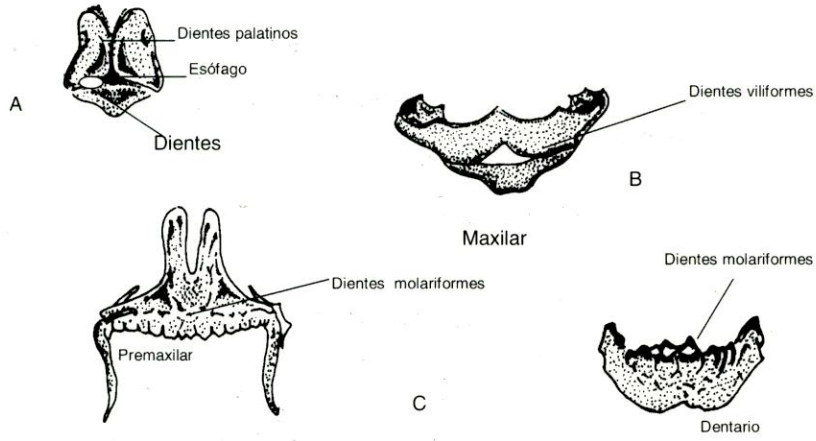


FIGURA 2. Diferentes formas de dientes de acuerdo con su hábito alimenticio. A. Mojarra. B. Bocachico. C. Cachama.

- **En los peces carnívoros** en la boca y en la cavidad bucal se encuentran dientes en la mandíbula, dientes palatinos y vomerianos en el techo de la cavidad y dientes linguales en la superficie de la lengua. Estos sirven para la captura y aprisionamiento de las presas.
- **Los peces herbívoros** generalmente poseen dientes faríngeos, con un par superior y otro inferior que sirven para triturar material vegetal. Algunos de estos también pueden poseer dientes mandibulares incisivos para cortar las macrófitas que ingieren.
- **En los peces omnívoros,** como la mojarra plateada, se presentan dientes muy pequeños y aserrados y posee una lengua fija. Además, al igual que algunos ciprínidos, presentan dientes faríngeos que sirven para la trituración de materiales diversos antes de llegar al estómago. Las cachamas presentan dientes mandibulares que sirven para cortar y triturar las diferentes frutas y semillas que ingieren.
- **En los peces detritívoros,** como el bocachico (*Prochilodus magdalenae*), la boca está adaptada para raspar en el fondo y presenta dientes viliformes.

2.2 Branquiespinas

Las branquiespinas están ubicadas sobre el arco branquial protegiendo los filamentos branquiales de la abrasión que producen los materiales con textura tosca que son ingeridos; en conjunto con las branquias actúan como filtros que dejan pasar el agua y retienen al mismo tiempo partículas de alimento, canalizándolo hacia el estómago.

- **Los peces planctófagos** generalmente poseen numerosas branquiespinas, finas, largas y muy próximas entre sí, permitiendo una eficiente filtración de partículas de alimento (fito y zooplancton).
- **Los peces carnívoros y algunos herbívoros** que se alimentan de organismos mayores tienen branquiespinas en bajo número, más gruesas y cortas y bastante separadas entre sí.

2.3 Esófago

El esófago de los peces se caracteriza por ser un pasaje muscular entre la boca y el estómago o directamente al intestino en el caso de especies sin estómago funcional como la carpa común, la carpa herbívora y el bagre dorado

(*Blachyplatistoma flavicans*). El epitelio del esófago es ciliado y rico en células secretoras de mucus que ayudan en el transporte del alimento ingerido. En peces carnívoros el esófago presenta paredes bastante elásticas que posibilitan el paso de las presas, generalmente ingeridas enteras.

2.4 ESTÓMAGO

La configuración del estómago también varía con la dieta del pez. Su tamaño depende de la frecuencia de alimentación y del volumen de la partícula ingerida.

Los peces omnívoros y los herbívoros que generalmente realizan varias ingestiones de pequeñas cantidades de alimento al día presentan un estómago con baja capacidad volumétrica, en estos las porción posterior del estómago presenta un epitelio columnar con células secretoras de mucus, de ácido clorhídrico y de pepsina que mantienen el pH entre 2-5.

En peces carnívoros el estómago está bien diferenciado, es grande y musculoso con capacidad para alojar grandes presas y presenta gran número de ciegos pilóricos que segregan una serie de enzimas proteolíticas que actúan en la digestión de espinas, huesos y escamas.

Algunos peces no poseen un estómago diferenciado, no hay secreción ácida ni actividad de pepsina pero si bolsas intestinales que funcionan como pequeños almacenes de alimento. En estos peces todo el tracto digestivo presenta pH alcalino.

Los ciegos pilóricos están localizados sobre la porción final de la región pilórica del estómago y como se dijo, pueden estar presentes en especies de peces como trucha, cachama, yamú, bocachico y algunos bagres. La estructura histológica de los ciegos es similar a la del intestino, presentando un gran número de pliegues y surcos que aumentan la superficie de secreción y de absorción. Algunas otras funciones también son atribuidas a estas estructuras, como servir de depósito de alimento, participar en la función de secreción, digestión y absorción principalmente de lípidos, carbohidratos, iones y agua.

2.5 INTESTINO

La digestión final de los carbohidratos, los lípidos y la proteína es realizada en el intestino. En los peces existe una relación directa entre la longitud del intestino y el hábito de alimento del pez de la siguiente forma:

- **En carnívoros** la relación intestino - longitud del cuerpo es de tan sólo 0.5 en promedio
- **En herbívoros** la relación intestino - longitud del cuerpo es de 2.2
- **En omnívoros** la relación intestino - longitud del cuerpo es de 2 a 5
- **En los planctófagos/detritívoros** la relación intestino - longitud del cuerpo es de 5 a 6.

Sin embargo, se puede presentar en algunos peces herbívoros y detritívoros un intestino con una longitud de 5 a 7 veces la del cuerpo.

En los omnívoros que no tienen un estómago definido y un intestino muy largo, los individuos pueden ingerir gran cantidad de alimento hasta llenarlo completamente. Cuando se completa la digestión de los alimentos en un lugar determinado del intestino, se puede provocar una deyección eliminando todos los alimentos que se encuentren atrás de ese punto, aunque no se encuentren completamente digeridos. Esto puede observarse con facilidad en mojarras (tilapias) y por este motivo es aconsejable repartir el alimento en varias raciones al día. Esto ocasiona, además de una baja en la rentabilidad del proyecto, problemas de contaminación ambiental a causa de un exceso de nutrientes en el medio acuático.

En los peces carnívoros la digestión de la proteína se inicia en el estómago, de tal manera que cuando los alimentos llegan al intestino ya están parcialmente digeridos. Por esta razón el intestino es relativamente corto, pero con numerosos pliegues y vellosidades que mejoran la eficiencia de absorción de los nutrimentos digeridos.

Los peces herbívoros y fitoplanctófagos consumen alimentos de digestión más difícil y por eso, generalmente presentan intestinos más largos, comparados con el de los peces omnívoros y carnívoros.

2.6 Digestión, absorción y utilización de los alimentos

La función básica del aparato digestivo consiste en disolver los alimentos haciéndolos solubles para ser absorbidos y utilizados en los procesos metabólicos del pez.

El desplazamiento del bolo alimenticio a lo largo del tubo digestivo es acompañado por ondas peristálticas producidas por contracciones musculares, las cuales son voluntarias en la parte anterior del tracto (presencia de músculos esquelético en las paredes del mismo) e involuntarias en el resto del tracto (presencia de músculo liso). Muchos pueden regurgitar grandes cantidades de alimento, vaciando su estómago con suma facilidad. Se ha sugerido que esto es posible porque en el tracto digestivo, desde el esófago hasta el estómago, hay músculos estriados muy bien desarrollados.

Todas las superficies del tracto digestivo se encuentran recubiertas por una membrana mucosa que las protege y lubrica para facilitar el paso del alimento. Los tegumentos internos del intestino son muy absorbentes y rápidamente toman los productos digeridos que se hallan en solución.

2.7 Glándulas, enzimas digestivas y otras estructuras digestivas

2.7.1 Glándulas gástricas

Las glándulas gástricas están presentes a nivel del estómago, especialmente en los peces predadores, secretan ácido clorhídrico y pepsinógeno, sustancias químicas que en combinación son efectivas para desdoblar las enormes moléculas proteínicas. No se ha establecido claramente que existan otras enzimas.

2.7.2 El páncreas

El páncreas es el órgano responsable por el almacenamiento y secreción de diversas enzimas digestivas, entre otras, tripsina, quimotripsina, carboxipeptidasa, amilasa pancreática y lipasa pancreática. A diferencia de los mamíferos y aves, el páncreas de los peces no se presenta como un órgano compacto sino como pequeños glóbulos de tejido pancreático difusos en el mesenterio; cada glóbulo posee una arteria, una vena y un conducto. Los conductos pancreáticos de cada glóbulo se van uniendo y posteriormente se comunican con el conducto biliar formando un conducto común, el cual descarga en la parte anterior del intestino. La vesícula biliar almacena ácidos biliares y álcalis que efectúan la emulsificación de los lípidos y la neutralización de la acidez producida en el estómago. Las sales biliares también colaboran en la digestión y absorción de los lípidos y de las vitaminas liposolubles.

2.7.3 Ciegos pilóricos

En truchas los ciegos pilóricos aparecen como extensiones del intestino a nivel del píloro, en donde se ha encontrado la enzima lactasa. En los ciegos pilóricos y en el intestino de la carpa se ha detectado una gran actividad de sacarasa. También secretan lipasa que desdobla las grasas en ácidos grasos y glicerina y en sustancias más simples que pueden ser absorbidas en el tracto intestinal.

2.7.4 Secreciones enzimáticas

En los peces existen a lo largo de todo el sistema digestivo diferentes puntos de secreciones enzimáticas, la ubicación de éstas depende del hábito alimenticio de cada especie y de su grado de evolución.

Las enzimas secretadas por el intestino delgado, así como las secreciones pancreáticas y biliares que vierten en esta parte del tubo digestivo, trabajan mejor en un margen de pH que oscila entre neutro y alcalino. Las diferentes proteasas que afectan las ligaduras terminales e internas que unen a los aminoácidos de las proteínas son secretadas, ya sea por la mucosa intestinal, por el páncreas o por los ciegos pilóricos.

Las enzimas intestinales son secretadas en la forma inactivada de zimógenos que luego en la luz del intestino, por diferentes cambios químicos durante la digestión, son activadas por la enteroquinasa; esta adaptación previene la autodigestión de la mucosa intestinal.

Otras enzimas presentes en el intestino y en el jugo pancreático de los peces son las carbohidrasas que digieren carbohidratos específicos. En tilapia, p. ej., la actividad de la amilasa, responsable de la hidrólisis del almidón en glucosa y maltosa está distribuida a lo largo del tracto gastrointestinal. Los carnívoros presentan limitada secreción de amilasa en el tracto intestinal, apenas suficiente para digerir una pequeña cantidad de carbohidratos, lo que explica la reducida digestibilidad o aprovechamiento del almidón y de la dextrina conforme aumenta su concentración en las dietas. La actividad de la amilasa es mayor en peces herbívoros y omnívoros (Hidalgo *et al.*, 1999), sin embargo, esta puede ser inactivada cuando se combina con almidón crudo, dextrina y albúmina, presentes en algunos cereales. Por tal razón, el precocimiento o la extrudización de algunos granos y cereales como el maíz, el sorgo, salvados de trigo y de arroz, entre otros ingredientes comunes en dietas para peces, promueve la gelatinización del almidón y destruye la albúmina; también se mejora su digestibilidad especialmente para especies carnívoras (García-Gallego *et al.*, 1994). Algunas especies omnívoras como las carpas pueden compensar la inactivación de la amilasa aumentando su secreción 3-4 veces más que lo normal.

Otras carbohidrasas encontradas en el tracto intestinal de los peces herbívoros, omnívoros y carnívoros son: glucosidasas, maltasas, sacarasas, lactasas y celobiasas. La actividad de la celulasa, enzima que hidroliza la celulosa y hemicelulosa, cuando se ha encontrado presente está asociada a la microflora intestinal compuesta por areobios, microaróﬁlos e anaerobios facultativos, como en el caso del panaque (*Liposarcus* sp) (Nelson *et al.*, 1999).

3. EXIGENCIAS DE NUTRIENTES Y NIVELES EN DIETAS PARA CRECIMIENTO

Producto del reciente desarrollo y perfeccionamiento en las técnicas de cultivo de peces, particularmente en lo relativo a manejo de los planteles de reproductores, reproducción inducida, incubación y manejo de larvas y alevinos, la producción por acuicultura ha aumentado en altos porcentajes durante los últimos años, pasando de 13.13 millones de toneladas en 1990 para 28.27 millones en 1997 (FAO, 1999). En la actualidad se cultivan en el mundo más de 300 especies de peces utilizando para ello estrategias de alimentación y dietas prácticas que buscan atender de la manera más precisa los requerimientos nutricionales específicos de cada una de ellas.

De esta manera, la continua expansión y mejoramiento en la eficiencia de la producción acuícola exige permanentes avances en lo relacionado con la formulación de dietas y con los procesos tecnológicos de fabricación de los alimentos comerciales. Sin embargo, para que este desarrollo sea efectivo deben ser considerados, de un lado, los requerimientos nutricionales de la especie cultivada en cuanto a energía, proteínas, lípidos, vitaminas y minerales y de otro, la disponibilidad de las materias primas, su costo y su digestibilidad.

3.1 PROTEÍNA

De todos los compuestos que hacen parte del cuerpo de los animales, la proteína es el más importante por varias razones: es el constituyente básico de las células, representa después del agua el grupo químico más abundante en ellas, como nutriente es utilizado como fuente de energía y para el crecimiento. Como ingrediente en dietas artificiales es el componente más costoso.

Numerosos trabajos han sido realizados para evaluar los requerimientos nutricionales para la mayoría de las especies de peces de cultivo, especialmente encaminados hacia la determinación de los niveles óptimos de proteína en las dietas y el balance más eficiente de aminoácidos esenciales. Los niveles de Proteína Bruta (PB) requeridos para un óptimo crecimiento varían en las diferentes especies con las condiciones de cultivo, condiciones ambientales y estado fisiológico y de desarrollo de los individuos (Elangovan y Shim, 1997); también con los niveles de los otros nutrimentos no proteicos presentes en la dieta. Cuando hay desequilibrio entre la proporción de proteína y las demás fuentes de energía, carbohidratos y lípidos, esta es metabolizada para producir energía en detrimento de su deposición en los tejidos (Samantaray y Mohanty, 1997).

No siempre una ración con alto contenido de proteína promueve el mejor desempeño productivo de los peces; **más importante que la cantidad es su calidad, la cual está determinada por el contenido de aminoácidos, puesto que son estos los que finalmente serán depositados en los tejidos en la forma de nuevas proteínas (Kim, 1997).** Los aminoácidos son las unidades constitu-yentes de las proteínas, y por lo mismo, esenciales para la formación y regeneración de tejidos diversos tales como músculos, huesos, piel, células sanguíneas, enzimas, productos sexuales, etc.

Existen dos grupos de aminoácidos: los esenciales y los no esenciales. Los primeros no pueden ser sintetizados por los peces o si lo hacen, es en pequeñas cantidades, insuficientes para satisfacer sus exigencias. De esta forma los peces, igual que los animales terrestres y las aves, deben obtener tales aminoácidos del alimento que consumen. En el caso de los peces, este puede ser natural como por ejemplo plancton, larvas y formas juveniles de insectos, pequeños peces y muchos otros organismos, o artificial, en el caso de raciones artificiales, suplementarias o completas. Los aminoácidos no esenciales pueden ser sintetizados por el organismo en las cantidades que lo requiera, por lo tanto no representan problema desde el punto de vista de la nutrición. De esta forma los peces, **más que requerimientos específicos de proteína, tienen requerimientos para niveles de los Aminoácidos Esenciales (AAE)** (King *et al.*, 1996).

De los alimentos disponibles, normalmente utilizados para la fabricación de raciones para peces, no todos poseen un balance adecuado de AAE. En la tabla 1 se observa que la harina de plumas con 82% de PB, presenta un pésimo equilibrio en AAE siendo deficiente en lisina, metionina, fenilalanina y triptofano mientras que por ejemplo la torta de soya que tan solo contiene 45% de PB, presenta un mejor balance de AAE, apenas deficiente en metionina; por esta razón se considera a la torta de soya una proteína de alto valor biológico o, dicho de otra forma, de alta calidad nutricional. La harina de sangre es otro ejemplo; a pesar de contener cerca de 72 % de PB, es deficiente en isoleucina y metionina y además tiene baja digestibilidad. En cambio la harina de pescado, que normalmente

TABLA 1. Exigencias en proteína bruta (PB), aminoácidos esenciales y energía digestible (DE) de cuatro especies de peces comerciales y porcentajes de PB, DE y composición en aminoácidos (% de la PB) de algunos ingredientes de uso común en la fabricación de raciones peces (Adaptado de NRC, 1983)

	Productos vegetales			Subproductos vegetales			Harinas de productos animales					Exigencias nutricionales para:			
Nutriente	Maíz	Sorgo	Arroz	Torta soya	Torta algo-dón	Gluten de maíz	Pez	Carne y huesos	San-gre	Vísceras de aves	Plu-mas	Trucha	Carpas	Bagres	Tila-pia
Proteína	8.5	8.8	12.8	45	38	58	55	40	72	59	82	38	35	32	32
DE kcal/kg	2200	2200	2500	3010	3100	4260	4100	3000	3200	3500	3200	3600	3200	3200	3000
P disp(%)	0.07	0.07	0.07	0.19	0.35	0.11	1.73	3.21	0.30	1.28	0.46	0.6	0.6	0.45	0.5
Arginina	5.06	3.73	4.92	7.57	9.64	3.33	5.92	6.74	4.20	6.80	6.78	3.95	3.74	3.75	3.69
Histidina	3.06	2.22	1.33	2.66	2.02	2.16	2.25	1.92	5.76	1.83	0.74	1.84	1.83	1.31	1.50
Isoleucina	4.12	4.76	2.73	4.53	2.79	4.18	4.12	2.86	1.09	3.85	4.38	2.37	2.17	2.28	2.72
Leucina	14.2	12.9	5.47	7.79	4.37	16.8	6.95	6.00	13.13	6.88	7.79	3.68	2.86	3.06	2.97
Lisina	2.94	2.83	4.06	6.36	4.59	1.83	7.32	5.34	8.35	5.13	2.20	4.74	4.97	4.47	4.47
Metionina	2.00	2.42	1.56	1.27	1.21	2.69	2.71	1.30	1.21	1.84	0.66	1.84	1.88	1.40	1.97
Fenila-lanina	5.65	4.85	3.36	4.96	5.10	6.52	4.20	3.40	6.64	3.52	4.54	4.74	5.66	4.38	4.84
Treonina	4.12	3.43	2.66	3.97	2.48	3.41	4.50	3.30	4.22	1.57	4.55	2.11	3.40	1.75	3.28
Triptófano	0.94	10.1	0.78	1.43	1.02	0.71	1.19	0.60	1.17	0.77	0.62	0.53	0.69	0.44	0.88
Valina	5.18	5.25	5.63	4.51	4.08	5.09	6.67	4.90	8.39	4.79	7.78	3.16	3.14	0.84	2.44

contiene entre 55 y 60 % de proteína, presenta un perfil de aminoácidos óptimo ligeramente bajo en fenilalanina y de alta digestibilidad, pero tiene el inconveniente de ser altamente costoso como materia prima para la fabricación de raciones.

Altos niveles de proteína en la dieta, aún tratándose de proteína de buena calidad, superiores a los requerimientos para una especie en particular, son inconvenientes por razones de costo, de un lado y por razones de eficiencia de aprovechamiento, de otro, además de los problemas ambientales que un exceso de este nutriente causa en el medio acuático. Se ha observado que la velocidad de crecimiento y la eficiencia de utilización del alimento están correlacionadas, hasta un nivel óptimo, con el nivel de proteína de la ración y con la proporción proteína: energía (Aksnes *et al.*, 1996). Con el aumento de los niveles de proteína en la dieta el PER (Tasa de eficiencia proteica) disminuye substancialmente como ha sido observado en cachama blanca (Vásquez-Torres *et al.*, 1999) y en diferentes especies de peces (Elangovan y Shim, 1997); cuando los niveles están por encima del óptimo, también disminuye significativamente la conversión alimentaría, posiblemente debido a un desvío en la utilización de la proteína para producción de energía a través de procesos de desaminación o por excreción de los aminoácidos absorbidos en exceso.

Por ejemplo, la tilapia comparada con otras especies de peces, exhibe una tasa máxima de crecimiento cuando es alimentada con dietas bajas en proteína bruta, menores de 30% (NRC, 1993). Twibell y Brown (1998) encontraron resultados similares, indicando que 28% de PB en la dieta era suficiente para tilapias criadas en estanques, señalando además que tales necesidades eran inversamente proporcionales al tamaño del animal. Vásquez-Torres (2001) determinó que 31.6% era el nivel óptimo para crecimiento de juveniles de cachama blanca, siendo que con mayores contenidos la tasa de crecimiento era menor.

3.2 Lípidos

Los peces requieren lípidos en la dieta, para utilizarlos como fuentes de energía metabólica y de ácidos grasos esenciales. Los componentes básicos de las grasas y aceites son los ácidos grasos y el glicerol. Algunos de estos ácidos son considerados esenciales (EFA) porque al igual que los AAE, el pez no los puede sintetizar y cuando consigue hacerlo, lo hace en cantidades que son insuficientes para cubrir sus necesidades; por tanto, deben obtenerlos directamente de los alimentos ingeridos.

Para un normal crecimiento y sobrevivencia, las exigencias de estos ácidos son bastante diferentes entre especies, ya que algunos tienen necesidades específicas de uno u otro grupo, en tanto que otras tienen capacidad para aumentar y modificar cadenas cortas para atender sus requerimientos (Alava y Kanazawa, 1996). Peces de agua fría como las truchas y el salmón, requieren principalmente ácidos grasos poli-insaturados de la familia *w*-3, tales como el linolénico (18:3w-3), eicosapentanoíco (20:5w-3) y docosahexaenoico (22:6w-3), abundantes en los organismos planctónicos y en los productos de origen marino en general (Tacon, 1987). Igual que la mayoría de los animales terrestres las tilapias, típicamente peces de aguas tropicales, requieren únicamente de ácidos grasos de la serie *w*-6 como el linoleico (18:2w-6) y el araquidónico (20:4w-6) presentes en los aceites de origen vegetal. También se observado que algunos peces tropicales de agua dulce como las carpas y el bagre de canal, requieren de las dos series (Kanazawa, 1988).

Fisiológicamente los ácidos grasos constituyen la principal fuente de combustible aerobio para el metabolismo energético del músculo de los peces. De igual manera los fosfolípidos, que son el segundo grupo de lípidos más abundante después de los triglicéridos, hacen parte de la estructura celular y son fundamentales en el mantenimiento de la integridad y funcionamiento de las biomenbranas (Watanabe, 1988).

Como ingrediente para raciones de peces, los lípidos son nutrimentos de bajo costo y de todos, los que tienen mayor contenido de energía; el valor energético global comparativo es: lípidos 9.5 = kcal/g >proteínas = 5.5 kcal/g >carbohidratos = 4.1 kcal/g. Sin embargo, desde el punto de vista industrial, altos niveles de grasas en la dieta pueden causar problemas durante el proceso de peletización y también producir rancidez en raciones almacenadas por mucho tiempo. Otros efectos negativos de cantidades excesivas en dietas son:

- Disminución del consumo de alimento afectando directamente el crecimiento del pez (Shiau y Lan, 1996).

- Alteración de los procesos de digestión y asimilación de estos y efectos adversos sobre la calidad de la carcaza y la composición corporal por excesiva deposición de grasas (Hanley, 1991 y Grisdalle-Helland y Helland, 1997).

Chou y Shiau (1996) determinaron que para las tilapias eran necesarios 12 % de lípidos en la dieta para generar máximo crecimiento; niveles mayores del 15% afectan negativamente el crecimiento y la eficiencia de la utilización de la proteína y también aumentaban la proporción de grasa en la carcaza. Vásquez-Torres (2001) demostró que 4% de lípidos con cualquier combinación de carbohidratos entre 20 y 36%, generaban óptimo crecimiento y aprovechamiento de la proteína en juveniles de cachama blanca mientras que, con niveles entre 8 y 12 % de lípidos, su desempeño productivo se reducía drásticamente.

3.3 Carbohidratos

No ha sido demostrado con exactitud cuáles son los requerimientos de carbohidratos para peces (Wilson, 1994). Sin embargo, se sabe que si no están presentes en la dieta, la proteína, los AAE, los AGE y algunos metabolitos intermediarios en la síntesis de compuestos biológicamente importantes para el organismo, son catabolizados para producir energía. De esta forma es posible deducir que el uso de los carbohidratos en las dietas pueden contribuir para aumentar la eficiencia de uso de la proteína (Shiau, 1997), así como disminuir la excreción de nitrógeno producto del catabolismo de los aminoácidos y, consecuentemente, minimizar el impacto ambiental por reducción de la contaminación del agua devuelta al sistema (Aksnes *et al.*, 1996 y Grisdalle-Helland y Helland, 1997).

La inclusión de carbohidratos en las raciones de engorde debe tenerse en cuenta porque representan una fuente económica de energía dietética muy valiosa para aquellas especies no carnívoras (Gallaghier, 1997); además, porque su uso cuidadoso puede representar un ahorro en lo referente a la utilización de la proteína como fuente energética; igualmente, pueden ser empleados como ligantes para aumentar la estabilidad de los pelets en el agua y en algunos, casos para aumentar la palatabilidad del alimento.

Como ingredientes en dietas para peces los carbohidratos son nutrimentos de bajo costo, sin embargo, no siempre son aprovechados eficientemente por las diferentes especies de peces (Elangovan y Shim, 1997). Aparentemente el nivel apropiado de carbohidratos en dietas es generalmente bajo y varía entre especies. De acuerdo con Furuichi (1988) su proporción puede oscilar entre 30-40% para omnívoros y entre 10 y 20% para carnívoros. Para la cachama Vásquez-Torres (2001) observó alta eficiencia de utilización con niveles dietéticos de hasta de 36%. Con todo, se ha observado que los diversos tipos de carbohidratos son utilizados de manera diferente entre especies; por ejemplo carbohidratos complejos como el almidón y la dextrina, son considerados de alta digestibilidad únicamente para algunas especies omnívoras (Tacon, 1987).

La actividad intestinal de la amilasa que es responsable por la hidrólisis de estos carbohidratos es mayor en peces omnívoros como tilapias, carpas y bagre de canal en comparación con peces carnívoros como la trucha, la anguila y los salmones; por esa razón en estos últimos, altos niveles de carbohidratos disminuyen el crecimiento, aumentan la concentración de glucógeno en el hígado y eventualmente pueden causar la muerte. Los omnívoros, por el contrario, han demostrado tener mayor tolerancia a altos niveles dietarios, usándolos como eficientes fuente de energía, y en el caso de excesos, almacenándolos en la forma de lípidos (Shiau, 1997).

Erfanullah y Jafri (1998) observaron que carpas alimentadas con dietas con 27-36% de carbohidratos producían mejores resultados en cuanto a ganancia de peso, conversión alimentaria, retención de nutrimentos y composición de la carcaza, que dietas con mayores contenidos de este nutrimento. La utilización y absorción de carbohidratos digestibles también puede ser afectada por el tamaño corporal, por la frecuencia de alimentación y por el nivel de fibra en la dieta (Shiau, 1997).

La mayoría de los peces cultivados no poseen en su tracto intestinal flora bacteriana abundante como para desarrollar actividad celulolítica. En consecuencia, la celulosa no tiene ningún valor energético para los peces y por eso un exceso en la dieta puede tener un efecto deletéreo sobre la eficiencia alimenticia y el crecimiento. Pereira-Filho *et al.* (1995) observaron que en el yamú (*Brycon* sp), una especie nativa omnívora, dietas con 20% de fibra contribuyeron a mejorar el aprovechamiento de la proteína de la dieta y tuvieron un efecto positivo sobre la composición de la carcaza.

3.4 ENERGÍA

Los animales en general, incluyendo los peces, comen para satisfacer sus necesidades energéticas tales como mantenimiento del metabolismo básico, actividades rutinarias, crecimiento, reproducción, etc., es decir, que la cantidad de alimento que es consumida por cada individuo es gobernada por la propia tasa metabólica. Por esta razón es necesario que los peces tengan un acceso no restringido al alimento, o bien que reciban una ración con una densidad energética adecuada que les permita cubrir todos sus requerimientos energéticos.

Desde el punto de vista de uso de la energía, los peces son más eficientes que las aves y los mamíferos por varias razones:

- No gastan energía para mantener la temperatura corporal, pues son ectotermos.
- Excretan los residuos nitrogenados en la forma de amonio, directamente por las branquias por un mecanismo de simple difusión, sin tener que recurrir a grandes gastos energéticos para transformarlo en ácido úrico o urea, caso de las aves y mamíferos, quienes además, los excretan vía urinaria.
- La forma hidrodinámica del cuerpo de la mayoría de los peces y su densidad corporal parecida a la del agua, les permite desplazarse con mucha facilidad en todas las direcciones dentro de este medio, con mínimo gasto energético.

Como fue dicho antes, los peces obtienen su energía catabolizando carbohidratos, lípidos y aminoácidos obtenidos del alimento; por ello es importante que las raciones contengan un nivel energético óptimo, ya que un exceso o defecto puede resultar en una reducción de las tasas de crecimiento (NRC, 1993). El exceso provocará una disminución en la ingestión del alimento y por otro lado, dará lugar a una deposición excesiva de grasas en el cuerpo del pez; al contrario, una dieta con una densidad energética baja, hará que el pez utilice los nutrimentos ofrecidos en la ración, básicamente proteína, para cubrir sus requerimientos de energía en lugar de canalizarlos para la síntesis de tejido nuevo, esto es, para crecimiento.

De manera general, las exigencias de energía de los peces son expresadas en términos de Energía Digestible (ED) que corresponde a la fracción de energía, del total contenido en el alimento (Energía Bruta, EB), que es absorbida por el organismo; la energía restante es excretada en la materias fecales. Debido a las diferencias en la eficiencia de digestión de los peces y a la diversidad de alimentos e ingredientes usados en la fabricación de raciones, los valores de energía digestible de los ingredientes, expresados en kcal/kg, varían de acuerdo con la especie de pez. En la tabla 2 se presentan los valores de energía digestible de algunos alimentos para el bagre de canal, los cuales pueden ser usados como referencia en la formulación de raciones para peces tropicales omnívoros, cuando no se conocen tales valores de los alimentos para cada especie en particular. Estos valores de ED también pueden variar en función de la calidad de los mismos alimentos, del tipo de procesamiento a que hayan sido sometidos para su obtención, como en el caso de las tortas y salvados y también, del tipo de mezclas y procesamiento que se hagan para la fabricación de las raciones (molienda, peletización, estrudización, etc).

La energía digestible de una ración generalmente es mayor cuanto más fino sea el tamaño de las partículas después de la molienda. El proceso de estrudización, por involucrar altas temperaturas, presencia de humedad y alta presión, resulta en una mayor desintegración de las partículas de alimento y en una mayor gelatinización del almidón, aumentando de esta manera la exposición de los nutrimentos a la acción de las enzimas digestivas de los peces. En el proceso de peletización la gelatinización del almidón ocurre en menor grado, por lo que la desintegración del alimento es menor que con la estrudización.

Hasta el momento existe muy poca información útil sobre requerimientos de energía en dietas artificiales para peces. Sin embargo, se tienen bien identificados los factores que influyen en el requerimiento energético. Algunos de estos son:

- Con el incremento de la temperatura del agua la tasa metabólica y consecuentemente, los requerimientos de energía para el mantenimiento, también aumentan.
- Los requerimientos energéticos son inversamente proporcionales al tamaño del animal.
- Los requerimientos energéticos aumentan durante los periodos de producción gonádica y actividad reproductiva, dependiendo del estado fisiológico.

- La calidad del agua y el estrés causado por factores como la contaminación, el aumento de la salinidad, bajas concentraciones de oxígeno disuelto y confinamiento excesivo, aumentan los requerimientos energéticos para mantenimiento.

3.4.1 Relación proteína/energía en dietas

Como fue expuesto antes el gasto energético asociado con el metabolismo de asimilación de proteína puede ser reducido por la presencia de lípidos y carbohidratos en la dieta (NRC, 1993); esta respuesta metabólica conocida como "efecto de economía de proteína" ha sido demostrada en muchas especies de peces (Beamish y Medland, 1986; Chou y Shiau, 1996; Shiau y Lan, 1996; Grisdalle-Helland y Helland, 1997 y Vásquez-Torres, 2001). En tales casos la partición metabólica de los componente dietarios entre deposición en la carcaza y catabolismo, depende de la composición de la dieta, de los contenidos de energía en la misma (Aksnes *et al.*, 1996) y también de las tasas de consumo de alimento. Según Shimeno *et al.* (1997) las restricciones en la cantidad de alimento suministrado a carpas, estimulan la movilización de ácidos grasos y de glucógeno y por consiguiente una alta tasa de gluconeogénesis y de catabolismo de los aminoácidos.

En general para que un pez alcance su máxima tasa de crecimiento, la tasa de deposición de proteína también tiene que ser máxima y esto solamente es posible cuando las dietas consumidas tienen energía y proteína de alta digestibilidad, en niveles y en proporciones adecuadas (Britz y Hecht, 1997). Desequilibrios en esta proporción por incrementos en la PB, conducen a procesos catabólicos de desaminación, es decir, a la utilización de los aminoácidos como fuentes de energía más que para deposición, deprimiendo de esta forma el crecimiento (Elangovan y Shim, 1997; Samantaray y Mohanty, 1997 y Erfanullah y Jafri, 1998).

Xie *et al.* (1997) demostraron que la tilapia presenta una baja eficiencia de crecimiento y una alta tasa de gasto metabólico de energía cuando es alimentada con raciones cuya proteína es de bajo valor biológico. Kim (1997) demostró que 24 % de PB proveniente de ingredientes de alta digestibilidad son suficientes para atender los requerimientos de aminoácidos esenciales para un óptimo crecimiento en la trucha; sugieren estos resultados que el nivel de 40% recomendado por la (NRC, 1993) incluye 24% para atender sus necesidades de AAE y 16% para atender sus necesidades de energía; de esta manera la trucha aparentemente solo requiere 24% efectivos de PB, siempre y cuando en la dieta existan otras fuentes de energía no proteica que substituyan la energía suministrada por la proteína (efecto de economía de proteína).

Para conseguir una tasa de crecimiento máximo es preciso determinar para cada especie en particular el umbral de la proporción proteína/energía (PB/E) necesaria para mantenerla; dichas relaciones han sido determinadas experimentalmente y de manera específica, solo para algunas especies (Tabla 2).

3.5 Minerales

Los minerales realizan diversas funciones dentro del organismo de los peces, entre otras se pueden destacar: formación de huesos y dientes, metabolismo energético, componentes de los fosfolípidos en las membranas celulares, coofactores enzimáticos en diversos procesos metabólicos, componentes de la hemoglobina, equilibrio osmótico y balance ácido-base de la sangre, transmisión de impulsos nerviosos, componentes de las hormonas tiroideas, componentes de las sales biliares, etc.

Los minerales exigidos por los peces pueden ser divididos en dos grandes grupos: los macrominerales necesários en mayores cantidades como calcio, fósforo, magnesio, potasio, cloro y sodio y los microminerales, exigidos en pequeñísimas cantidades como hierro, manganeso, zinc, cobre, yodo y selenio.

Las exigencias de calcio de los peces pueden ser total o parcialmente satisfechas por la absorción de calcio directamente del agua. De otro lado, normalmente los ingredientes usados en las raciones contienen suficiente calcio para atender las exigencias de los peces, no habiendo, por tanto, mayores preocupaciones en cuanto al balanceamiento de este mineral en las raciones. Otros minerales como el fósforo y la mayoría de los microminerales están presentes en muy pequeñas cantidades en el agua, insuficientes para cubrir las necesidades de los peces, razón por la cual deben ser administrados junto con los alimentos.

TABLA 2. Proporciones de Proteína Bruta Vs. Energía Digestible determinados para algunas especies de peces.

Relación P/E (mg PB/kcal)	Especie	Referencia
90.9	*Channa striata* (murrel da india)	(Samantaray y Mohanty, 1997)
60.7-133.9	*Oreocrhomis niloticus* (tilapia)	(Jauncey, 1982)
93.8	*O. Niloticus* x *O. aureus* (Tilapia roja)	(Chou y Shiau, 1996)
81-97	*Ictalurus punctatus* (Catfish)	(NRC, 1993)
103.0	*Oreochromis niloticus* (Tilapia)	(NRC, 1993)
108.0	*Cyprinus carpio* (Carpa común)	(NRC, 1993)
105.0	*Salmo gairdneri* (trucha arcoiris)	(NRC, 1993)

P= Proteína E= Energía

De los ingredientes comúnmente usados en la fabricación de raciones, los de origen animal, como las harinas de carne y hueso y las harinas de peces, son buenas fuentes de minerales. Los ingredientes de origen vegetal como las tortas y las harinas, son muy pobres en minerales y por esta razón casi siempre es necesaria la suplementación de las raciones fabricadas con estos ingredientes, con fuentes adicionales de fósforo y mezclas de minerales (premezclas de macro y microminerales).

3.6 VITAMINAS

Los peces necesitan de las mismas vitaminas exigidas por los otros animales. Estas son agrupadas en dos: las liposolubles como las vitaminas A, D, E y K, y las hidrosolubles, que comprenden las vitaminas C, B_1, B_2, B_6, B_{12}, ácido pantoténico, niacina, ácido fólico, colina e inositol. De manera general las vitaminas son consideradas compuestos esenciales; actúan como componentes o coofactores enzimáticos en diferentes procesos metabólicos (metabolismo energético, de aminoácidos, síntesis de proteínas, oxidación y síntesis de ácidos grasos y triglicéridos, síntesis de hemoglobina y de las células sanguíneas, transmisión de impulsos nerviosos, etc.) y presentan acciones fisiológicas específicas esenciales para el crecimiento, reproducción y salud de los peces. Las deficiencias vitamínicas generalmente se manifiestan en enfermedades irreversibles. Una buena parte de las vitaminas se encuentran presentes en la mayoría de los ingredientes comúnmente utilizados en la fabricación de raciones, especialmente en las harinas de pescado, tortas, aceites vegetales, granos y cereales y sus subproductos; sin embargo, es recomendable la utilización de suplementos vitamínicos para garantizar niveles mínimos en raciones comerciales.

3.7 PARÁMETROS UTILIZADOS PARA MEDIR LOS EFECTOS DE DIETAS EN PECES

En la literatura se pueden encontrar diversas descripciones de las metodologías para evaluar los efectos de la dietas de peces. Además del crecimiento en peso o ganancia de peso vivo (GPv), como criterios para determinar los requerimientos de macro y micronutrientes se usan otros indicadores menos comunes, tales como determinación de las tasas de excreción de amonio (Cai *et al.*, 1996), oxidación de aminoácidos de la dieta y determinación de la composición de aminoácidos libres presentes en una muestra de tejido específico.

Los requerimientos de nutrimentos también son estimados a partir de curvas de regresión construidas con datos de ganancia de peso o eficiencia del alimento en función del nutriente administrado, tomando como nivel óptimo el punto de inflexión en la curva de crecimiento observada (Chou y Shiau, 1996; Shiau y Lan, 1996; Kim, 1997 y Ruchimat *et al.*, 1997).

Otros parámetros usualmente utilizados para evaluar la eficiencia de las dietas son:

- **Tasa de Conversión de alimento FCR** = *Alimento consumido(g)/ GPv (g)*, (O factor de conversión de alimento, indica cuanto alimento se ha suministrado para cada unidad de peso ganado).

- **Tasa específica de crecimiento *SGR*** = *100*[LnPf - LnPi)]/t días* (Estima la tasa de crecimiento diario o ganancia media de peso, por día).
- **Eficiencia de utilización de proteína *PER*** = *[GPv/PB consumida (g)]* (Indica cuanto se ha ganado en peso vivo por unidad de proteína consumida).
- **Valor de producción de proteína *PPV*** = *100*[PBf - PBi]/PB consumida* (Indica que porcentaje de la proteína total consumida, ha quedado retenida en la carcaza).
- **Porcentaje de retención de energía *%ER*** = *100*[EBf-EBi]/EB consumida (kcal/100 g)* (Indica que porcentaje de la energía total consumida, ha quedado retenida en la carcaza).

donde:

LnPf	=	logaritmo natural del Peso final
LnPi	=	logaritmo natural del Peso inicial
PBf	=	proteína Bruta final en la carcaza
Pbi	=	proteína Bruta inicial en la carcaza
EBf	=	energía Bruta final en la carcaza
EBi	=	energía Bruta inicial en la carcaza

En muchos casos los efectos también se evalúan a través de análisis centesimal de composición corporal, según métodos estándar de la AOAC (1984) que comprenden: determinación de nitrógeno proteico por el método de microkjendahl (N x 6.25), lípidos por extracción con éter de petróleo y las cenizas por incineración a 450°C. Los valores de energía bruta son obtenidos usando bomba calorimétrica.

4. MÉTODOS DE ALIMENTACIÓN

4.1 EL ALIMENTO NATURAL EN LA NUTRICIÓN DE LOS PECES

En el ambiente natural los peces consiguen balancear sus dietas, escogiendo entre los diversos alimentos disponibles los que mejor satisfagan sus exigencias nutricionales. En estas condiciones raramente se observarán señales de deficiencias nutricionales.

En general, los alimentos naturales consumidos por los peces poseen alto valor energético, presentan altos niveles de proteína de excelente calidad y se constituyen en importantes fuentes de vitaminas y minerales. En la tabla 3 se presentan la composición proximal y el valor energético de algunos organismos que sirven como alimento natural a los peces.

Todos los organismos, plantas y animales que viven en un estanque forman la biocenosis del estanque y pueden servir como alimento para varias especies de peces. Esos organismos interactuan unos con otros, especialmente a través de la relación presa - predador compitiendo por el espacio, por el alimento, etc. De esta manera se generan cadenas de alimentos o niveles tróficos que forman una pirámide de alimentación en la que la biomasa del nivel trófico más bajo, especialmente productores primarios, es mucho más grande que las de los niveles superiores, los consumidores.

Como alimento para peces la biocenosis de cualquier cuerpo de agua puede ser dividido en varios grupos de acuerdo con su naturaleza (vegetal o animal) y con su tamaño. En la figura 3 se muestran ocho grupos que ordenados por tamaño comprenden, fitoplancton, perifiton y macrófitas, entre los vegetales; zooplancton, zoobentos, necton de pequeño tamaño (insectos acuáticos, larvas de mosquitos, etc.) y peces, entre los animales (Hepher, 1988).

El detritus, constituido por partículas orgánicas no vivas, suspendidas en el agua o acumuladas en el fondo, también ha sido incluido ya que, además de que puede servir como alimento, también puede estar poblado por un gran número de bacterias y protozoarios con alto valor nutricional.

Cada especie de pez puede alimentarse de una cierta porción de la biocenosis. Esta porción que incluye todos los organismos que el pez puede consumir, conforma su base trófica o de alimentación, la cual es determinada por sus hábitos de alimentación y por la anatomía de su sistema digestivo, como fue expuesto anteriormente. La base

TABLA 3. Análisis proximal y valores energéticos de los principales grupos de organismos del alimento natural presente en el agua de los estanques de peces.

Alimento natural	MS	Composición de la Materia Seca (% MS)				
	(%)	PB	Lípidos	Cenizas	ENN	EB (Kcal/kg)
Fitoplancton	14-22	17-31	4-10	27-47	-	2200-3800
Vegetación acuática	15.8	14.6	4.5	13.9	-	3900
Rotíferos	11.2	64.3	20.3	6.2	-	4900
Oligoquetos	7.3	49.3	19.0	5.8	-	5600
Artemia (Anostraca)	11.0	61.6	19.5	10.1	-	5800
Cladóceros	9.8	56.5	19.3	7.7	28.2	4800
Copépodos	10.3	52.3	26.4	7.1	9.2	5500
Insectos	23.2	55.9	18.6	4.9	20.1	5100
Chironomides (larvas)	19.1	59.0	4.9	5.8	22.5	5000
Moluscos	32.2	39.5	7.8	32.9	7.5	3900

PB = Proteína Bruta; ENN = Extracto No Nitrogenado; EB = Energía Bruta
(Adaptado de Hepher, 1989)

trófica de un pez puede cambiar a través de las diferentes etapas de su desarrollo. Por ejemplo muchas especies de pez durante el estado larval y pre-alevinaje se alimentan básicamente de zooplancton, aun cuando su hábito alimenticio definitivo sea herbívoro. Por esta razón la utilización del alimento natural en piscicultura es mayor durante las fases iniciales de desarrollo de la mayoría de peces y durante la precría, de especies de hábito planctófago como tilapias, carpas y cachama negra, entre otras.

La importancia del alimento natural en la producción de peces disminuye con el aumento de la biomasa por unidad de área; cuanto mayor sea la biomasa menor será la cantidad de alimento natural disponible para cada pez, aumentando la necesidad de alimento suplementario para el mantenimiento de la tasa de crecimiento deseada. En condiciones de cultivo en estanques con baja renovación de agua y bajas densidades de biomasa, cerca de 30-40 % de la ganancia de peso de las tilapias, 15 –20% en las carpa común y cerca de 10% del bagre de canal, pueden ser atribuidos al aprovechamiento del alimento natural.

Especies carnívoras como el bagre de canal, el tucunaré y algunos bagres nativos, no encuentran mucho alimento natural aprovechable en los estanques; aun para peces omnívoros como las cachamas, los *Brycon* spp (yamú, sabaleta, dorado), las carpas, la tilapia, etc. en condiciones de cultivo intensivo en estanques con alto recambio de agua o en jaulas, la contribución del alimento natural es muy pequeña, habiendo por lo tanto, necesidad de alimentar con raciones artificiales balanceadas con todos los nutrimentos que la especie requiere.

4.2 Estrategias de alimentación

La necesidad de obtener productos piscícolas de buena calidad, en el menor tiempo posible y con costos económicamente viables, son los objetivos de la acuicultura. Esto conlleva una buena planificación de la alimentación que asegure que la especie cultivada aproveche de la forma más eficiente el alimento disponible, tanto natural como artificial. A continuación se describen algunos métodos u opciones de alimentación disponibles para el criador de peces.

4.2.1 Alimento natural

En este sistema básico de cultivo, el crecimiento de los peces depende totalmente del consumo de animales vivos y de plantas, presentes en forma natural en el cuerpo de agua del estanque o depósito donde se cultivan los peces.

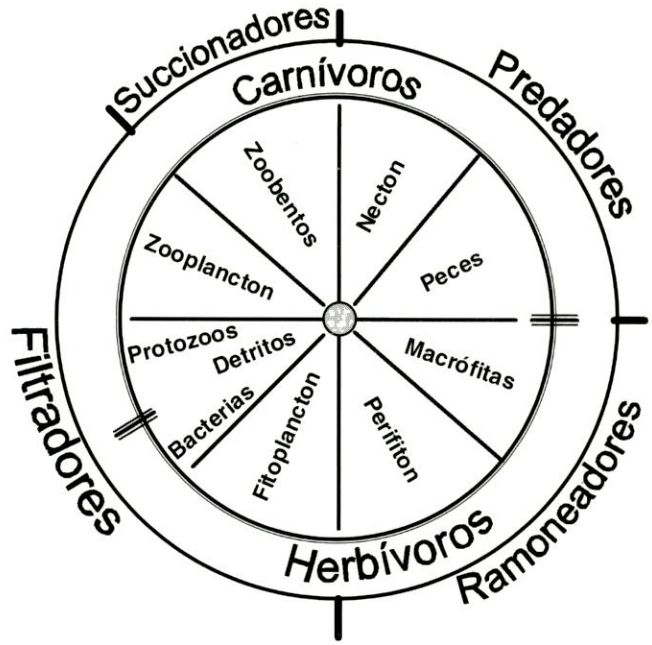


FIGURA 3. División de la biocenosis de un estanque, como alimento natural para peces, en grupos de organismos de acuerdo con su naturaleza y su tamaño (Adaptado de Hepher, 1988).

El crecimiento varía en función de la productividad natural del agua utilizada y también de la densidad de biomasa total de las especies cultivas en dicho sistema; de esta manera el crecimiento incrementará con el aumento de la productividad y decrecerá al aumentar la densidad de carga. Esta estrategia de alimentación se emplea generalmente en sistemas de cultivo extensivo, a bajas densidades de carga.

4.2.2 Fertilización

Con el objeto de incrementar la producción de alimento vivo, animales y plantas en un cuerpo de agua se utilizan compuestos orgánicos e inorgánicos denominados fertilizantes; estos sirven como el primer recurso esencial de nutrientes para la cadena de alimentación natural residente dentro del cuerpo de agua. De esta manera se aumenta la producción de peces y la capacidad de cultivo del sistema (Tacon, 1988).

Los fertilizantes inorgánicos que se usan en acuicultura son los mismos que se usan en agricultura. Básicamente contienen nitrógeno (en la forma de N) , fósforo (en la forma de P_2O_5) y potasio (en la forma de K_2O), en variables proporciones. Un fertilizante grado 20-20-5, indica que tiene 20% de N, 20% de P y 5 % de K. Los fertilizantes inorgánicos actúan principalmente sobre las cadenas alimenticias autótrofa y de pastoreo por estimulación directa de la producción de fitoplancton en el estanque; su aprovechamiento variará, dependiendo del hábito alimenticio y de la densidad de biomasa de las especies cultivadas.

Entre los fertilizantes orgánicos que se usan se incluyen los excrementos de animales, los fertilizantes verdes (desechos de plantas verdes recién cortados) y subproductos de la agricultura, frescos o ensilados. Todos ellos son fácilmente disponibles, son muy económicos y contienen nutrientes en importantes cantidades. Estos fertilizantes se aplican principalmente para estimular la cadena alimenticia heterotrófica de los cuerpos de agua. La materia orgánica aplicada sirve principalmente como un substrato para el crecimiento de bacterias y protozoarios, los cuales a su vez sirven como alimento para otros organismos mayores, incluyendo los peces.

La estrategia de alimentación incrementando la productividad acuática a través de la fertilización, también es típico de sistemas extensivos y semiintensivos de cultivo de peces.

4.2.3 Dietas suplementarias

Cuando la densidad de los peces, así como las metas de producción, son tales que la productividad del cuerpo de agua por si solo o aun con fertilización, no es suficiente para sostener en forma adecuada el crecimiento de los animales, entonces se hace necesario el suministro de una dieta suplementaria exógena, la cual es ofrecida en forma directa como un recurso suplementario de nutrientes para los animales en crecimiento; en este sistema, los requerimientos dietéticos de los organismos en cultivo son satisfechos por una combinación de alimento natural y alimento suplementario. La ventaja de combinar dietas suplementarias con fertilización, es que permite el uso de mayores densidades de siembra de peces, favorece un rápido crecimiento y en consecuencia, resulta en rendimientos más altos.

Los alimentos suplementarios normalmente consisten de subproductos animales o vegetales de bajo costo. Estos pueden ser suministrados solos, frescos o no procesados o en combinaciones con otros materiales alimenticios, en la forma de mezclas o manufacturados como gránulos o pellets.

Esta estrategia de alimentación es típica de un sistema de producción semiintensivo. Desde luego que los beneficios dependerán de la composición y forma física del alimento empleado, de la densidad de siembra de los organismos cultivados y de la productividad natural del estanque.

4.2.4 Dietas completas

En contraste con las estrategias anteriores, en donde las especies cultivadas derivan todo o substancialmente gran parte de sus requerimientos nutricionales del alimento natural que se encuentra disponible en los estanques, la alimentación con dietas completas implica la provisión externa de un alimento de alta calidad, nutricionalmente completo y con un perfil de nutrientes predeterminado. Estas dietas se suministran secas, peletizadas o extrudizadas y consisten de una combinación de diferentes alimentos cuyo contenido de nutrientes totales se acerca mucho a los requerimientos o exigencias nutricionales conocidas para la especie en cultivo, bajo condiciones de máximo crecimiento (Tacon, 1988).

La estrategia de alimentación con dietas prácticas o completas es utilizada en sistemas de cultivo intensivos, a altas densidades de siembra, en condiciones de agua clara, en tanques de cemento o canales de corriente rápida y en jaulas flotantes dentro de cuerpos de agua abiertos; se asume que la productividad natural del estanque o cuerpo de agua utilizado no proporciona ninguna clase de beneficio a este tipo de cultivo.

El éxito de la estrategia de alimentación con dietas completas es un equilibrio de los siguientes factores:

- Las características nutricionales de la dieta formulada (selección de ingredientes, nivel de nutrientes, digestibilidad, etc.).
- Los procesos de manufactura usados para producir las raciones y las características físicas de la dieta resultante (peletizado en frío, a presión, al vapor; secado al aire, extrudizado, tamaño del grano, color, textura, estabilidad en el agua, etc.).
- El manejo y almacenamiento de las dietas manufacturadas antes de ser usadas en la granja (tiempo y condiciones de almacenaje en cuanto a temperatura, humedad, sol, ventilación).
- El método de alimentación empleado (suministro manual, mecanizado, frecuencia y tasa de alimentación).
- Calidad del agua del sistema de cultivo (temperatura, oxígeno disuelto, pH, turbidez, recambios).

4.3 Formulación de dietas completas

El objetivo básico de la formulación de alimentos es encontrar una mezcla adecuada de ingredientes, de diferentes calidades nutricionales, capaz de ser procesada adecuadamente y que suministre todos los nutrientes exigidos para el crecimiento, reproducción y adecuada salud de los peces de una forma bien equilibrada (balanceada). La formulación de una dieta práctica es un compromiso entre lo que es ideal desde el punto de vista nutricional y lo que es práctico en términos económicos. Idealmente la formulación debe reflejar los requerimientos nutricionales del animal exactamente y sin exceso; sin embargo en la práctica, debido a que las exigencias de nutrientes así como

la digestibilidad de las materias primas no son suficientemente conocidas para las diferentes especies, a nivel de la industria tal concepto difícilmente puede ser cumplido en toda su extensión e por eso se trabaja para producir raciones de bajo costo, con "el mejor balanceamiento de nutrientes posible".

De cualquier manera, según Tacon (1988), los siguientes son algunos criterios o factores elementales que deben ser considerados en el proceso de formulación de raciones:

- **Comportamiento alimenticio y capacidad digestiva de las especies cultivadas.** Hábito alimenticio y dieta natural, rapidez y lugar (superficie, pelágico o fondo) con que consume el alimento, etc. Estos factores, junto con la unidad de producción propuesta (tanques de cemento, jaulas o estanques), definirán si se utiliza alimento flotante, de poca flotación o uno que vaya al fondo rápidamente y también determinará las propiedades físicas del alimento a ser producido (tamaño, forma, textura, palatabilidad, y estabilidad en el agua).

- **Exigencias nutricionales de la especie en cuestión.** Existen tablas y trabajos científicos especificando las exigencias nutricionales para algunos peces en cuanto a PB, AAE, AGE, vitaminas, minerales y energía. Cuando tales exigencias no están bien definidas, se debe tomar como base las exigencias nutricionales de especies con hábitos alimenticios lo más parecidos a la de la especie en cuestión.

- **Fase de desarrollo.** Las postlarvas, alevinos, peces en crecimiento y reproductores, tienen exigencias nutricionales diferentes.

- **Disponibilidad de alimento natural y nivel de producción que se desea**. Estas informaciones indican la necesidad de formular raciones completas o suplementarias.

- **Tipo de procesamiento al cual será sometida la ración**. Algunos procesos de granulación de los concentrados, como la peletización o la extrudización, exigen una combinación adecuada de ingredientes para que la ración pueda ser procesada de forma satisfactoria, sin que haya excesivo desgaste de los equipos o compromiso de la estabilidad de los gránulos durante el transporte, almacenamiento y principalmente, en el agua (tiempo de estabilidad).

- **Conocimiento de los ingredientes y sus limitaciones de uso**. La necesidad de procesamiento (molido, secado, extrudización, etc.) o adición de conservantes (antioxidantes, antimicóticos) a los ingredientes antes de la fabricación de las raciones debe ser considerado, así mismo la existencia de factores antinutricionales y toxinas; también es necesario conocer las limitaciones en cuanto a niveles de AAE y palatabilidad de las materias primas. Ingredientes con elevados contenidos de fibra bruta o de grasas, pueden deteriorar el rendimiento y la calidad de los procesos de manufactura de las raciones.

- **Restricciones máximas y mínimas de los ingredientes utilizados**. En términos de disponibilidad de nivel de nutrientes es posible que existan interacciones de tipo dietético entre ingredientes (antagonismos) o también problemas de intolerancia dietética en los peces cultivados.

- **Costo y disponibilidad de las materias primas**. Como fue dicho antes, la obtención de una mezcla nutricionalmente adecuada de buena palatabilidad, de fácil procesamiento y de menor costo es el principal objetivo de la formulación de dietas. Por esta razón el precio y la disponibilidad de los ingredientes deben ser cuidadosamente evaluados. En la actualidad existen programas de computadora que auxilian en la formulación de raciones de costo mínimo y en la toma de decisiones sobre la adquisición o no, de una determinada materia prima.

4.4 Manejo de la alimentación

De acuerdo con Kubitza (1997) se deben tener diversos cuidados en lo relacionado con el manejo o alimentación propiamente dicha, ya que a partir de la compra de la ración la responsabilidad pasa a ser del piscicultor, quien debe definir las mejores estrategias de alimentación. Se recomienda prestar especial atención a los siguientes aspectos de manejo:

- **Evaluación inicial de la calidad de los concentrados.** Revisar fecha de fabricación y periodo de validez; los aspectos físicos de la ración en cuanto a compactación, granulometría (el molido debe ser suficiente para dejar partículas muy finas), uniformidad en el tamaño de los gránulos o pellets y diámetro de acuerdo con la información presentada en la etiqueta del producto sobre el tamaño del pez para el que está recomendado el alimento; las raciones extrudizadas deben mantener su integridad y flotabilidad por varias horas y las peletizadas, estabilidad en el agua de por lo menos 20 minutos. Otro aspecto es el precio de la ración en comparación con el de otras marcas que presenten composición similar. Se debe tener mucha cautela con las raciones de muy bajo precio.

- **Almacenamiento de los concentrados.** Se deben almacenar sobre estibas de madera, en sitios secos, ventilados, protegido contra la irradiación directa, altas temperaturas, acción de insectos y roedores. Se debe tener control de las fechas de recepción de la raciones para no almacenar alimento por más de tres meses, aunque lo ideal es consumirlos antes de 30 días. Entre más fresco el alimento, mejor su valor nutricional.

- **Ajuste periódico de la granulometría.** El tamaño de los gránulos debe ser ajustado en función de la especie y del tamaño de los peces; alimentos para postlarvas y alevinos, como regla general, deben tener un tamaño de gránulos ligeramente inferior a 20% de la abertura de boca. El ajuste de tamaño de las partículas en función del crecimiento debe ser hecho periódicamente.

- **Ajuste en los niveles y frecuencia de alimentación.** Varios factores determinan el nivel y la frecuencia de alimentación de los peces en cultivo: la especie de pez, el tamaño y la edad, la temperatura del agua, el oxígeno disuelto y otros parámetros de calidad del agua. De manera general, en condiciones adecuadas de temperatura y de calidad de agua, entre cuatro y seis veces al día es necesario alimentar, a una tasa entre el 15-20% del peso vivo (PV), en la fase de larvicultura; de dos a tres veces y a una tasa del 3-5% PV, en la fase de alevinaje y recría y, de una a dos veces en la fase engorde, a una tasa del 1% PV. Algunos peces como por ejemplo la cachama poco se benefician de más de una a dos comidas al día durante la fase de engorde, mientras que en el caso de las tilapias, estas responden muy bien hasta con tres comidas diarias. Cuando se usan raciones peletizadas el manejo alimentario debe ser cuidadoso para no exceder las cantidades suministradas o por el contrario, suministrar un poco menos de los que los peces necesitan. Una vez definido el nivel de alimentación, esta se debe se ofrecida en las cantidades que correspondan a la biomasa de peces en el estanque, aumentando semanalmente entre 10 y 15% la cantidad de alimento. De todas maneras se deben hacer muestreos por lo menos cada 4-6 semanas para recalcular los valores de biomasa y ajustar los niveles de alimentación. Con las raciones extrudizadas es más sencillo controlar los niveles de alimentación. Alimentar los peces al máximo de su capacidad de consumo, aunque puede acelerar el crecimiento aumenta los riesgos de desperdicio de alimento; por otro lado niveles elevados de ingestión aceleran la velocidad de tránsito gastrointestinal, reduciendo la eficiencia digestiva y perjudicando la conversión alimentaria. Finalmente, los peces sobrealimentados tienden a depositar más grasa en la carcaza, desmejorando la calidad organoléptica de la misma.

- **Métodos de alimentación**. El suministro manual de alimento es muy eficiente en pequeñas granjas y es la forma más eficaz de promover la alimentación, pues facilita observar la voracidad y velocidad de consumo del alimento, lo cual da una idea del estado de bienestar de los peces. Cuando se usan raciones flotantes es más fácil ajustar la tasa de alimentación minimizando las pérdidas por no consumo. Cuando la granja es de gran porte es necesario utilizar sistemas de suministro mecanizados controlados manualmente, como tractores, camiones o boleadoras que dispersan grandes cantidades de alimento en muy poco tiempo. También se pueden utilizar alimentadores automáticos o dispensadores por demanda. Los primeros son controlados por mecanismos de reloj para distribuir alimento en horarios y cantidades cuidadosamente programadas. Como no hay un control sobre el comportamiento de consumo, existen riesgos de desperdicio de alimento en los casos de bajo consumo, poniendo en peligro la calidad del agua. Si el suministro es deficiente se producirá un bajo crecimiento y baja uniformidad en el tamaño de los peces. Los alimentadores por demanda son aquellos accionados por los propios peces cuando tienen apetito.

- **Horario y sitio para el suministro de alimento**. Es recomendable que los peces sean alimentados en horarios en los que la temperatura del agua sea aceptable y la concentración de oxígeno mayor al 50-60% del nivel de saturación; es necesario tener en cuenta que hay algunas especies que se alimentan mejor en horarios con baja luminosidad, al amanecer o al atardecer. El alimento debe ser distribuido en áreas de los estanques que faciliten

el acceso de los peces, libres de plantas acuáticas y con suficiente profundidad para permitir el libre movimiento de los animales durante la captura del alimento. Establecido un sitio y horario de alimentación, este debe ser mantenido de tal forma que los peces se acondicionen a una rutina de alimentación.

BIBLIOGRAFÍA

AKSNES, A.; T. HJERTNES y J. OPSTVEDT. 1996. Effect of dietary protein level on growth and carcass composition in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L). Aquaculture, 145: 225-233.

ALAVA, V. R. y A. KANAZAWA. 1996. Effect of dietary fatty acids on growth of milkfish *Chanos chanos* fry in brackish water. Aquaculture, 144: 363-369.

AOAC. 1984. Official methods for analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. 1108 p.

ARAUJO-LIMA, C. y M. GOULDING. 1997. So fruit a fish: Ecology, conservation, and aquaculture of the Amazon´s tambaqui. New York, Columbia University Press. 191 p.

ARIAS, J. A. y W. VÁSQUEZ-TORRES. 1988. Ampliación del conocimiento biológico de *Colossoma sp* (Characidae), en ambientes naturales de la cuenca del rio Meta (Colombia). Villavicencio, Universidad de los Llanos/Colciencias.

BARDACH-LAGER, M. P. 1990. Ictiología. México. 489 p.

BEAMISH, F. W. H. y T. E. MEDLAND. 1986. Protein sparing effects in large rainbow trout, *Salmo gairdneri*. Aquaculture, 55: 35-42.

BRITZ, P. J. y T. HECHT. 1997. Effect of dietary protein and energy level on growth and body composition of South African abalone, *Haliotus midae*. Aquaculture. 156: 195-210.

CAI, Y.; J. WERMERSKIRCHEN e I. R. ADELMAN. 1996. Ammonia excretion rate indicate dietary protein adequacy for fish. The Progressive Fish-Culturist. 58: 124-127.

CHOU, B. S. y S.Y. SHIAU. 1996. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus X O. aureus*. Aquaculture. 143: 185-195.

ELANGOVAN, A. y K. F. SHIM. 1997. Growth response of juvenile *Barbodes altus* fed isocaloric diets with variable protein levels. Aquaculture, 158: 321-329.

ERFANULLAH y A. K. JAFRI. 1998. Growth rate, feed conversion, and body composition of *Catla catla, Labeo rohita* and *Cirrhinus mrigala* fry fed diets of various carbohydrate-to-lipid ratios. Journal of the World Aquaculture Society 29(1): 85-91.

FAO. 1999. The state of world fisheries and aquaculture 1998. FAO, Roma, 136 p.

FURUICHi, M. 1988. Carbohydrates. Fish nutrition and mariculture. T. Watanabe. Tokio: 44-55.

GALLAGHIER, M. L. 1997. Apparent digestibility coeficients for some carbohydrates in diets for hybrid striped bass *Morone saxatilis x M. chhrysops*. Journal Word Aquaculture, 28(4): 429-431.

GARCÍA-GALLEGO, M., H.J. BAZOCO, H. AKHARBACH, M.D. SUÁREZ y A. SANZ. 1994. Utilization of different carbohydrates by the European ell (*Anguilla anguilla*). Aquaculture, 124: 99-108.

GRISDALLE-HELLAND, B. y S. HELLAND. 1997. Replacement of protein by fat and carbohydrate in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) at the end of the freshwater stage. Aquaculture, 152: 167-180.

HANLEY, F. 1991. Effects of feeding supplementary diets containing varyaing levels of lipid on growth, food conversion, and body composition of Nile tilapia, *Oreocrhomis niloticus* (L.). Aquaculture, 93: 323-334.

HEPHER, B. 1988. Nutrition of pond fishes. Cambridge, Great Britain, Cambridge University Press. 388 p.

HEPHER, B. 1989. Principles of fish nutrition. In: Fish culture in warm water systems: problems and trends. M. Shilo and S. Sarig. Boca Raton, Florida, CRC Press, Inc.: 121-142.

HIDALGO, M. C., E. UREA y A. SANZ. 1999. Comparative study of digestive enzymes in fish with different nutritional habits. Proteolytic and amylase activities. Aquaculture, 170: 267-283.

JAUNCEY, K. 1982. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus*). Aquaculture, 27: 43-54.

KANAZAWA, A. 1988. Essential fatty acid and lipid requirement of fish. Nutrition and feeding in fish. C. B. Cowey, a. M. Mackie and J. G. Bell. Londres, Academic Press Limited: 281-298.

KIM, K. I. 1997. Re-evaluation of protein and amino acid requirements of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture. 151: 3-7.

KING, R. H., C. J. RAYNER, M. KERR, H.K. GORFINE y P.E MCSHANE. 1996. The composition and amino acid balance of abalone (*Haliotus rubra*) tissue. Aquaculture. 140: 109-113.

KUBITZA, F. 1997. Nutrição e alimentação dos peixes. Piracicaba, SP, Universidade de São Paulo. 74 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) 1993. Nutrients requeriments of fish. National Academic Press, Washington. D. C., 114 p.

NELSON, J. A., D. A. WUBAH, M.E. WHITMER, M.A. JOHNSON y D. J. STEWART. 1999. Wood-eating catfishes of the genus *Panaque*: gut microflora and cellulolytic enzyme activities. Journal of Fish Biology. 54: 1069-1082.

PEREIRA-FILHO, M., N. CASTAGNOLLI, A. STORTI-FILHO y M. I. OLIVEIRA-PEREIRA. 1995. Efeito de diferentes níveis de proteína e de fibra bruta na alimentação de juvenis de matrinxã, *Brycon cephalus*. Acta Amazónica. 25(1/2): 137-144.

RUCHIMAT, T., T. MASUMOTO, H. HOSOKAWA, Y. ITOH, y S. SHIMENO. 1997. Quantitative lysine requirement of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). Aquaculture 158: 331-339.

SAMANTARAY, K. y S. S. MOHANTY. 1997. Interations of dietary levels of protein and eneGrgy on fingerling snakehead, *Chana striata*. Aquaculture. 156: 241-249.

SHIAU, S. Y. 1997. Utilization of carbohydrates in warmwater fish - with particular reference to tilapia, *Oreochromis niloticus X O. aureus*. Aquaculture. 151: 79-96.

SHIAU, S.Y. y C.W. LAN. 1996. Optimum dietary protein level and protein to energy ratio for growth of grouper (*Epinephelus malabaricus*). Aquaculture. 145: 259-266.

SHIMENO, S.; T. SHIKATA; H. HOSOKAWA; T. MASUMOTO y D. KHAYYALI. 1997. Metabolic response to feeding rates in common carpa, *Cyprinus carpio*. Aquaculture. 151: 371-377.

STEFFENS, W. 1987. Principios fundamentales de las alimentación de los peces. Zaragoza, España, Acribia, S. A. 275 p.

TACON, A. G. J. 1987. The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp. A training manual. 1. The essential nutrients. Brasilia, Brasil, FAO. 117 p.

TACON, A. G. J. 1988. The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp. A training manual. 3. Feeding methods. Brasilia, Brasil, FAO. 208 p.

TWIBELL, R. G. y P. B. BROWN. 1998. Optimal dietary protein concentration for hybrid tilapia *Oreochromis niloticus X O. aureus* fed all-plant diets. Journal of the World Aquaculture Society 29(1): 9-16.

VÁSQUEZ-TORRES, W.; M. PEREIRA-FILHO; J. A. ARIAS-C. y S.C. PARDO-CARRASCO. 1999. Determinación de requerimientos nutricionales para cachama blanca *Piaractus brachypomus*. 3. Niveles de proteína en dietas para juveniles. II Congreso Sur Americano de Acuicultura, II Congreso WAS /LAC, ACUICULTURA VENEZUELA'99, Puerto la Cruz, Venezuela.

VÁSQUEZ-TORRES, W. 2001. Determinação das exigências de proteína, gordura e carboidratos em dietas para crescimento de juvenis de pirapitinga, *Piaractus brachypomus* (CUVIER 1818). Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, Programa de Biologia de Água Doce e Pesca Interior. Convenio UA/INPA, Manaus, Brasil, 76 p.

WATANABE, T., Ed. 1988. Fish Nutriton and Mariculture. Tokio, Japon, JICA. 233 p.

WILSON, R. P. 1994. Utilization of dietary carbohydrate by fish. Aquaculture. 124: 67-80.

XIE, S.; Y. CUI; Y. YANG y J. LIU. 1997. Energy budget of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in relation to ration size. Aquaculture. 154: 57-68.

YOSSA, M. I. y C. A. R. M. ARAUJO-LIMA. 1998. Detrivory in two amazonian fish species. Journal Fish Biology. 52: 1141-1153.

Capítulo VI. PRINCIPALES ENFERMEDADES DE LOS PECES EN CULTIVO

Consuelo Vásquez Díaz[1]
Margy Villanueva Soto[2]
Horacio Rodríguez Gómez[3]

INTRODUCCIÓN

La patología es un componente importante dentro de la producción acuícola y debería incluirse como parte integral tanto en la programación como en la ejecución de las actividades de cada granja.

El estado de enfermedad se traduce en los peces por la aparición de anomalías en el comportamiento (usualmente llamados signos) y/o la integridad corporal (denominadas lesiones), lo que supone una disminución de los rendimientos y frecuentemente la muerte de los ejemplares afectados.

Estas manifestaciones mórbidas son debidas a causas de orden físico, químico o biológico, actuando solas o en asociación, con el fin de perturbar las funciones fisiológicas del animal y manifestándose de manera natural o inducida. El término «inducido» implica una acción humana.

La patología de los animales acuáticos presenta, sin embargo, características particulares que dependen al mismo tiempo de la naturaleza de los agentes patógenos propios del medio acuático, y de la biología de las especies motivo del estudio, las cuales a su vez presentan adaptaciones diferentes. Las poblaciones de peces en el medio natural no están libres de esta condición, la mortalidad natural estimada por aquellos que estudian la dinámica de las poblaciones es al menos, en parte, consecuencia de fenómenos patológicos identificados o no. El cultivo modifica el entorno natural, pero siempre que sea pwosible lo debe hacer teniendo en cuenta las necesidades biológicas, medioambientales y sanitarias para una producción óptima.

Es importante señalar que el acuicultor realiza muchos procesos que causan estrés en los peces; entre ellos se destacan: captura, selección por tamaños, transporte, transferencia a aguas de condiciones físico-químicas diferentes, sobrealimentación y altas densidades. A esto se deben agregar los problemas causados por la calidad del agua y los cambios ambientales difíciles de controlar, tales como la temperatura.

Cuando se presentan grandes mortalidades repentinas aun cuando el problema se deba a cambios medio-ambientales, casi siempre los primeros sospechosos de la enfermedad y la causa de mortalidad son los patógenos, ya sean éstos virus, bacterias, hongos o parásitos.

En este orden de ideas debemos entrar a analizar las causas de las enfermedades propiamente dichas. Estas en forma general se pueden dividir en:

a. Orden físico
b. Orden químico
c. Orden biológico

Las causas físicas están principalmente dadas por las propiedades del agua, tales como temperatura y materiales en suspensión. Sin embargo existe una interacción entre la temperatura y la fisiología de los peces estando ésta

---

1 Bióloga Marina, Ictiopatóloga, Jefe Grupo laboratorio-INPA
2 Lic. Biología, Candidata M.Sc. en Microbiología Médica
3 Biólogo marino, División de Recursos Acuícolas, INPA. Bogotá. E-mail: horacrod@inpa.gov.co

influenciada por la temperatura del agua y por consiguiente su receptividad frente a los agentes infecciosos es muy diferente. La temperatura condiciona igualmente el contenido de oxígeno disuelto en el agua del cual es necesario un cierto nivel para mantener sanos los peces. Variaciones en éste repercuten sobre todas las funciones del pez incluidas las de defensa. Por otra parte, la temperatura hará variar la toxicidad de otros compuestos(caso del amoníaco), o facilitará su absorción por elevación del ritmo respiratorio. Con esto se muestra la interacción existente entre las causas físicas, químicas y biológicas (Kinkelin *et al.*,1991).

Las causas químicas están relacionadas básicamente con las propiedades y la composición del agua a saber: pH, alcalinidad, contenido de gases disueltos, presencia de materias nitrogenadas, toxinas segregadas por algas o diversos contaminantes tales como mercurio, pesticidas, cloruros, sulfatos, clorofenoles y detergentes, entre otros.

Una muestra de la interacción entre las causas químicas y físicas es la toxicidad del amoníaco que está regulado a su vez por el pH, la temperatura, la salinidad y el contenido de oxígeno del agua y que es específico para una especie de pez con condiciones fisiológicas propias.

Las causas biológicas están representadas por los bioagresores es decir virus, hongos, bacterias y parásitos, los cuales a su vez están condicionados a los factores físicos y químicos del medio ambiente.

Los bio - agresores, seres vivos que subsisten a expensas de los peces, están siempre presentes donde se encuentran sus huéspedes para los cuales representan una amenaza permanente. Así, en el medio acuático conviven animales y vegetales en principio; igualmente se encuentran predadores, hospedadores intermediarios de parásitos, algas tóxicas, consumidores de oxígeno, todos ellos consumidores de oxígeno y pueden de una u otra forma contribuir o engendrar enfermedad.

La actividad humana añade nuevos riesgos a través de la introducción de sustancias peligrosas llevando a cabo prácticas que aumentan los efectos patógenos de los factores físicos, químicos y biológicos presentes en el medio, haciéndolos patógenos para los peces.

La acuicultura se ejerce en un espacio cerrado traspasado por un medio acuático que proviene del exterior y se renueva periódicamente. Su rentabilidad exige altas densidades, alimentación artificial y transporte de animales. En el caso hipotético en el cual un factor crítico como es el oxígeno presentara una falla, la mortalidad sería de características no calculables. Si con la baja de oxígeno complementariamente existiera gran cantidad de excreción de amoníaco que no fuera fácil diluirla con el caudal normal del agua, de tal forma que llegue a niveles no tóxicos, la posibilidad de muerte sería desastrosa. Este planteamiento permite deducir que los peces no pueden escapar del estanque como si lo pueden hacer estando en el medio natural.

Continuando con la línea del caso propuesto, se puede asegurar que un bioagresor que atraviesa un estanque seguramente se encontrará con un huésped. En la naturaleza esta posibilidad resultaría más remota.

Un factor interesante a tener en cuenta es la manipulación de los animales, la cual provoca lesiones externas y estrés en los peces, lo que facilita la penetración y el desarrollo de los bioagresores dando como resultado la enfermedad.

Otras actividades que deben tenerse en cuenta son por ejemplo: el transporte de peces que lleva implícito el de animales portadores de agentes patógenos entre regiones y la alimentación, bien sea por defecto en cantidad o calidad, puede conducir un cultivo a pérdidas en el rendimiento.

1. PREVENCIÓN DE LAS ENFERMEDADES EN PECES

El cultivo de organismos acuáticos busca producir animales de buena calidad, sanos y bien presentados. De ahí la necesidad de controlar y prevenir los riesgos o causas que puedan originar y propagar las enfermedades. Por consiguiente es necesario ofrecer a la población bajo condiciones de cultivo un ambiente favorable, controlar los agentes patógenos o sus vectores, atender sus requerimientos nutricionales y conseguir peces de buena calidad genética. Las enfermedades pueden tener diferentes orígenes:

a) De origen infeccioso tales como virus, bacterias, hongos y parásitos. En este caso para que el agente patógeno pueda llegar a causar la enfermedad, se necesita que se presenten los siguientes factores:

- Aumento de la abundancia del patógeno.
- Incremento de su acción.
- Interacción de varios patógenos.
- Disminución de la resistencia por parte del huésped.

b) De carácter nutricional: cuando se originan por deficiencias nutricionales, o por toxinas producidas por los mismos alimentos.

c) Por agentes químicos extraños a la calidad normal del agua por ejemplo cuando se presenta o existe contaminación.

Es importante conocer los componentes fundamentales que interactúan y condicionan el surgimiento de una enfermedad, como son el huésped, el ambiente y el agente patógeno.

1.1 MECANISMOS DE DEFENSA DE LOS PECES

Los peces tienen tres mecanismos para evitar una infección y la capacidad para la acción de éstos está dada por el estado del pez y por las condiciones ambientales a las cuales se encuentra sometido.

1.1.1 Mecanismo protector de la piel

Mucus

Sustancia producida por células epidérmicas, la cual actúa inhibiendo el establecimiento y desarrollo de patógenos. El mucus en el proceso de desprendimiento, rechaza y evita el establecimiento del patógeno en su cuerpo.

Escamas

Las escamas cuyo origen proviene del tejido dérmico conectivo, protegen al pez de patógenos al servir como barrera. Sin embargo, al presentarse pérdida de estas quedan heridas por donde puede penetrar el patógeno.

1.1.2 Inflamación

Se caracteriza por el enrojecimiento de la zona, hinchazón, dolor y fiebre en el área infectada; esto se debe a una reacción fisiológica en el lugar de la infección, cuyo objetivo es prevenir el desarrollo del patógeno dentro del pez, destruyéndolo, evitando su diseminación y reparando los daños causados.

1.1.3 Reacción inmune

Esta reacción se inicia después de la introducción exitosa del patógeno dentro del sistema del pez. Cuando el patógeno penetra, el sistema inmunológico lo reconoce como algo "extraño" y reacciona para eliminarlo. Cualquier sustancia extraña en el sistema de un animal, es llamado antígeno. Existen células especiales en la sangre, que se originan o desarrollan en el riñón (parte anterior), bazo, timo y tejidos linfáticos de los peces, las cuales reaccionan al identificar un antígeno. Este reconocimiento del antígeno, estimula la producción de anticuerpos, los cuales son moléculas químicas especiales que se producen contra un antígeno específico. Una vez producido el anticuerpo pueden circular a través de la sangre.

1.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UN PEZ SANO

En los peces sanos existen reflejos y reacciones definidas que faltan en los peces enfermos, tales como las siguientes:

- Reacción de fuga: el pez sano huye ante movimientos bruscos, luces, sombras, sacudidas, etc.

- Reacción del giro de los ojos: sacado del agua y colocado de lado sobre una superficie plana, el pez sano gira siempre los ojos en la posición natural que adopta para nadar. Este movimiento de los ojos puede faltar en el pez enfermo.

- Movimiento de la cola: el pez sano se esfuerza por mantener siempre la aleta caudal vertical, aun cuando el animal se sujete sólo por la parte anterior. En el pez con trastornos la aleta caudal aparece relajada, cuelga hacia abajo o adopta una posición transversal al cuerpo.

- La coloración oscura en el dorso manifiesta a un pez débil con problemas de nutrición y susceptible de contraer enfermedades.

1.3 Prevención de las enfermedades

No en todos los casos los peces mueren a causa de un agente patógeno; éstos pueden ser afectados por factores físicos, químicos, biológicos o de manejo. Con el fin de evitar mortalidades o el desarrollo de enfermedades que puedan alcanzar la proporción de epidemia, es necesario proporcionarle al pez un medio adecuado con el objeto de poder prevenirlas, antes que tener que llegar a aplicar tratamientos o correctivos en el manejo de los peces en cautiverio.

Cuando se observa un comportamiento anormal en los peces, tales como:

- Letargo, pérdida de apetito.
- Pérdida de equilibrio, nadado en espiral o vertical.
- Agrupamiento en la superficie y respiración agitada.
- Producción excesiva de mucus que da al pez una apariencia opaca.
- Coloración anormal.
- Erosiones en la piel o en las aletas.
- Branquias inflamadas, erosionadas o pálidas.
- Abdomen inflamado, algunas veces lleno de fluido o sangre, ano hinchado y enrojecido.
- Exoftalmia (ojos salidos).

Lo anterior está manifestando que algún factor está causando tensión a los peces o bien es el desarrollo de una infección.

Las siguientes tres condiciones interactúan para que se desarrolle una infección:

- La presencia del organismo patógeno.
- Medio ambiente inadecuado que tensiona al pez.
- Peces débiles y susceptibles de contraer enfermedades.

Para evitar que se presenten estas tres condiciones es necesario tomar las precauciones necesarias, proporcionando los factores físicos, químicos, biológicos y de manejo, apropiados para la especie en cultivo (Fig.1).

1.4 Factores que afectan los peces de cultivo

1.4.1 Factores físicos

a) **Temperatura:** cada especie se caracteriza por el rango de temperatura óptimo en el cual se desarrolla y donde puede lograr un buen crecimiento y llevar a cabo los procesos metabólicos y fisiológicos normales, lo que conlleva a que tenga una buena conversión alimenticia y resistencia a la enfermedades.

b) **Luz:** en los peces la nutrición, reproducción, desarrollo embriológico, larval y otros procesos están regulados por los períodos de luz; algunos peces son sensibles a este factor, buscando lugares oscuros durante el día y siendo más activos durante la noche.

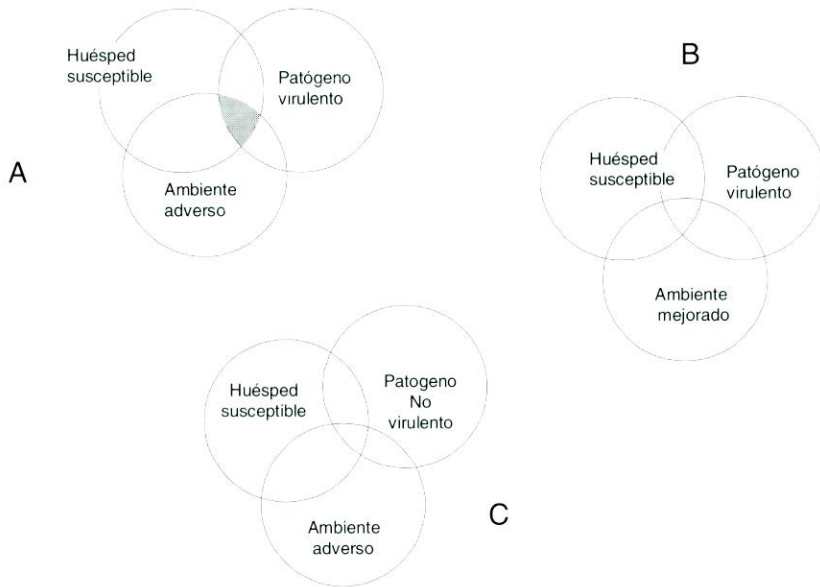


FIGURA 1. A: Interrelación huésped-patógeno-ambiente con ocurrencia de enfermedad. B: Interrelación sin enfermedad, debido al mejoramiento de las condiciones ambientales. C: Interrelación sin enfermedad por ausencia de patógenos virulentos en el cultivo (Tomado de Warren, 1983)

En sistemas intensivos con poca profundidad hay mayor penetración de los rayos solares, los cuales pueden ocasionar quemaduras en el dorso de los peces. La escasa penetración de la luz a causa de la turbidez disminuye la productividad del estanque y por lo tanto afecta la oferta del alimento natural para los peces.

c) **Gases disueltos:** la temperatura y la presión determinan la cantidad de gases disueltos en el agua. Poco oxígeno puede causar problemas respiratorios y luego la muerte, así como el exceso de nitrógeno disuelto puede producir la enfermedad denominada **"burbuja de gas".**

1.4.2 Factores químicos

a) **Contaminación:** las sustancias que alteran la calidad natural del agua tales como pesticidas, residuos de metales pesados, desperdicios de actividades agropecuarias urbanas e industriales pueden llegar a niveles tóxicos. Así mismo, la presencia de materia orgánica que en su degradación consume el oxígeno disuelto disponible en el agua.

b) **Desperdicios metabólicos:** los desechos metabólicos de los mismos peces pueden llegar a afectar su salud, especialmente el amonio que es el producto nitrogenado más tóxico; este compuesto debe ser evaluado periódicamente cuando se realizan cultivos a altas densidades o se está reutilizando el agua; así mismo, los niveles de nitritos están relacionados con el amonio y deben ser controlados.

c) **Partículas en suspensión:** el aumento de partículas en suspensión en el agua de una piscifactoría causa daños de tipo mecánico a nivel de branquias. Los más afectados son los huevos que se encuentran en incubación, ya que la precipitación de estas partículas sobre el huevo impiden la respiración a través de la membrana y estimulan el crecimiento de hongos.

1.4.3 Factores biológicos

a) **Densidad:** los peces, como los otros animales, toleran densidades óptimas para lograr un buen desarrollo; cuando se sobrepasan éstas se presentan problemas por competencia de espacio, alimento y oxígeno.

b) **Nutrición:** dietas mal balanceadas y suministro de alimento en cantidad y periodicidad inadecuada causan deficiencias nutricionales que conllevan a un crecimiento incipiente, malformaciones óseas, ceguera y color oscuro, entre otros.
El problema se agudiza cuando se trabaja a altas densidades, como en los cultivos en canales y jaulas, donde los peces dependen básicamente del alimento que se les suministre; cuando se mantienen en estanques abiertos es necesario abonarlos para aumentar su productividad y así suministrar alimento natural como complemento al concentrado que se les proporciona.

c) **Microorganismos:** el aumento de desperdicios en el agua puede ayudar al incremento de microorganismos, entre ellos los patógenos, tales como hongos, bacterias y parásitos.

d) **Algas:** ciertas microalgas, bajo condiciones favorables para su desarrollo, se multiplican considerablemente produciendo toxinas que llegan a ser letales para los peces.

e) **Animales:** ciertos organismos como los crustáceos, moluscos (caracoles) y aves, pueden ser foco de infecciones al actuar como huéspedes intermediarios en el ciclo de muchos parásitos. En las piscifactorias deben tomarse precauciones para eliminar cualquier animal ajeno a los peces de cultivo, ya que pueden ser predadores o competidores por alimento y espacio.

1.4.4 Manejo

a) **Precauciones sanitarias:** los huevos y alevinos a introducir en una granja deben estar libres de enfermedades infectocontagiosas, sin embargo es prudente desinfectarlos y someterlos a tratamiento preventivo antes de llevarlos a los estanques de cría.

b) **Filtros:** cuando el agua para la granja se obtiene de lagos, reservorios, ríos, etc., se recomienda instalar filtros de piedra (cascajo) con el fin de prevenir la entrada de peces silvestres que pueden traer enfermedades, ser predadores o competir con la especie de cultivo.

c) **Manejo:** las prácticas de manejo causan daños como pérdida de mucus, escamas y heridas que los dejan propensos a contraer enfermedades.

2. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

2.1 Bases para un rápido diagnóstico de la enfermedades de los peces

La frecuente y rutinaria inspección de los peces de cada estanque es una parte integral de un buen manejo. Se debe tratar de descubrir cualquier conducta y distribución anormal de ellos en todo el estanque, especialmente cuando tienden a agruparse en la entrada o salida del agua y boquean constantemente.

Cuando se efectúa la alimentación es esencial que se suministre manualmente por lo menos una vez al día, preferiblemente en las primeras horas de la mañana. El apetito para comer es un síntoma de buena salud y ayuda a determinar el estado de la población. Algunos síntomas de enfermedad se manifiestan durante la comida, como por ejemplo, el coletazo de la trucha con la enfermedad del torneo. Cualquier signo claro de enfermedad debe tenerse en cuenta en este momento, especialmente la presencia de peces boqueando, coloración oscura o anormal, ojos salientes y aletas erosionadas.

Deben hacerse muestreos periódicos con el fin de examinar con regularidad los peces especialmente cuando se observan síntomas de posible enfermedad. Debe llevarse un registro de las siguientes observaciones exteriores:

- La naturaleza de la mucosidad que recubre la piel, presencia de moco o cualquier alteración de color.
- Los opérculos son más cortos y en este caso aparecen las branquias expuestas (no debe haber bandas visibles de moco o de hongos).

- Las aletas erosionadas.
- Evidencia de erupciones o manchas blancas en la piel, se aprecia cualquier llaga, úlcera (perforación), hinchazones o parásitos sobre la piel, ojos salidos (exoftalmia), cristalino opaco, ano hinchado y enrojecido.

Cuando no se manifiesta la causa de un determinado problema inmediatamente, será necesaria una biopsia. Para esto se debe capturar un pez vivo que presente indicios claros de la enfermedad con el fin de estudiarlo. Los peces muertos no son útiles para este examen, porque las alteraciones degenerativas se ponen de manifiesto al microscopio, una hora después de la muerte, además empieza la proliferación de bacterias que ayudan a la descomposición y se desprenden los parásitos.

Para realizar un examen satisfactorio en los peces se necesita el siguiente equipo: microscopio, portaobjetos y cubreobjetos, bisturí, aguja, tijeras finas, cuchillo, lupas y frascos con suero salino y con formol al 10 %.

Los peces se deben sacrificar mediante un golpe en la cabeza o decapitándolos, lo que debe hacerse con cuidado para evitar la caída de moco o de parásitos de la piel.

2.2 Técnicas de muestreo para análisis de peces presuntamente enfermos

Todo muestreo de poblaciones de peces debe basarse en lotes; un lote se define de acuerdo con la edad, origen y cepa, siempre que hayan compartido el mismo cuerpo de agua; los peces que tuvieron su origen de la misma cepa de reproductores, pero que eclosionaron en fechas diferentes, no constituyen lotes diferentes salvo el caso donde los desoves corresponden a diferentes estaciones (lluvias o verano). También cuando una parte del lote se mantiene en un sistema de agua cerrado, cada uno será muestreado como un lote diferente.

El tamaño mínimo de la muestra para cada lote será determinado de acuerdo con un plan que nos permita un nivel de confianza del 95% en la detección de uno o más de los posibles portadores de la enfermedad en el lote.

2.3 Anamnesis, envío de muestras y autopsia

Para diagnosticar una enfermedad se requiere de una serie de pasos los cuales son:

Elaboración de un informe detallado sobre el comportamiento de los peces en el ambiente es de suma importancia, así como la preparación de la anamnesis o historia clínica; para la elaboración de dicha historia los datos del caso han de anotarse en un formato elaborado para tal fin.

Para la recolección y envío de muestras de animales enfermos para los correspondientes exámenes de laboratorio se recomiendan los siguientes procedimientos:

a. **Ejemplares vivos en agua:** siempre que se sospeche una etiología viral, bactérica, micótica o parasitaria. Es especialmente útil en el caso de alevinos, dedinos o juveniles.

b. **Ejemplares moribundos:** para exámenes parasitológicos, los peces moribundos pueden ser enviados dentro de cajas de icopor con hielo triturado, siempre que las muestras sean recibidas el mismo día del envío.

c. **Muestras congeladas:** aún cuando siempre es preferible recibir peces vivos, es posible llevar a cabo determinados exámenes de laboratorio, por ejemplo algunos estudios virológicos. En este caso los peces deben empacarse individualmente en bolsas plásticas, colocándolas en un recipiente con hielo. Este método no es él más aconsejable, pero sirve como último recurso en casos de visores, dado que la mayoría de los virus sobreviven por períodos no muy largos en tejidos mantenidos a temperatura de -20°C.

d. **Muestras preservadas:** para estudios histológicos es indispensable fijar los tejidos previo al envío al laboratorio para frenar los procesos autolíticos que se presentan con la muerte del pez. Es importante tener en cuenta que peces congelados no son adecuados para exámenes histológicos, puesto que la estructura de los tejidos se altera con la congelación. Peces moribundos con señales de la enfermedad se colocan en un recipiente con

solución acuosa de formaldehido al 4%, alevinos y dedinos pueden remitirse enteros; cuando su talla sobrepase 2 cm es necesario efectuar una incisión en la parte ventral para que el líquido preservativo penetre en la cavidad abdominal. Es conveniente que el líquido tenga una relación de 1:10. Puede agregarse una pequeña cantidad de carbonato de calcio con el objeto de mantener un pH cercano a neutro.

El paso a seguir en el laboratorio es la autopsia, la cual debe llevarse a cabo tan pronto como sea posible. El procedimiento consta de dos partes principales: el examen externo y el examen interno, respectivamente.

A. Examen externo: se examina cuidadosamente la superficie externa del pez. En este sentido se destaca la importancia que tiene la coloración del cuerpo, exoftalmia, erizamiento o pérdida de escamas, congestión, ulceración, hinchazón o abultamiento de la piel, deshilachamiento de las aletas erosión de los opérculos, presencia de moco o capas de color blanco-grisáceo o azulado, parásitos etc. Se realizan preparados frescos así como la toma de muestras sobre medios de cultivo bacteriológicos y micóticos.

B. Examen interno: una vez tomadas las muestras bacteriológicas se desinfecta el pez mediante limpieza externa y se coloca en una bandeja de disección, debidamente desinfectada con el lado izquierdo del pez hacia arriba.

Con instrumental debidamente desinfectado se corta la aleta pélvica evitando dañar el intestino; el segundo corte parte desde antes del ano y va hasta el istmo; el tercer corte va desde la incisión que se hizo a la altura del ano y en forma curva se realiza el nuevo corte hasta el istmo dejando la cavidad abdominal descubierta; el último corte retira la mitad del opérculo para permitir la exposición de las branquias.

A continuación se procede a efectuar un examen macroscópico de los diferentes órganos internos para detectar cualquier coloración anormal, hinchamiento, etc., que sea patente en ellos; también es importante observar la presencia de cualquier liquido o fluido anormal en la cavidad abdominal. Se deben efectuar cuanto antes siembras sobre medios de cultivo, para evitar en lo posible contaminación.

Después de efectuado el examen macroscópico *in situ*, se retiran y separan los órganos para su posterior examen. Una vez retirados los órganos quedan expuestos la vejiga natatoria, gónadas y riñón. Una vez examinada la vejiga se retira y queda expuesto el riñón, el cual se divide para su examen en anterior, medio y posterior. La parte final de la autopsia incluye una exposición del cerebro y el retiro de los ojos

Una vez terminados los procedimientos de autopsia los restos del pez y los órganos deben incinerarse ya que todo el material debe considerarse altamente infeccioso. Todas las observaciones realizadas igualmente deben ser anotadas en la historia clínica y se deben procesar las muestras con el fin de identificar el posible agente patógeno.

3. ENFERMEDADES PRODUCIDAS POR BIO-AGRESORES

3.1 PARASITOLOGÍA

El parasitismo es un fenómeno frecuente en los peces, sin embargo, las enfermedades parasitarias se manifiestan más cuando las condiciones del medio ambiente lo permite.

Es necesario hacer claridad sobre algunos términos utilizados en parasitología y así evitar confusiones.

Existen unos seres vivos inferiores que se aprovechan de otros seres superiores para alojarse y nutrirse, son los denominados parásitos.

Hay varios tipos de interacción biológica en las cuales dos organismos se asocian para vivir, las más importantes son:

a. Parasitismo. Este tipo de asociación sucede cuando un ser vivo (parásito) se aloja en otro de diferente especie (huésped u hospedero) del cual se alimenta.

Desde el punto de vista biológico un parásito se considera más adaptado a su huésped cuando le produce menor daño. Los menos adaptados son aquellos que producen lesión o muerte al huésped que los aloja.

b. Comensalismo. Se presenta cuando dos especies diferentes se asocian en tal forma que sólo uno de ellos obtiene el beneficio, pero ninguno sufre daño. En parasitología se consideran como comensales los que no producen daño al huésped como por ejemplo cierto tipo de amiba no patógena (Botero y Restrepo, 1992).

Los parásitos que pueden afectar a los peces son muy numerosos e incluyen miembros de los distintos grupos zoológicos a saber: protozoos (Fig. 2), Vermes parásitos (Fig. 3 y Fig. 4), moluscos (Fig. 5), hirudíneos (Fig. 6) y crustáceos (Fig. 7).

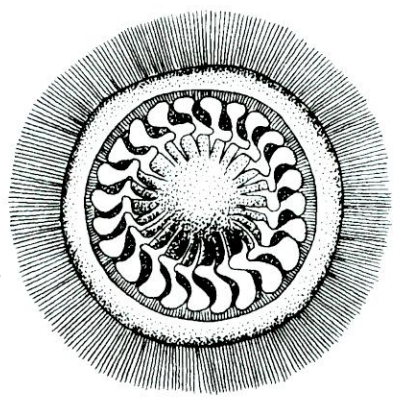


FIGURA 2. Protozoarios pertenecientes a los géneros *Tricodina sp.* (Tomado de Conroy y Vásquez, 1976)

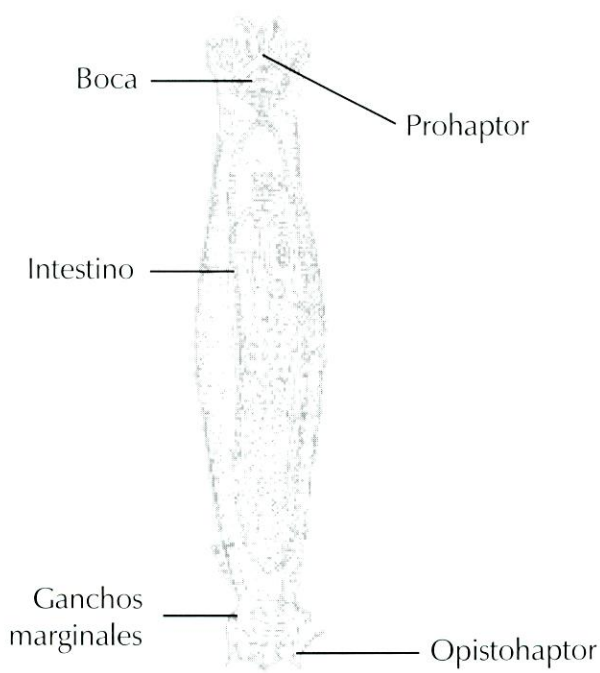


FIGURA 3. Tremátodos monogenésicos. *Dactylogyrus* sp.

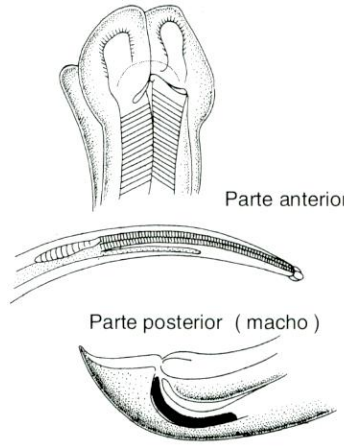


FIGURA 4. Nemátodos. Características taxonómicas del género *Contracacun sp.* Parásito frecuente en los peces (Tomado de Conroy y Vásquez, 1976)

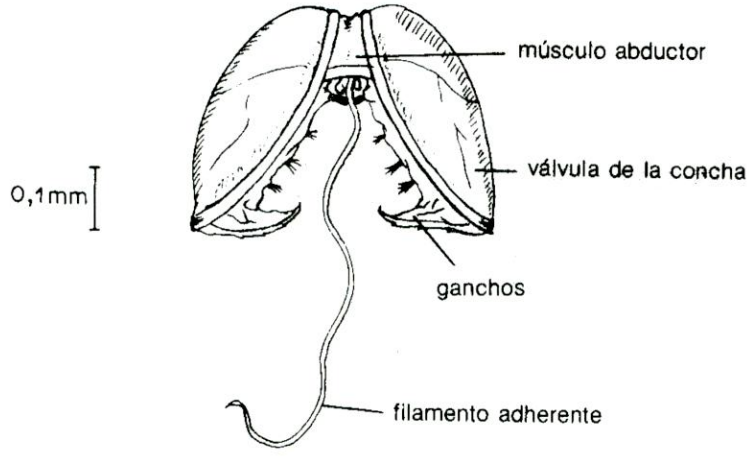


FIGURA 5. Moluscos parásitos de branquias . *Gloquidia sp.* (Tomado de Conroy y Vásquez, 1976)

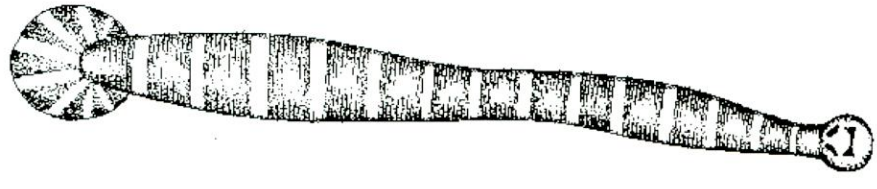


FIGURA 6. Sanguijuelas normalmente hematófagos y hermafroditas. *Piscícola sp.* (Tomado de Conroy y Vásquez, 1976)



FIGURA 7. Crustáceo parásito externo de los peces, "gusano ancla" (*Lerneae sp.*) (Tomado de Conroy y Vásquez, 1976)

En Colombia los principales parásitos reportados para ejemplares de cachama en estado de alevinos y juveniles en la zona de Villavicencio son: trematodos monogéneos, protozoos externos como *Piscinoodinium sp.* e internos como mixosporidios (compatibles con *Henneguyas sp.; Mixobolus sp.*). En los reproductores se observó una infestación mixta por protozoarios externos y trematodos monogéneos (Eslava e Iregui, 1998).

Para la mojarra roja se reporta presencia de *Gloquidias sp.*, *Trichodina sp.*, y *Oodinuim sp.* Igualmente se han reportado para especies ornamentales *Ichtyophthirius sp.*, *Piscidium sp.*, *Dactylogyrus sp.*, *Gyrodactylus sp.*, diferentes estados larvarios de trematodos digenésicos y diferentes tipos de acantocephalos (Cubillos, 1998; Castillo, 1998 ; Gómez, 1999).

El parasitismo es un fenómeno frecuente no necesariamente constante; en los peces, sin embargo las enfermedades parasitarias no se manifiestan a menos que las condiciones del medio ambiente permitan el desarrollo del parásito. En cuanto hace referencia a la especificidad del hospedador, algunos se encuentran en peces de un género o incluso de una especie; mientras que otros resultan más cosmopolitas (Torroella, 1988). Toda práctica en piscicultura que descuide los tratamientos antiparasitarios preventivos se expone, con toda la certeza, a sufrir perdidas inmediatas o a más largo plazo (Reichenbach-Klinke, 1982).

Es bien conocido que las infecciones parasitarias de los peces aumentan cuando son mantenidos en condiciones artificiales, ya que una elevada densidad provoca un aumento de las poblaciones de parásitos que raramente se observa en las poblaciones del medio natural. Debido a ello se pueden producir epizootías importantes acompañadas de elevadas mortandades, sobretodo en el caso de parásitos de ciclo directo como es el caso de ciertos protozoos o los monogéneos.

Por otra parte, los parásitos que no alcanzan niveles epizooticos pueden ser también agentes de enfermedades importantes, debido a que actuan debilitando al pez hospedador o facilitando otras infecciones sea como vectores de otros patógenos, sea favoreciendo infecciones secundarias, es esta la razón por la cual su significación económica es, así mismo, considerable. Es decir la importancia económica de las parasitosis es debida a que, o bien se tiene constancia en su prevención o bien disminuye la rentabilidad de la explotación por mortalidad o por descensos en los rendimientos que se persiguen.

Las pérdidas debidas a los parásitos en peces de cultivo son muy dificiles de evaluar, pero se estiman entre un 10 y un 20% para algunos países o incluso más, en cieros casos puntuales.

Los parásitos pueden afectar a los distintos órganos del pez. Hay algunos típicamente ectoparásitos. Respecto al ciclo vital, puede ser directo, con intervención de un solo hospedador o indirecto, con la participación de dos o más hospedadores (Roberts, 1981).

El grado de patogenicidad de los distintos parásitos de peces varía de una especie a otra y depende de diferentes factores, entre otros, de la intensidad del parasitismo, de los órganos afectados, del grado de especificidad del hospedador, de la presencia de infecciones concomitantes, de las condiciones ambientales, entre otros.

En cuanto hace referencia a la especificidad del hospedador, algunos son muy específicos y se encuentran sólo en peces del mismo género, o incluso una especie mientras que otros pueden afectar a hospedadores de distintas familias u órdenes.

En cuanto a los factores ambientales, la temperatura puede considerarse el más importante y en general las infestaciones parasitarias abundan más en la medida que el agua es templada o cálida; otros factores que inciden de un modo mas o menos indirecto son las concentraciones de oxÍgeno y la iluminación, entre otros factores.

En los acuicultivos de agua dulce resultan más peligrosos los microparásitos con tropismo cutáneo. En el mar los peces mantenidos en jaulas se encuentran más amenazados por los crustáceos. En los estanques de agua dulce son también los crustáceos, además de las sanguijuelas, los que ofrecen un mayor peligro parasitario.

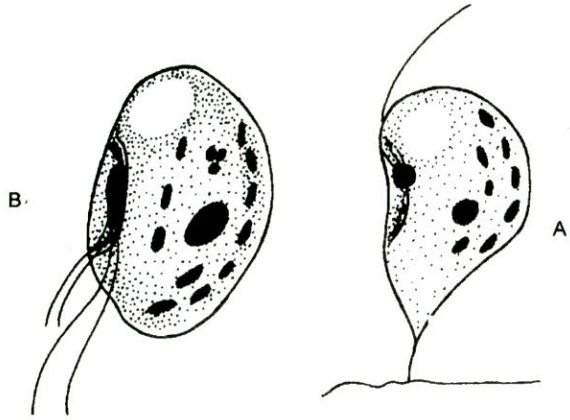


FIGURA 8. ***Costia sp.*** **a) Forma parasitaria . b) Forma libre .**
(Tomado de Conroy y Vásquez, 1976)

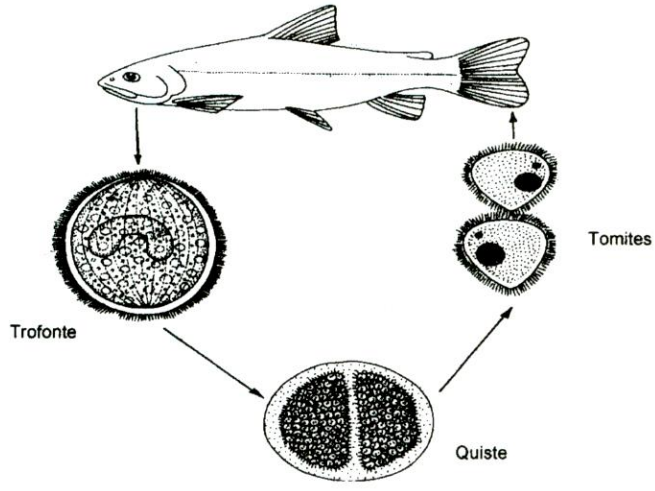


FIGURA. 9 Ciclo vital del *Icthyophthirius multifilis* o punto blanco.
(Tomado de Conroy y Vásquez, 1976)

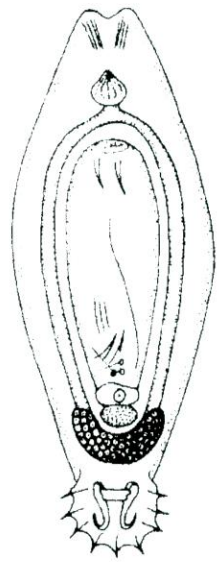


FIGURA 10. ***Gyrodactylus sp.*** **Están ausentes los puntos oculares y el haptor esta bien desarrollado. (Tomado de Conroy y Vásquez, 1976)**

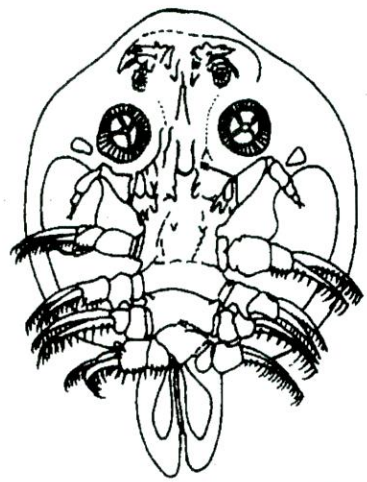


FIGURA 11. ***Argulus sp.*** **Cuerpo plano dorso –ventralmente ; las segundas maxíla están modificadas en forma de discos adhesivos. (Tomado de Conroy y Vásquez, 1976)**

En cualquier tipo de explotación y en cualquier país, los parásitos más temibles económicamente son los microparásitos cutáneos branquiales, tales como, *Costia sp.* (flagelados, Fig. 8); *Ichthyophthirius multifilis* (ciliado, Fig.9); (*Gyrodactylus* sp. (monogenea, Fig. 10) y *Argulus sp.* (crustáceo, Fig. 11).

Aun cuando la histología constituye un excelente medio de estudio patológico, para las parasitosis no necesariamente es el mejor medio de diagnóstico, ya que el examen clínico y necrópsico ayudado con observaciones microscópicas sencillas son suficiente para efectuarlo con mayor rapidez.

Es necesario anotar que algunos parásitos frecuentes en los peces silvestres no parecen ejercer ningún poder patógeno; estos son: *Trypanosoma sp.* (Fig.12), *Haemogregarinas sp. y Dactylosoma sp.* (Fig 13), *Sarcocystis sp* (Fig. 14); además los ciliados perítricos sésiles, como: *Apiosoma* sp., *Ambiphrya* sp. y *Epistylis* sp. (Fig. 15), sólo excepcionalmente producen alteraciones.

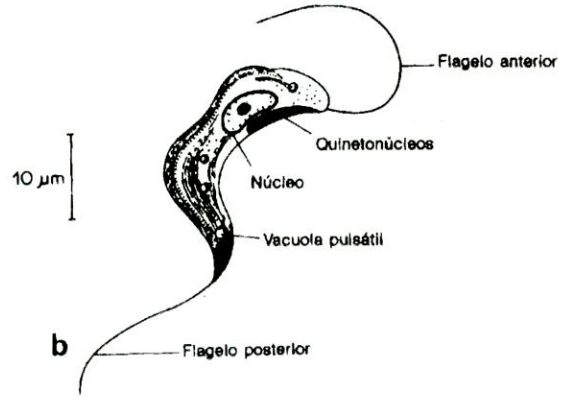


FIGURA 12. Parásito de la sangre. *Trypanosoma sp.* (Tomado de Conroy y Vásquez, 1976)

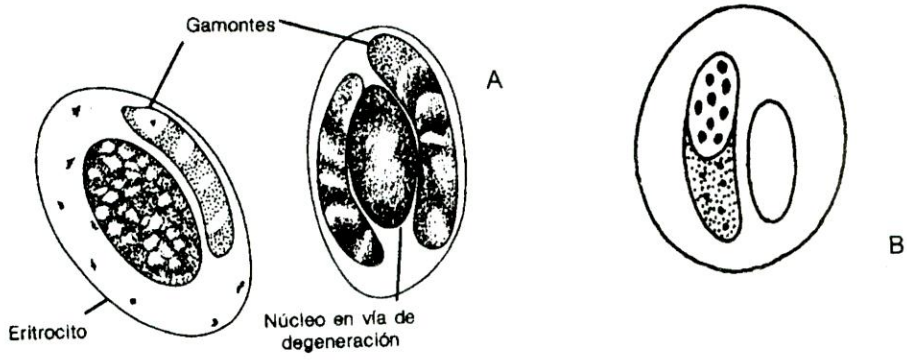


FIGURA 13. Esquema de los parásitos A.- *Haemogregarina sp.* (Tomado de Kinkelin *et al.*, 1991) y *B.- Dactylosoma sp.* (Tomado de Conroy y Vásquez, 1976)

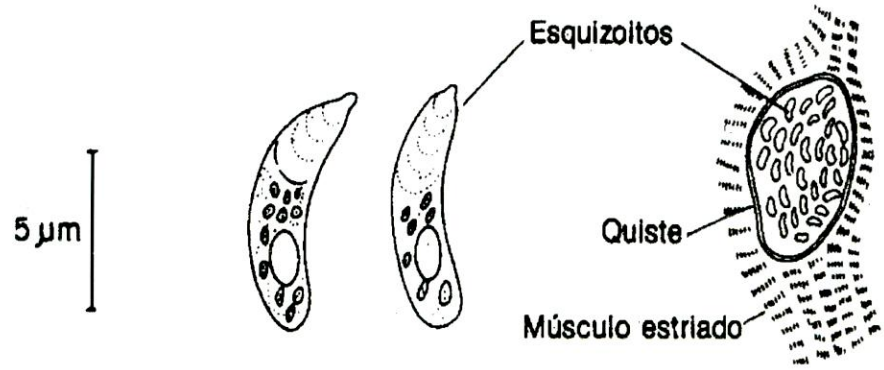


FIGURA 14. *Sarcosystis sp.* Esquema de los esquizoitos en la musculatura del pez. (Tomado de Kinkelin *et al.*, 1991)

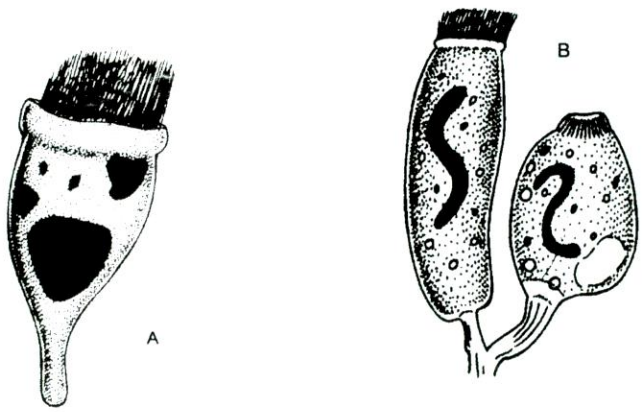


FIGURA 15. A. *Apiosoma s.*, B. *Epistylis sp.* Se distinguen por su forma cilíndrica y un vástago más o menos largo con el que se fija a la piel del pez. (Tomado de Conroy y Vásquez, 1976)

En referencia a los demás parásitos, la aparición de alteraciones clínicas dependen de la intensidad del parasitismo, la misma resulta mas elevada en cuanto se trate de un parásito con desarrollo rápido, tal es el caso de: *Ichtyobodo sp, Ichthyophtirius sp., Argulus* sp., *Piscícola* sp. Las helmintosis clínicas son raras

El origen de las alteraciones patológicas, en el caso de los parásitos, puede ser debido a varias causas, a saber:

- Causas mecánicas: el parásito lo ejerce en forma mecánica provocando en el huésped traumatismos, irritaciones o compresiones

- Productos segregados por los parásitos: a través de la producción o secreción de enzimas proteolíticas, sustancias irritantes o anticoagulantes.

- Espoliación del hospedador: es propia de los helmintos, celozoicos, crustáceos y sanguijuelas acarreando como resultado una detención en el crecimiento, adelgazamiento, obstrucción intestinal e incluso esterilidad.

La reacción del hospedador frente a los parásitos es de dos tipos:

- Inmunidad no específica: son las reacciones del hospedador frente al agente agresor tales como: inflamación, desarrollo considerable de linfocitos y de macrófagos, reacciones hiperplásicas y enquistamientos, entre otros.

- Inmunidad adquirida: puede manifestarse por una mayor resistencia a la reinfección o a la manifestación, bien sea por reacción serológica o por coexistencia de ambas (Kinkelin *et al.*, 1991).

Los parásitos tienen una ventaja sobre los virus y bacterias ya que pueden ser visibles mediante la realización de una simple inspección o mediante la utilización de pequeños aumentos. En todos los parásitos heteroxenos o los que solamente tienen un ciclo largo de vida, la evolución se realiza en uno o varios años acomodándose fácilmente a las aguas cerradas o que se renuevan con lentitud y en fondos que no pueden limpiarse o que se encuentren limpios (Kinkelin *et al.*, 1991).

Existe un cierto numero de parásitos que utilizan a los peces como huéspedes intermediarios, en estados larvarios, lo que hace potencialmente posible la transmisión de éstos hombre si este ingiere peces crudos o poco cocidos.

Las metacercarias digenéas de los peces que pueden infectar al hombre son miembros de las familias Opisthorchidae y Heterophyidae. El hombre puede albergarDiphyllobothrium latum; las larvas del nemátodo *Angiostrongylis* dan origen en el hombre a meningitis eosinófilas, así mismo varias especies de peces de agua dulce son fuente de infestación para el hombre por medio del nemátodo *Capillaria phillippinensis* (Roberts, 1981).

3.2 ENFERMEDADES BACTERIANAS EN PECES

Cuando hacemos referencia a enfermedades bacterianas de peces se debe entender que los peces han sido expuestos en su medio ambiente acuático a cualquier bacteria reconocida e identificada como tal y que ha causado un tipo de patología en los individuos. Con frecuencia el acuicultor o las personas que manejan los cultivos de peces crean por descuidos higiénicos o por manejo deficiente, condiciones propicias para originar enfermedades. Las infecciones se han extendido por el mundo, ya sea por traslado ilegal a través de las importaciones y comercio y no son exclusivas de una especie de pez.

La importancia que han adquirido las enfermedades infecciosas en la acuicultura se debe a las grandes pérdidas económicas que representan (Conroy y Conroy, 1997), las cuales se pueden evitar con medidas preventivas, impidiendo así las pérdidas que ocasionaría su tratamiento (cerca del 10% de la producción) y los gastos de inversión para lograr que el producto llegue a su estado final.

Las enfermedades bacterianas pueden ocasionar grandes mortalidades en los peces a corto tiempo, tanto en peces en cultivo como en especies salvajes. El agua sirve como medio de albergue y transporte de patógenos oportunistas y ubicuitarios del medio acuático (Prieto, 1991). Se dice con frecuencia que la flora normal bacteriana de los peces es reflejo de la flora bacteriana del agua en que viven (Roberts, 1981).

Entre los grupos de especies bacterianas patógenas para peces llama mucho la atención el grupo de bacterias gram negativas debido a que representa el porcentaje más alto. Sin embargo, algunas de éstas no son causantes de mortandad y pérdida en la acuicultura a nivel mundial (Barja y Estévez-Toranzo, 1988 y Baudin y Vigneulle,1996).

Es necesario tener en cuenta que algunas enfermedades bacterianas que hasta hace poco eran consideradas exclusivas de agua dulce, por ejemplo Furunculosis (*A. salmonicida*), Edwardselosis (red disease) (*Edwardsiella tarda*) y enfermedad del riñón (*Renibacterium salmoninarum*), hoy han adquirido gran importancia en cultivos marinos.

Muchos de estos patógenos como *Aeromonas hydrophila, Pseudomonas fluorescens, Vibrio anguillarum, Edwardsiella tarda* y mixobacterias son consideradas patógenos oportunistas debido a que pertenecen a la flora normal del pez sobre todo a nivel de mucosas, pero que ante condiciones desfavorables para el pez (condiciones adversas del medio ambiente, problemas fisiológicos o de estrés) pueden causar epizootias. Del mismo modo patógenos llamados obligados, debido a la necesidad del microorganismo de encontrar un hospedador conveniente, sin lo cual no podrá asegurar su desarrollo, son aislados exclusivamente de peces enfermos o moribundos. Entre estos encontramos *A. salmonicida, R. salmoninarum, Y. ruckeri, E. ictaluri,* entre otros (Barja y Estévez-Toranzo, 1988).

Cabe anotar nuevamente la importancia que tiene para la salud humana considerar el transporte y presencia en los peces de patógenos humanos, como *V. cholerae, V. alginolyticus, A. hydrophila, P. fluorescens, Salmonella tiphy y E. tarda,* entre otros. Para los cocos gram positivos se ha determinado que son serológicamente diferentes (Barja y Estévez-Toranzo, 1988 y Kinkelin *et al.*, 1991).

Los signos clínicos en los peces afectados por enfermedades bacterianas son muy generalizados o iguales en muchos casos. Hay bacterias cuya acción se manifiesta produciendo lesiones hemorrágicas y necróticas de evolución más o menos aguda; otras producen lesiones proliferativas de carácter crónico. Para ambas existen excepciones.

Algunas bacterias pueden desarrollarse de forma local y producir efectos mortales antes de que se generalice la infección. Por otra parte, existen infecciones locales de evolución lenta que pueden conducir a la invasión del organismo si las defensas son débiles o son inhibidas (Kinkelin *et al.*, 1991).

Debido a que los signos clínicos presentados en una enfermedad bacteriana son iguales en muchos casos, es necesario aislar e identificar hasta género y/o especie el agente etiológico de la enfermedad (Conroy y Vásquez, 1975 y Villanueva, 1994).

Con base en lo anterior se describirá en forma general de las bacterias que pueden ser consideradas como patógenas para peces y una breve descripción de los signos clínicos que manifiestan los ejemplares al ser atacados por ellas.

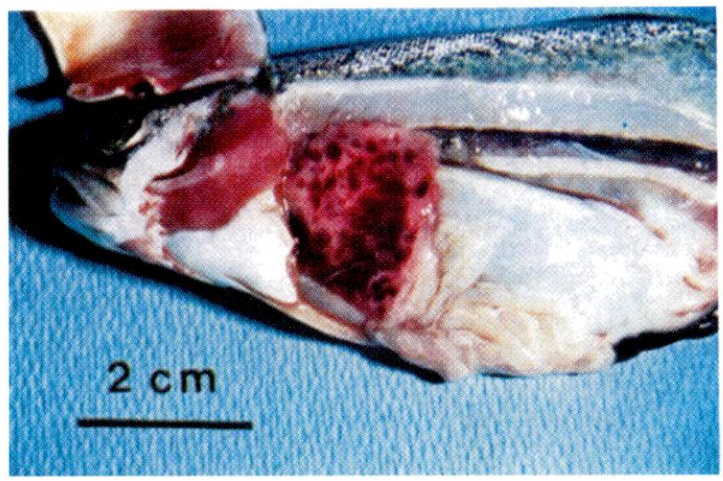


FIGURA 16. Vibriosis en trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*): se observan hemorragias hepáticas muy marcadas (Tomado de Kinkelin *et al.*, 1991).

3.2.1 Bacterias gram negativas

Familia *Vibrionaceae*
En la familia Vibrionaceae encontramos los géneros *Vibrio* y *Aeromonas*.

Género Vibrio: las enfermedades producidas por *Vibrio* reciben el nombre de Vibriosis.

Las principales pérdidas en especies marinas son producidas por *V. anguillarum, V. ordalii*, y *V. alginolyticus*. En especies de agua dulce por: *V. Salmonicida, y V. piscium. V. parahaemolyticus* se encuentra igualmente relacionado con el hombre, produciendo enteritis al consumir productos pesqueros contaminados; en peces y moluscos produce vibriosis (Austin y Austin, 1993 y Reinchenbach - Klinke, 1982).

Signos clínicos: se pueden presentar necrosis cutáneas superficiales sobre todo en la cabeza, a veces con bordes pálidos o rojizos que en el centro dejan ver la musculatura inflamada o enrojecida. Los peces afectados muestran hemorragias en la base de las aletas y cola, alrededor del ano y en la boca y decoloración de la piel. Internamente el hígado aparece claro, pálido, desarrollándose a veces necrosis focal, el bazo y el riñón muestran degeneración. En el corazón se observan focos bacterianos y hemorragias. Sin embargo, algunos peces pueden morir sin presentar síntomas. Los peces afectados tienden a permanecer inactivos con pérdida de apetito (Austin y Austin, 1993; Barja y Estévez- Toranzo, 1988) (Fig.16).

Transmisión: las infecciones por *Vibrios* son usualmente secundarias, su contagio parece ser por contacto de pez a pez o en algunos casos porque los peces son alimentados con productos de peces marinos que están contaminados con *Vibrios* (Austin y Austin, 1993).

Género *Aeromonas:* **encontramos como patógenos para peces las especies *A. hydrophila* y *A. salmonicida.***

Dentro de este género se diferencian dos grupos:

- *A. salmonicida*: en este grupo se incluye a *A. psychrophila* y *Aeromonas* no móviles.
- *Aeromonas* móviles: Incluye *A. hydrophila, A. caviae, A. sobria* siendo patógena *A. hydrophila*.

La especie *A. salmonicida* es patógena obligada, ha sido reportada en cultivos de trucha arcoiris y en Salmónidos, mientras que la especie *A. hydrophila* es patógena oportunista, pertenece a la flora normal de los sistemas dulce acuícolas (Roberts, 1981 y Kinkelin *et al.*, 1991).

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

En Colombia han sido reportadas *Aeromonas hydrophila, Aeromonas sobria y Aeromonas caviae* (Castillo, 1998 y Villanueva, 1999) como componentes de la flora normal en cultivos intensivos de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). Igualmente fue aislada en un cultivo de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss)* una cepa con características similares a *Aeromonas salmonicida* (Villanueva, 1996), sin embargo se requieren nuevos aislamientos y la caracterización molecular de las cepas aisladas que identifique plenamente la bacteria, debido a que no ha sido reportada en Colombia y es importante dado su alto poder patológico.

Las enfermedades producidas por *Aeromonas* reciben el nombre de Septicemia bacterial por Aeromonas.

Signos clínicos: para *A. hydrophila* son similares a los presentados por septicemias generalizadas como Vibriosis o Furunculosis (*A. salmonicida*). La diferencia radica en el agente etiológico de la enfermedad.

Forma hiperaguda: sin lesiones aparentes.

Forma aguda: se presentan hemorragias en branquias, alrededor del ano y en órganos internos.

Forma subaguda y crónica: abscesos y úlceras, aletas sangrientas, descarga sangrienta por ano y nariz.

Forma latente: no hay mortalidad, pero el patógeno está presente sistemáticamente.

En el caso de *A. salmonicida* se llamó a la enfermedad Furunculosis porque forma furúnculos en piel y musculatura, estos contienen bacterias, células sanguíneas y tejido necrozado. Al romperse dan salida a las bacterias y pus al agua dejando una gran lesión cutánea hemorrágica, son las llamadas úlceras de piel. Internamente se presenta necrosis del riñón, bazo agrandado y oscuro, petequias en músculo, intestino inflamado con descarga sangrienta (Figs. 17 y Fig. 18).

Esta es una de las causas bacteriales más comunes de mortalidad en el cultivo de tilapia. Esta septicemia es asociada con una infección septicémica provocada por diversos géneros y especies de bacterias gram negativas. Puede producir pérdidas del 5-100% de las tilapias cultivadas en aguas dulces y salobres (Baddour, 1992 y Conroy y Conroy, 1997).

Transmisión: Las infecciones de este tipo se pueden introducir al cultivo por la consecución de peces infectados o por las condiciones mismas del sistema acuático. También de pez a pez por descarga del intestino al agua o por rompimiento de piel y aletas. La *A. salmonicida* no puede sobrevivir mucho tiempo en el agua (Roberts y Sommerville, 1982).

Plumb *et al.* (1976) han demostrado que la infección por *Aeromonas hydrophila* es secundaria o mixta, cuando los peces están bajo condiciones estresantes (Reinchenbach - Klinke, 1982).

Familia *Pseudomonaceae*

Género *Pseudomonas:* producen la enfermedad denominada Septicemia bacterial por *Pseudomonas.*

En muchos aspectos principales, la sintomatología clínica de esta infección es parecida a la presentada en casos de Furunculosis y Vibriosis, puesto que en todos los casos se trata de una septicemia hemorrágica bactérica; la principal diferencia entre estas tres enfermedades es el aspecto etiológico de la misma (Conroy y Vásquez, 1975).

El género *Pseudomonas* posee un gran número de especies de las cuales dos son patógenas para peces. *P. fluorescens* y *P. anguilliseptica.*

P. fluorescens: es un componente de la flora normal de agua dulce y se ha considerado invasor secundario, produce septicemia hemorrágica. Se ha encontrado en asociación con mixobacterias.

En Colombia ha sido reportada *Pseudomonas fluorescens* como invasor secundario en infecciones bacteriales mixtas, acompañada con *Pseudomonas aeruginosa,* la cual es patógena para humanos.



FIGURA 17. Forunculosis en trucha arco iris. Se presentan lesiones, internas, caracterizadas por un cuadro hemorrágico generalizado. (Tomado de Kinkelin *et al.*, 1991).

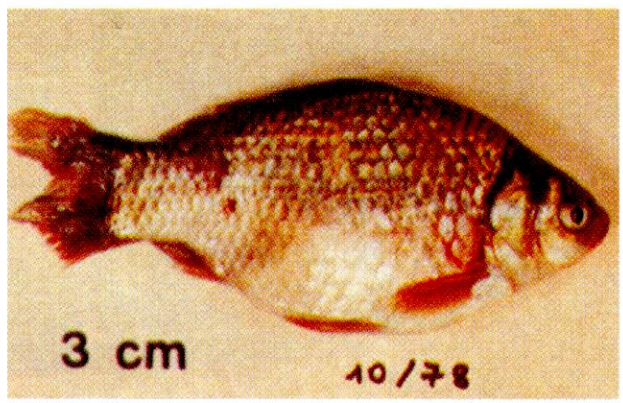


FIGURA 18. Aeromoniasis en *Carassium sp*. Se observa marcada hidropesía infecciosa, caracterizado por edemas, necrosis cutáneas y hemorragias. (Tomado de Kinkelin *et al.*, 1991).

Signos clínicos: produce lesiones hemorrágicas de piel y base de las aletas. En el interior se acumula líquido intraperitonealmente, hemorragias con petequias en branquias, riñón, hígado e intestino (Fig. 19).

P. anguilliséptica: se ha reportado como exclusiva de anguila, produciendo la enfermedad de Puntos Rojos. Esta bacteria es predominante en aguas salobres, a temperaturas de 20-27 °C, mientras que *P. fluorescens* produce mayor mortalidad a 10 -15 °C (Reinchbach - Klinke, 198 y Barja y Estévez- Toranzo, 1988).

Signos clínicos: produce petequias, hemorragias externas e internas, el riñón puede aparecer blando. En otros casos la infección puede cursar sin que el pez presente signos clínicos.

Familia *Cytophagaceae*

Género Cytophaga

Cytophaga psychrophila: produce la enfermedad del pedúnculo o enfermedad de agua fría. Ha sido reportado en trucha arco iris, generalmente en alevinos y juveniles de 3-4 meses de edad y en cultivos de Salmónidos.

Signos clínicos: está asociada a lesiones de piel a temperaturas inferiores a 10°C. Las lesiones se limitan a piel, aletas y músculo, principalmente en el pedúnculo, esta lesión adquiere una coloración blanquecina, llegando a

erosionar por completo la aleta caudal dejando expuesto el músculo. En estado avanzado de la enfermedad se puede aislar de órganos internos. Generalmente los peces afectados se tornan de color oscuro (Conroy y Vásquez, 1975 y Conroy y Conroy, 1997) (Fig .20).



FIGURA 19. Hidropesia por infección mixta (Tomado de Untergasser, 1989).



FIGURA 20. Trucha arcoiris afectada por Myxobacteriosis (*Cytophaga sp.*). Se observan lesiones hemorrágicas desgarradas, dejando al descubierto la musculatura. (Tomado de Kinkelin *et al.*, 1991).

Familia *Enterobacteriaceae*

Encontramos dos géneros de importancia en Acuicultura, género *Edwardsiella* y género *Yersinia*.

Género *Edwardsiella*: produce la enfermedad denominada Edwardsellosis. Pertenecen a este género *E. tarda* y *E ictaluri*. *E. Ictaluri,* causa la enfermedad "septicemia entérica de Catfish" o agujero en la cabeza.

Signos clínicos: en la Edwarselosis producida por *E. ictaluri* los peces pueden morir con o sin pocos síntomas (forma aguda). En la forma crónica perfora el tejido cartilaginoso de la cabeza (Austin y Austin, 1993).

E. tarda produce diarrea en el hombre. En peces produce Edwardsellosis. En Colombia se aisló en cultivos intensivos de tilapia roja en Gigante (Huila) sin estar produciendo enfermedad (Villanueva, 1998). En *E. Tarda* se presentan pequeñas lesiones cutáneas que se extienden hacia la musculatura interna, nado letárgico sobre sus lados y en la superficie, abdomen abultado, ojos opacos, algunas veces con hemorragias. Internamente se puede presentar peritonitis de evolución rápida y necrosis del tejido hepático y renal. Suelen encontrarse burbujas gaseosas de olor desagradable en músculos, riñón e hígado (Austin y Austin, 1993).

Género *Yersinia*: pertenece a este género *Y. ruckeri*. Sin embargo, Stevenson y Daly (1982) han demostrado a nivel serológico reacción cruzada con *Hafnia alvei* y se ha demostrado igualmente similaridades bioquímicas con *Enterobacter liquefaciens, Serratia marcescens* subsp. *kiliensis* y *Arizona arizona* (Austin y Austin, 1993). *Y. ruckeri* parece ser componente de la flora de agua dulce, es el agente responsable de la enfermedad de boca roja en trucha. A la fecha no ha sido reportada en Colombia.

Signos clínicos: en *Y. ruckeri* se presenta inflamación y erosión de mandíbulas y paladar, enrojecimiento de boca y garganta por una hemorragia subcutánea, oscurecimiento de la piel, hemorragia en la base de las aletas, exoftltamia bilateral y aletargamiento. Internamente parece una bacteremia, hipertrofia del bazo y hemorragias en el músculo. La enfermedad puede aparecer sin síntomas (forma aguda) hasta oscurecimiento de piel y exoftalmia (forma crónica). (Austin y Austin, 1987, 1993 y Stoskopf, 1993) (Fig. 21).

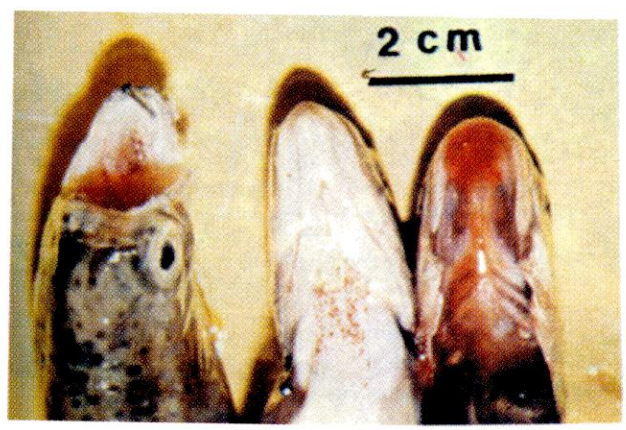


FIGURA 21. Truchas arcoiris afectadas por *Yersinia sp.* Se observan hemorragias localizadas en la región cefálica y en la cavidad bucal (boca roja). (Tomada de Kinkelin *et al.*, 1991).

3.2.2 Otros bacilos gram negativos

Flavobacterium columnare

Columnaris es el nombre que recibe la enfermedad producida por *Flavobacterium columnare*, que anteriormente recibía el nombre de *Flexibacter columnaris* (Plumb, 1997).

Este género bacteriano es ubicuitario de ecosistemas dulceacuícolas, ricos en materia orgánica y no son específicos para una sola especie de pez. En cultivos de tilapia roja ha sido reportado como componente normal del ecosistema acuático (Villanueva, 1996 y Castillo, 1998).

Signos clínicos: los signos frecuentes en infecciones por *F. columnare* son daño en la piel, aletas, branquias (siendo la causa principal de muerte). Los peces infectados nadan letárgicamente o flotan en la superficie. Usualmente se presenta deshilachamiento de las aletas y/o manchas de forma irregular en el dorso y cabeza. Algunas veces las manchas progresan y se presentan lesiones necróticas pálidas de varios tamaños (úlceras crateriformes). Los peces afectados se oscurecen y mueren rápidamente. No se han señalado signos clínicos internos en los peces infectados (Plumb y Bowser, 1983; Roberts, 1981 y Roberts y Sommerville, 1982).

Existen reportes de varios autores acerca del factor desencadenante de la infección. Conroy y Vásquez (1976) la reporta como indicador de mala calidad del agua y acumulación de materia orgánica, demuestran que la tilapia nilótica fue más susceptible a columnaris en pH muy ácido o alcalino y menos a pH neutro. Roberts y Sommerville (1982) reportan la enfermedad asociada a temperaturas bajas del agua.

De todos los aislados de *F. columnare,* siete han sido asociados a las enfermedades, condicionados por el factor estresante. Sin embargo, aunque la columnaris se ha considerado como infección secundaria, puede llegar a ocurrir sin alguna causa de estrés o daño (Amin *et al.,* 1988; Lorenzen *et al.,* 1997 y Lorenzen y Olessen,1997).

***Flavobacterium* sp.**

Produce una infección poco frecuente asociada con la enfermedad bactérica de las branquias (*Plesiomonas shigelloides*) y cuando se presenta va acompañada con parásitos externos.

Signos clínicos: la enfermedad se ha descrito de dos formas:

- La enfermedad cursa con como una septicemia hemorrágica típica asociada con signos nerviosos cuando la bacteria produce una neurotoxina, o
- la enfermedad se produce como una granulomatosis crónica en la cual las lesiones se encuentran distribuidas por todo el sistema nervioso central y en las vísceras (Plumb, 1997).

Haemophilus piscium

Agente etiológico de la enfermedad de la úlcera. Esta enfermedad se presenta principalmente en cultivos de truchas. Según Conroy y Vásquez (1975) la enfermedad de la úlcera está limitada al continente norteamericano. A la fecha no ha sido reportada en Colombia.

Signos clínicos: esta enfermedad se caracteriza por un pequeño abultamiento focal en la superficie del cuerpo, con hiperplasia epidérmica blanquecina, que se desprende y produce unas úlceras superficiales con bordes blancos. Estas úlceras no penetran el cuerpo pero se pueden extender sobre su superficie. Puede erosionar boca y aletas. La infección de la úlcera puede desencadenarse en una septicemia con sus características hemorrágicas. Algunos autores sugieren que se puede encontrar asociada a *Aeromonas salmonicida* y otros la han separado del género *Haemophilus* y la han considerado como una variante acromogénica de *A. salmonicida* (Austin y Austin, 1993).

3.2.3 Bacterias gram positivas

Estreptococos

Son bacterias gram positivas, ovoides o esféricas, dispuestos en pares o cadenas inmóviles. Esta bacteria es de gran importancia, debido a que es un problema patológico relativamente reciente y porque está íntimamente relacionado con la salud humana. El primer reporte fue realizado por Wu (1970) en Taiwan, en un cultivo de tilapia en el que provocó mortalidades masivas. El estreptococo aislado se identificó como *Streptococcus pyogenes* beta-hemolítico. Posteriormente el patógeno se ha desarrollado dentro de los cultivos de Tilapia a nivel mundial, es así como se ha

aislado en Japón, Taiwan, Israel, Arabia Saudita, Estados Unidos (Conroy y Conroy, 1997) y se han postulado como una emergencia en Patología Humana (Berridge *et al.*, 1997).

Hubert ha declarado que indudablemente esta enfermedad representa un peligro para cultivadores comprometidos en acuicultura de agua cálidas (Plumb y Bowser, 1983).

Existen varias especies de estreptococos implicados en enfermedades de tilapia como son *S. iniae, Enterococcus, S. faecium,* y *S. agalactiae*. Igualmente en Texas se reportó a *S. iniae* como el agente causante de mortalidad en tilapia. *S. shiloi,* y *S. difficile* se han asociado a meningo encefalitis en Israel hacia 1980 (Eldar *et al.*, 1999). Se ha demostrado que *S. shiloi* de una especie de Israel fue igual a *S. iniae* de las tilapias de Taiwan y Texas, por medio de la técnica de hibridación DNA-DNA; estos resultados demuestran igualmente que estos estreptococos pueden ser cosmopolitas en su distribución (Plumb y Bowser, 1983).

La enfermedad se transmite al hombre por medio de heridas producidas en la piel en el momento de la pesca o por pinchazos en el momento de la limpieza de los peces. Los signos clínicos observados en humanos son celulitis, laringitis, fiebre, enrojecimiento e inflamación localizada en las manos o brazos (Plumb y Bowser, 1983).

En Colombia fue reportado en 1994 (J.Cuéllar, comunicación personal) en un cultivo de tilapia roja (*Oreochromis* spp.) de Prado -Tolima y se presume que está emergiendo como un problema en las tilapiculturas a nivel nacional.

Signos clínicos: los peces pueden presentar nado errático o girando en la superficie (signos de meningo encefalitis), cambio en la pigmentación de la piel, curvatura del cuerpo, exoftalmia uni o bilateral, hemorragia en ojos, opacidad de la córnea, hemorragias en el opérculo y lesiones necróticas que involucran aletas, piel y músculo. Internamente, se puede observar ascitis sanguinolenta, hígado pálido, bazo grande y oscuro y el intestino puede tener líquido sanguinolento (Berridge *et al.*, 1997; Conroy y Conroy, 1997 y Plumb y Bowser, 1983). Debido a que las manifestaciones de la enfermedad en muchos casos se pueden confundir con problemas de tipo nutricional, parasitario o presentarse contaminación en la manipulación de las muestras, es indispensable aislar e identificar correctamente el agente etiológico.

La enfermedad estreptocócica es más susceptible de iniciarse en aguas con salinidades de 15-30 ppm a 25-30° C, aunque hubo diferencia en temperaturas de 20° C, en las cuales no es tan activa (Chang y Plumb, 1996)

Igualmente se han aislado en salmónidos, donde con mucha frecuencia se encuentra asociado con una miopatía y septicemia generalizada (Conroy y Vásquez, 1975).

Corynebacterium

Son bacilos gram positivos, no esporulados.

Signos clínicos: los peces afectados toman una coloración oscura, con exoftalmia ocasional y pequeñas hemorragias en la base de las aletas pectorales. Al realizar la autopsia se presentan lesiones localizadas en el riñón de color blanco en forma de nódulos granulomatosos, rodeados de una zona de hiperemia (Bullock, 1971 y Conroy y Vásquez, 1975) (Fig. 22).

Mycobacterium

Son bacilos rectos o ligeramente curvos gram positivos. Son ácido-alcohol resistentes. Existen dos especies relacionadas por producir enfermedades en peces: *Mycobacterium marinun* y *Mycobacterium fortuitum.*

Signos clínicos: los peces afectados pueden presentar adelgazamiento extremo, oscurecimiento de la piel y distensión abdominal. Internamente se observan tubérculos en forma de pequeñas vejigas en todos los órganos especialmente en hígado, bazo y riñón.

Mycobacterium fortuitum crece más rápidamente que *M. marinum*. Ambas especies son transmisibles al hombre, produciendo infección y/o hipersensibilidad en piel (Kinkelin *et al.*, 1991y Austin y Austin, 1993).

3.3 HONGOS Y MICOSIS

Las micosis pueden incluirse en principio dentro del vasto grupo de las parasitosis. Las micosis de los peces constituyen el aspecto más confuso y el menos explorado de la ictiopatología.

Una serie de ficomicetos y de hongos imperfectos forman parte de algunas enfermedades en peces; algunos hongos sin clasificación definida, así como ciertas algas, han sido reconocidos como responsables de lesiones en los peces.

De las enfermedades producidas por hongos las más importantes e incluso las más estudiadas son las causadas por los hongos del género *Saprolegnia* sp. (Fig. 23).



FIGURA 22. Corinebacteriosis del salmón, se observan lesiones renales caracterizadas por hipertrofia y proliferación de tejido intersticial y presencia de focos granulomatosos (Tomado de Kinkelin *et al.*, 1991).

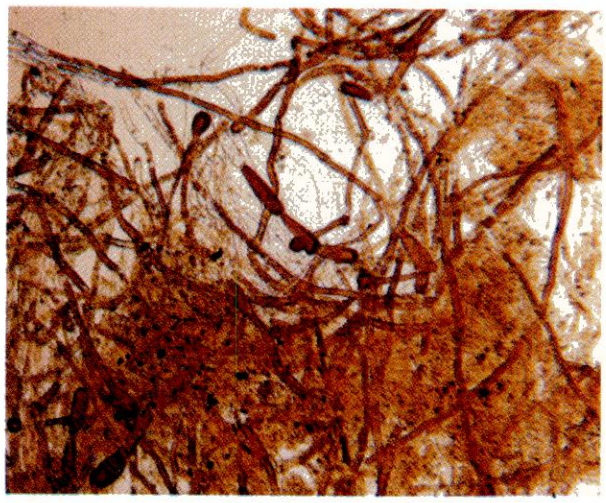


FIGURA 23. Hifas de *Saprolegnia* sp. en montajes frescos. (Tomado de Untergasser, 1989)

El término **saprolegniasis** se usa para describir una infección de la piel y de las branquias, pero como también puede tratarse otro tipo de hongos es necesario identificar previamente el agente etiológico antes de utilizar éste término.

La infección micótica de los peces depende de varios factores que influyen tanto en el pez como en el hongo cuya combinación más que la acción individual es la que conduce a la infección. Se ha considerado que los hongos de este grupo son patógenos secundarios, debido a que las lesiones se observan después del manejo y a continuación de cualquier daño traumático en la piel.

La temperatura reviste gran importancia en el desarrollo de infecciones por *Saprolegnia sp.*, la mayoría de estos brotes surgen cuando las temperaturas son bajas, sin embargo las que se producen después de un daño mecánico pueden surgir a cualquier temperatura. Las lesiones se presentan en forma de manchas blanco-grisáceas, sobre la piel del pez; si se observan bajo el agua tienen aspecto algodonoso debido al micelio del hongo. Las lesiones son mucho más frecuentes en piel y branquias, aun cuando se han citado algunas infecciones internas (Roberts, 1981).

Igualmente se mencionan algunas micosis sistémicas: Micosis sistémica del pez gato descrita a partir de úlceras en la piel y nódulos; a partir de estos últimos se encontraron hifas y fue identificado como pertenecientes a la familia *Dimatiaceae*.

Micetoma cerebral: el agente causal de esta enfermedad es el denominado *Exophiala salmones*, causante de un granuloma crónico con presencia de numerosas células gigantes que se observó a partir de cerebro y zona craneal (Roberts, 1981).

Infección por Scolecobasidium: los peces afectados muestran abdomen abultado y lesiones de piel; asociado al mismo se observó ascitis, adherencias y zonas grisáceas en los órganos internos. La descripción del agente lo hace semejante al hongo *Scolecobasidium sp.* por lo que se asume que este hongo puede ser otra especie de este género.

Infección por Sphaeropsidales: los brotes de la enfermedad no sobrepasan normalmente el 5% y afecta usualmente a los alevinos. Se aisló el hongo *Phoma herbarum*, a menudo los peces presentan hinchazón anal con lesiones hemorrágicas en la piel y aletas (Roberts, 1981).

Infección por Ichthyosporidium: la enfermedad es una granulomatosis sistémica que se presenta en muchas especies de peces tanto marinos como de agua dulce y se manifiesta por una aspereza de la piel conocida como efecto de papel de lija, que se presenta sobretodo en la región caudal latero-ventral.

Branquiomicosis: esta enfermedad, también conocida como podredumbre de las branquias, debida al crecimiento intravascular de hongos *Branchiomyces sp.*, que se localiza en los vasos sanguíneos de las branquias. La enfermedad parece recibir estímulo en presencia de aguas enriquecidas con fertilizantes orgánicos, algas y temperaturas superiores a 20°C. No se conoce ningún tratamiento curativo de la enfermedad (Reichenbach, 1882).

Infección por Dermocistidium: la infestación masiva ocurre en las branquias,lo cual impide el cierre físico de los opérculos, al mismo tiempo se observan daños en las aletas y la piel.

Muchas infecciones fúngicas son detectables a simple vista y puede confirmarse su presencia mediante la realización de un frotis o raspado para ver micelos y esporas. Cuando la infección es interna los frotis se realizan a partir de los órganos internos o de las anomalías observadas.

3.4 ENFERMEDADES VIRALES

Los virus (del latin "virus" = veneno) son agentes infecciosos que tienen un tamaño que oscila entre 18 y 300 nm (nanómetro = 1×10^{-9} m); el tamaño de cada partícula de un determinado virus es constante. El material genético puede ser DNA o RNA, pero nunca los dos. Los virus se reproducen únicamente en las células vivas del huésped.

La clasificación de los virus se hace atendiendo las propiedades bioquímicas, biofísicas y morfológicas del virión correspondiente. La virología en los peces es una ciencia relativamente joven (Tabla 1).

TABLA 1. Virus clasificados de peces. (Tomado de Reichenbach-Klinke, 1982)

Ácido nucleico	Virus aislados	Grupo de virus	Virus observados con microscopio electrónico
DNA	Channel catfish virus (CCV) *Herpesvirus salmonis*	Herpes	Epitelioma papiloso de la carpa *Herpesvirus scophthalmis*
DNA	Virus linfoquístico (LCV) Virus Egtved (VHS)	Irido	Necrosis vírica de los eritrocitos (VEN)
RNA	Virus de la necrosis hematopoyética infecciosa (IHN) Rhabdovirus carpio (Spring viremia of carp virus) (SVCV) Pike fry rhabdovirus (PFR)	Rhabdo	
RNA	Eel virus American (EVA) Eel virus Europena (EVEX) Rhabdovirus aislado de peces de hierba (GRV).	Rhabdo	
RNA	Bluegill virus Eel virus 2 (EV-2)	Ortomyxo	

Actualmente se asigna a los peces un papel importante como productores de proteína, con lo cual se ha incrementado la acuicultura; con este fin se han creado ambientes artificiales, lo que ha hecho que se creen poblaciones de peces más susceptibles a los agentes infecciosos que sus congéneres del medio natural.

Existe una marcada diferencia entre los virus de los animales de sangre caliente y los peces, en estos últimos la temperatura correspondiente a la capacidad de réplica juega un papel muy importante así como la especificidad de los hospedadores. Los virus de los peces de aguas frías se multiplican generalmente entre 4°C y 24°C; mientras que los de peces de aguas templadas lo hacen entre 15°C y 30°C. Los virus que afectan los peces silvestres no toleran más de 37°C.

El curso clínico de una infección vírica puede estar influenciado de manera decisiva por variación de temperatura.

Se ignora el mecanismo de penetración de los virus (reconocimiento de los receptores celulares, fusión de membranas o fagocitosis por la célula hospedadora, paso directo, intercelular, en la circulación sanguínea), e incluso la vía de penetración de los diferentes virus esta lejos de demostrarse con certeza (Kinkelin *et al.*, 1991).

La vía digestiva y branquial parecen ser las más probables en la mayoría de las infecciones y especialmente en las producidas por los rhabdovirus de los salmónidos. Por otra parte, parece que el virus de la VPC puede penetrar por la piel a través de heridas producidas por un crustáceo parásito.

Las virosis más importantes están provocadas por virus líticos propagados por la vía sanguínea y linfática. Es pues evidente que su poder patógeno proviene de la destrucción celular que entraña su multiplicación en los órganos, a los que alteran en su funcionamiento normal. Por lo tanto una viremia persistente es un mal pronostico (Kinkelin *et al.*, 1991).

Hasta el presente no se conocen casos de personas infectadas con virus patógenos para los peces. Sin embargo se debe aclarar que los peces pueden servir de vectores de otros virus animales.

Para realizar diagnósticos de enfermedades virales resulta de gran ayuda la utilización de técnicas histológicas y la observación al microscopio electrónico. Esto no descarta ni elimina los cultivos en líneas celulares vivas.

Como técnicas de diagnóstico utilizadas en virología se pueden mencionar:

- Identificación directa del virus sin cultivo a través de inmunofluorescencia de cortes de tejidos y microscopía electrónica.
- Identificación directa del virus con cultivo mediante utilización de líneas celulares vivas de peces.

4. PROBLEMAS NUTRICIONALES

En algunas especies en el estado de larva y alevino se presentan dificultades en el suministro y aceptación del alimento y muchas veces se presenta alta mortalidad.

Con la introducción de concentrados con dietas balanceadas para las diferentes especies de peces, los problemas patológicos debido a desnutrición se hacen cada vez más escasos; sin embargo, se continúan presentando problemas por composición incorrecta de dietas, materia prima inadecuada para la elaboración de concentrados o raciones mal formuladas; ésta última se presenta con frecuencia en algunas granjas donde se elabora el concentrado.

Los problemas nutricionales se manifiestan con pérdidas de peso, baja mortalidad, mala conversión y malformaciones óseas como opérculo recortado; otros problemas nutricionales son ocasionados por deficiencias vitamínicas, de minerales, grasas inadecuadas e intoxicaciones.

a) **Deficiencias en vitaminas:** la deficiencia en vitaminas liposolubles (A,D,E y K) se manifiesta en peces débiles con crecimiento incipiente, ceguera, malformaciones óseas y problemas de coagulación.

   Las deficiencias de vitaminas del grupo B (hidrosolubles) son comunes cuando se suministran concentrados, cuya materia prima es harina de arenque, la cual contiene la enzima tiaminasa que destruye la tiamina (B1) y ocasiona ceguera, pérdida de equilibrio y convulsiones nerviosas. La deficiencia en vitamina B2 (riboflavina), ocasiona en los peces alteraciones en los ojos, tales como: cataratas, hemorragias internas y en el aspecto del cuerpo, coloración oscura.

   La deficiencia de ácido pantoténico parece ser una de las causantes de la enfermedad nutricional de las branquias que es bastante común en la trucha y se caracteriza por la pérdida de apetito y boqueo constante a consecuencia del engrosamiento y posterior unión de las láminas branquiales. La diferencia con las otras enfermedades de las branquias es debida a que en esta se presenta la fusión de las láminas.

b) **Deficiencia en minerales:** la carencia en uno o mas minerales esenciales (fósforo, calcio, magnesio, hierro, zinc, manganeso, cobre, selenio, yodo) puede afectar a los peces, presentándose sintomatologías muy diversas que van desde crecimiento reducido, deformación del esqueleto, calcificación anormal de espinas y radios de las aletas, aumento en el depósito de grasas, mala conversión, cataratas, inapetencia, flacidez muscular, hasta altas mortalidades. Por ejemplo la deficiencia de yodo puede producir inflamación en la glándula tiroides; la falta de calcio se manifiesta en crecimiento y eficiencia alimenticia reducida e inapetencia.

c) **Grasas:** los salmónidos especialmente, tienen necesidad de un ácido graso por lo menos; los alimentos con niveles altos de grasas insaturadas (desechos de mataderos) ocasionan la degeneración lipoide del hígado, que manifiestan un aspecto bronceado, y en casos graves inflamado; los otros órganos presentan hemorragias y palidecimiento de las branquias.

d) **Intoxicaciones por aflatoxinas:** es común en los peces, especialmente en trucha, encontrar el hígado con tumores lo cual es típico de la intoxicación por aflatoxinas. Esta toxina es producida por hongos del género

Aspergillus que proliferan en concentrados mal elaborados o mal almacenados, favoreciendo que se extiendan rápidamente y cuando el pez ingiere este alimento, va acumulando la aflatoxina en el hígado hasta producirse los hepatomas.

5. CONTROL DE ENFERMEDADES

La explotación intensiva de los peces hace siempre necesarias la profilaxis y la terapia. A parte de las sustancias que sirven para controlar el excesivo crecimiento de plantas acuáticas y la desinfección de estanques, hay numerosas sustancias quimio-terapeúticas, así como colorantes orgánicos y aditivos vitamínicos que se administran al pez en el agua, en forma de baños, inyecciones parenterales , por vía oral o mediante el alimento.

Dado que las condiciones de producción varían de una granja piscícola a otra, deberán ajustarse las cantidades del principio activo determinado para la enfermedad a tratar. En caso de que se empleen los productos terapéuticos en forma de baños, o en el estanque, ante todo ha de tenerse en cuenta la sustancia química a utilizar y las características físico-químicas del agua.

Como medida de seguridad es conveniente hacer una prueba, con unos pocos peces para evitar mortandades imprevistas.

Sólo pueden obtenerse efectos terapéuticos decisivos, cuando el tratamiento con medicamentos de los peces va acompañado de medidas profilácticas (higiene de los estanques, lucha contra los hospedadores intermediarios y vectores, desinfección, etc.).

Es recomendable la prevención de los riesgos de enfermedad que el tratamiento de la misma cuando ésta ya se ha establecido.

Como consecuencia, al variar el equilibrio biológico entre agentes patógenos y huéspedes, las enfermedades de los peces se han visto aumentadas y se han difundido dentro de los países y fuera de ellos mediante el traslado de ejemplares y/o sus productos sexuales, por tal razón se han puesto medidas de control a nivel internacional con el fin de evitar brotes epidémicos de enfermedades; precauciones similares han tomado los diferentes países implementando precauciones de seguridad para evitar el ingreso de agentes patógenos a sus territorios.

5.1 DESINFECCIÓN

Este proceso se utiliza para eliminar o inactivar patógenos, la acción del desinfectante sobre los microorganismos y/ o parásitos depende de varios factores, entre los cuales vale la pena destacar los siguientes:

- Poder microbicida del desinfectante
- Características fisico-químicas del agua, como temperatura, dureza, etc.
- Concentración del desinfectante
- Duración de la exposición al desinfectante
- Dosis o cantidad a usar del desinfectante
- Método de aplicación
- Resistencia del patógeno a la acción del agente químico o desinfectante.

5.1.1 Principales desinfectantes utilizados en acuicultura

De acuerdo con sus características químicas se pueden clasificar en compuestos alcalinos, aldehídos y clorados. Para la aplicación de los compuestos aldehídos y de los clorados las concentraciones se preparan sobre la base del porcentaje de ingrediente activo, aplicando la siguiente fórmula:

$$X = \frac{A \times B}{C}$$

A: Concentración de la sustancia a preparar

B: Cantidad de la misma

C: Porcentaje de ingrediente activo de la sustancia a utilizar

X: Cantidad de sustancia sin diluir necesaria para preparar la cantidad de solución (B) a la concentración requerida (A)

Compuestos alcalinos: la acción desinfectante está dada por la capacidad de liberar iones OH^- que se caracterizan por su alto poder germicida en soluciones acuosas.

Soda cáustica o hidróxido de sodio: posee entre el 95 y 98% de sustancia. Hay que tener especial cuidado en su almacenamiento, debido a que reacciona con el dióxido de carbono del aire, perdiendo su poder germicida. Su mayor acción germicida se obtiene en soluciones entre el 2 y 4%. Cuando hay alta concentración de gérmenes esporulantes se emplea hasta el 10%.

Cal: la cal viva (CaO), en forma de polvo seco, no tiene acción desinfectante y por consiguiente es necesario agregarle agua. Para su aplicación se debe preparar añadiendo 1kg de cal a un litro de agua, con el fin de obtener cal apagada; posteriormente se agrega de 4 a 9 litros más de agua, dependiendo de la concentración a la cual se vaya a utilizar del 10 al 20%; es necesario utilizarla después de la preparación, ya que pasadas 10 horas pierde su poder desinfectante.

Compuestos clorados: su poder desinfectante se debe a su acción oxidante, hay que tener especial cuidado en su aplicación debido a que se inactiva en presencia de materia orgánica.

Cal clorada: su acción se debe a que en solución acuosa libera oxígeno y cloro activo, que son los que ejercen la actividad germicida. Se deben tener precauciones en su almacenamiento, el cual se realiza en lugares frescos, secos y oscuros. Así mismo no debe calentarse a temperaturas superiores a los 25°C, para evitar pérdidas de cloro.

Hipoclorito de calcio: posee gran capacidad oxidante, su actividad es 2.2 veces más efectiva que la cal clorada.

Hipoclorito de sodio y potasio: compuestos muy similares al anterior.

Para las sustancias anteriores se recomienda su uso a concentraciones del 2 al 5% de cloro activo.

Aldehidos

Formol: como desinfectante se usa entre el 1 al 4%, debido a que posee 40% de sustancia activa, su preparación es una parte de formol en 39 partes de agua, para obtener una concentración del 1%.

5.1.2 Procedimientos para la desinfección de estanques y artes de pesca

Para el caso de estanques es práctico utilizar el método de dispersión, debido a que este permite que se distribuya uniformemente. Para artes de pesca y otros elementos, se recomienda la inmersión de estos en la solución escogida. En la tabla 2 se presenta la forma de emplear algunos desinfectantes.

5.2 CONTROL

Una gran variedad de drogas y productos químicos han sido usados en acuicultura. Algunos son eficaces en el tratamiento, pero son excesivamente costosos, difíciles de conseguir, nocivos al hombre y perjudiciales para el medio ambiente. De ahí la necesidad de realizar un adecuado manejo de los peces y del agua, con el fin de prevenir brotes de enfermedades que muchas veces son difíciles de erradicar y con altos costos para su control. Para un efectivo control es necesario que se conozca el manejo de la droga y sus contraindicaciones.

TABLA 2. Guía para el empleo de desinfectantes en estaciones de cultivo (tomado de Prieto *et al.*, 1991).

Desinfectante	Concentración (%)	Aplicación
Cal clorada	40	Estanques de concreto y tierra
Cal viva	1-20	Estanques de concreto y tierra
Formol	3-5	Estanques, artes de pesca, ins trumentos de muestreo, cajas transportadoras.
Soda cáustica	2-3	Estanques de concreto y tierra, cajas transportadoras
Verde malaquita	0.0005	Incubadoras y canaletas
Compuestos de amonio cuaternario	Según indicación de los fabricantes	Artes de pesca, manos, telas

A continuación se relacionan algunas sustancias útiles para el control de las más corrientes enfermedades:

Ácido acético glacial: se emplea en infecciones parasitarias producidas por *Costia sp.* y protozoarios ectoparásitos, así como monogéneos de la piel y branquias. Los peces se sumergen en una solución de ácido acético glacial disuelto a razón de 1 litro en 500 litros de agua durante 30 segundos.

Ácido pícrico: se recomienda para el tratamiento de diferentes enfermedades de la piel, causadas por gusanos, tales como la enfermedad del punto negro.

- La solución madre se prepara disolviendo 1 g en 100 cc de agua caliente y se agita constantemente.
- Tomar de 2 a 7 cc de la solución madre por cada litro de agua y se calcula según la capacidad del estanque.
- Colocar los peces en la solución preparada durante una hora, o un poco más, de acuerdo con la seriedad de la enfermedad.
- Sacar los peces del baño después de la exposición y colocarlos en agua limpia y corriente.

Ácido salicílico: se emplea de manera general en las enfermedades de los peces, sólo que produce efectos irritantes sobre la mucosa que cubren la piel y las branquias, pero se ha señalado como el medicamento más efectivo contra las enfermedades difíciles como es el caso de la Dactylogyrosis, cuando otros agentes químicos no son efectivos.

- La solución madre se hace disolviendo 1 g por cada litro de agua caliente.
- Tomar de 10 a 12 cc de la solución madre por cada litro de agua, se calcula según la capacidad del estanque.
- Los peces se colocan en esta solución por un tiempo no mayor de media hora.
- Cuando los peces muestren signos de angustia deben colocarse inmediatamente en agua limpia.

Acriflavina: es considerado 100 % de ingrediente activo. Es un colorante fotosensible que puede causar con su descomposición efectos tóxicos, por lo tanto se recomienda aireación artificial y poca intensidad de luz durante el tratamiento. Debido al costo del producto no es práctico usarlo en grandes volúmenes de agua.

Se emplea en enfermedades bacterianas y parasitarias como la enfermedad del terciopelo, para evitar infecciones secundarias y daño en los tejidos. Sin embargo, debido a que es una sustancia muy ácida, su reacción es fuerte y peligrosa cuando se utiliza en agua ligeramente ácida.

Para los tratamientos el tiempo varía de 30 minutos a 24 horas. Se recomienda reducir el tiempo de exposición de los peces a esta droga, debido a produce esterilidad temporal, aún cuando la fertilidad se recupera después de un periodo de siete meses.

La acriflavina NUNCA DEBE SER USADA para el tratamiento de la micosis de los huevos, porque puede generar alevines deformes, además puede heredarse debido a la reacción directa existente en las células embrionarias, donde pueden causar mutaciones en el epitelio germinal de las gónadas, resultando defectuosa la progenie de la segunda y demás generaciones.

Igualmente el uso indiscriminado de antibióticos trae problemas de cepas bacterianas resistentes. La principal alerta está dada porque los antibióticos utilizados normalmente son de uso humano.

Productos de amonio cuaternario: productos con 100 % de principio activo, solubles en agua, se utilizan para el control de bacterias externas especialmente en salmónidos; se debe usar con precauciones y de acuerdo a la dureza del agua, es más tóxico en aguas blandas. Así mismo pierde efectividad en presencia de materia orgánica y pH alto.

Cloruro de Amonio: se emplea en el tratamiento de Girodactilosis. Se recomiendan dosis de 10-25 g por litro de agua en forma de baño por 10 -15 minutos. La diferencia de concentración y de tiempo de duración está dado por el grado de infestación y por la especie a tratar.

Azul de Metileno: se emplea en el tratamiento de la Ichthyophthiriasis (punto blanco), tremátodos de la piel y branquias y como un medicamento de alivio en todos los casos de enfermedad de las branquias donde los peces presentan dificultad para respirar.

La droga se usa como un baño permanente y la cantidad total requerida se agrega en dos partes con un intervalo de un día, mientras que en casos graves la concentración puede ser incrementada durante los días siguientes.

- La solución madre es una dilución de 1g en 100 cc de agua caliente
- Tomar tres gotas de la solución madre por litro de agua. En casos avanzados de enfermedad la dosis puede incrementarse en seis gotas por litro de agua.
- La dosis recomendada par baños cortos es de 1g por 100 litros de agua durante 5 minutos

Tiene la desventaja de reducir su efectividad en presencia de materia orgánica en el agua. Se puede usar en estanques, pero presenta el grave problema de disminuir la producción de oxígeno debido a que el color azul que le imparte al agua actúa como filtro de los rayos solares disminuyendo la fotosíntesis.

Cloro (Hipoclorito de sodio): desinfectante de los utensilios de la granja (no metálicos); el ingrediente activo se evapora con facilidad expuesto al aire lo que hace necesario renovarlo periódicamente.

Cloruro de sodio: su valor terapéutico está basado en dos acciones:

- Causa incremento de mucus que cubre la piel del pez y en su desprendimiento remueve los organismos adosados a ella.
- Aumenta el peso específico del agua y cambia la presión osmótica haciendo reventar algunos parásitos externos.

El tratamiento con sal no debe llevarse a cabo en presencia de hierro galvanizado, debido a la formación de sales de zinc, las cuales son altamente tóxicas.

Se emplea en el tratamiento de enfermedades de la piel producidas por diferentes especies de ectoparásitos (protozoarios y vermes). Así como en casos severos de enfermedades bacterianas.

No se recomienda usar el tratamiento de sal permanente en un estanque colectivo debido que la concentración de la solución tendría un efecto desfavorable sobre el crecimiento de las plantas. No debe efectuarse en utensilios de metal galvanizado o zinc, debido que el compuesto resultante es altamente tóxico para los peces.

Óxido di-N- Butil estaño: se utiliza para el tratamiento de parásitos del tracto intestinal, tales como helmintos (nematodos, tremátodos digenésicos, acanthocéphalos, céstodos). Para su uso es necesario incorporarlo al alimento en una proporción de 200 - 250 mg por kilo de peces durante 5 días.

Formol: es efectivo para el tratamiento de ectoparásitos tales como *Costia, Trichodina, Ichthyophthirius* y tremátodos monogenésicos. También es eficaz en el tratamiento de hongos y bacterias externas en concentraciones entre 1600 - 2000 ppm durante 10 - 15 minutos. Existen soluciones de formol que contienen alcohol metílico para evitar la formación de paraformaldehido, el cual es altamente tóxico y por consiguiente no debe usarse.

La solución de formol a utilizar debe ser libre de paraformaldehido que puede ser reconocido como un precipitado de color blanco en el fondo o lados del recipiente. La formación de paraformaldehido es acelerada en presencia de luz y en baja temperatura. El formol comercial viene al 37-40 %, pero para los fines de tratamiento debe considerarse 100 % activo.

En estanques de baja circulación puede causar disminución del oxígeno. Se ha comprobado que el formol reduce 1 ppm el oxígeno por cada 5 ppm usados y en temperaturas por debajo de 18°C debe usarse con precaución porque puede desnudar al pez del mucus que recubre su cuerpo. Cuando se aplica a estanques se aconseja proveer aireación artificial con el fin de evitar bajas de oxígeno.

Los peces bajo tratamiento deben ser observados y al primer signo de toxicidad debe suministrársele agua al estanque con el fin de diluir el formol. La toxicidad del formol para huevos y peces está relacionada con la temperatura del agua.

Recomendaciones de uso:

Dosis (ppm)	**T (°C)**
250	10 o menos
200	10 - 15
169	mayor de 15

Furacin, nitrofurazone, furanace: productos del grupo de los nitrofurados. Efectivos contra bacterias tales como *Aeromonas, Pseudomonas* y myxobacterias, no es 100 % de ingrediente activo. Se puede utilizar en baño o incorporado al alimento.

Sulfato de cobre: es considerado 100 % de ingrediente activo y es ampliamente usado ya sea como alguicida o para el control de ectoparásitos como *Trichodina, Costia, Scyphidia* y *Ichthyophthirius* o afecciones externas causadas por myxobacterias. Recomendado en el tratamiento de Branquio-micosis (podredumbre de las branquias) Su limitación de uso está en relación con la dureza del agua siendo más tóxico en aguas blandas; su acción tóxica en peces se centra a nivel branquial, impidiendo el intercambio gaseoso, de modo que el pez muere por asfixia.

Recomendaciones de uso:

Dureza total (ppm)	**Modo de uso (ppm)**
0 - 49	no usarlo
50 - 99	0.5 - 0.7
100 - 149	0.7 - 1.0
150 - 199	1.0 - 2.0
mayor de 200 ppm pierde efectividad	

En algunas aguas con dureza superiores a 200 ppm, el cobre es rápidamente precipitado como carbonato de cobre que es insoluble en el agua y reduce su acción; en estas aguas se aconseja añadir ácido acético o ácido cítrico, con el fin de mantener el cobre en solución.

Verde de Malaquita: se usa para el tratamiento de infecciones de hongos en huevos y peces, control de parásitos y bacterias externas. Utilizado en el tratamiento del protozoario *Chilodonella* que en algunos casos ocasiona la sintomatología de obscurecer la piel del pez.

La concentración recomendada para carpas es de 3g/10m^3 y para truchas 1.5g/10 m^3. Este tratamiento puede llevarse a cabo durante varias horas, se recomienda abundante aireación. Se podrá repetir 3-4 veces de ser necesario. Este tratamiento debe realizarse con poca luz, debido a que el verde de malaquita aumenta su toxicidad con la luz.

Para el tratamiento en huevos se puede hacer a través de un baño de corta duración (5 minutos) a razón de 5ppm.

El verde de malaquita a usar debe ser libre de zinc y hay que tener precaución de no utilizarlo en contacto con elementos de zinc o hierro galvanizado; no debe usarse en huevos próximos a eclosionar o en alevinos con saco vitelino; así mismo se ha comprobado que los adultos de trucha son más sensibles a la droga. Los signos de toxicidad son: letargo, branquias pálidas, piel blanca y moteada; en caso de sobredosis se puede aplicar 3.5 ppm de sulfato de sodio por cada 1 ppm de verde de malaquita de exceso. Puede presentar resultados inconsistentes cuando se aplica en agua con pH superior a 9. El verde de malaquita en combinación con el formol es muy efectivo para controlar infecciones de *«punto blanco» Ichthyophthirius multifilis,* como tratamiento indefinido en la siguiente proporción: 0.1 ppm de verde de malaquita más 24 ppm de formol, repitiéndolo día por medio.

Masoten (80 % ingrediente activo): se usa generalmente como tratamiento indefinido en estanques para el control de tremátodos monogenésicos, crustáceos, hirudíneos, etc.

El masoten pierde efectividad en presencia de la luz, altas temperaturas y pH básico alto, por lo cual se recomienda aplicarlo temprano en la mañana para obtener mejores resultados. Debido a que es difícil su consecución en el mercado nacional se pueden usar garrapaticidas de uso veterinario, tales como neguvon, dylox, dipterex, chlorophos, etc., teniendo la precaución de verificar el porcentaje de ingrediente activo.

Los peces pueden ser bañados durante 2 - 3 minutos con una solución 2-3-% con la cual mueren los parásitos dentro de los 10 - 30 segundos.

Permanganato de potasio: ampliamente usado para controlar protozoarios externos, tremátodos monogenésicos, hongos y bacterias externas. Nunca debe ser añadido en cristales directamente al agua; esta sustancia le imparte al agua un color púrpura muy característico que al degradarse cambia a café amarillento; si éste cambio sucede dentro de las doce (12) horas siguientes de la aplicación, es necesario tratar nuevamente. Su toxicidad está de acuerdo a la presencia de materia orgánica en el agua. También se usa en la desinfección de equipos, tales como nasas, clasificadores, baldes, etc. El permanganato de potasio es también usado para oxidar sustancias orgánicas e inorgánicas y matar bacterias, lo cual reduce la tasa de consumo de oxígeno llevada a cabo por los procesos químicos y biológicos; por tal razón es recomendado su uso en estanques con oxígeno muy bajo.

Para el tratamiento de hongos (*Saprolegnia sp.*) se recomiendan 3mg/litro de agua durante 30-90 minutos. Esta variación está dada por el tamaño del pez.

Solución de Yodo: nunca debe usarse en la modalidad como baños, para su aplicación se moja un pincel en la solución y se aplica en la parte afectada. Se debe tener cuidado para que no caiga en branquias.

Se recomienda su uso diluyendo una parte de volumen de iodo comercial (10%) en 9 partes de agua.

Para la desinfección de huevos previo al despacho se utiliza a una concentración de 100 ppm para lo cual resulta muy efectivo. Su utilización como desinfectante de elementos de trabajo es muy útil. Pierde su efectividad en aguas con pH superior a 8; las dosis utilizadas en huevos pueden resultar letales en peces.

6. TRATAMIENTO

6.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

Antes de iniciar cualquier tratamiento es necesario hacer un análisis para determinar las posibles causas que están originando la enfermedad, con el fin de decidir cuál va a ser el tratamiento o aplicar los correctivos necesarios.

Para ésto se requiere conocer:

a) La calidad y cantidad de agua que se va a usar para el tratamiento.

b) La especie, el estado y la edad del pez.

c) La droga o sustancia química a usar.

d) El diagnóstico de la enfermedad o del patógeno que esté afectando a la población.

6.1.1 Calidad y cantidad del agua

Los parámetros físico-químicos del agua para el tratamiento deben ser conocidos; ciertos valores de dureza total, temperatura, pH, luz, etc., pueden incrementar la toxicidad de algunos químicos, o disminuir su efectividad terapéutica.

El volumen o la cantidad de agua que pasa a través de un estanque, durante un determinado período de tiempo, debe ser calculado. La subestimación de ésta información, puede dar como resultado que se use poco producto químico o droga y así la enfermedad no puede ser controlada efectivamente. La sobreestimación conlleva a emplear una mayor cantidad de droga o químicos, incrementándose los costos y el riesgo de pérdida de los peces por intoxicación.

6.1.2 La especie, estado y edad

Peces de diferentes especies y edad reaccionan en forma distinta a la misma droga o químico. Algunos peces son más resistentes a un determinado producto que otros. La edad es otro factor importante a tener en cuenta y por lo general los peces pequeños son más sensibles; además los peces que están muy enfermos son poco resistentes y muchas veces no soportan el tratamiento.

6.1.3 La droga o sustancia química a usar

La concentración, porcentaje de ingrediente activo, tolerancia, dosis a aplicar y forma de empleo deben ser conocidas. El efecto de algunos factores físico-químicos sobre la acción de la droga también deben ser evaluados, ya que determinados productos pierden su beneficio terapéutico o aumentan su toxicidad bajo la presencia de luz, pH básico y altas temperaturas o pueden ser tóxicos al plancton y a las plantas, llegando a disminuir el nivel de oxígeno por lo que es necesario utilizar aireación.

Si una droga o químico nunca ha sido utilizado en el agua a tratar, es recomendable que se pruebe en unos pocos peces antes de aplicarlo a toda la población afectada.

6.2 Elección del tratamiento

Cuando se tiene conocimiento de que el pez se encuentra enfermo, primero que todo se debe diagnosticar la causa primaria. Por lo general ésta se encuentra relacionada con la cría y el manejo; si se determina en dónde se encuentran las fallas y se corrigen, se mejora la situación, aunque de todas formas el tratamiento puede ser aún necesario.

Si se determina una probable enfermedad, se recomendarán tratamientos específicos de acuerdo con la disponibilidad de medicamentos o productos químicos que puedan adquirirse con la mayor facilidad. El tratamiento que se escoja dependerá del número de peces, la edad y el tipo de explotación.

En jaulas flotantes se busca que el medicamento permanezca en una concentración constante dentro de ella, para esto se emplea polietileno o lona alrededor para evitar la dispersión del producto. Este método presenta problemas en cuanto a la disminución de la concentración del medicamento y la reducción de los niveles de oxígeno disuelto.

6.3 Métodos de tratamiento

Un químico como preventivo o como tratamiento de la enfermedad, puede ser aplicado al pez de las siguientes maneras: tratamiento externo o sea, añadido al agua; como sistémico cuando va incorporado al alimento y parental

cuando se administra a través de una inyección. Un tratamiento es profiláctico cuando es de tipo preventivo y curativo, o cuando se busca eliminar o disminuir la enfermedad en el criadero.

a) **Inmersión:** es un tratamiento que se hace con una alta concentración de drogas o químicos por un tiempo muy corto, utilizando para ello un balde o un recipiente pequeño. Los peces se cogen con una nasa y se introducen en el recipiente con la concentración escogida para un tiempo determinado, que varía dependiendo del tipo de químico, concentración y de la especie a ser tratada; este método es muy apropiado cuando se trata de pocos peces.

b) **Chorro:** consiste en agregar determinada cantidad de químico o droga en la entrada del agua al estanque; este método es aplicable en canales o en incubadoras de huevos. En la utilización de este tratamiento es necesario conocer el flujo para poder determinar el tiempo que van a estar sometidos los peces o huevos a la droga.

c) **Baño corto:** determinada cantidad de químico o droga se añade directamente al estanque con la precaución de distribuirlo homogéneamente; después de que pasa el tiempo del tratamiento, por lo general una (1) hora, el agua del estanque debe renovarse rápidamente; hay que tener especial cuidado en observar el comportamiento de los peces porque se puede presentar reducción del oxígeno y en tal caso hay que suministrar aireación.

d) **Baño largo o indefinido:** este método se emplea agregando directamente al estanque bajas concentraciones de la droga, la cual se distribuye homogéneamente. Con el fin de disminuir costos en el tratamiento es necesario bajar el nivel del agua.

e) **Incorporado a la alimentación o tratamiento oral:** se utiliza para combatir bacterias o parásitos intestinales. Se basa en incorporar la droga en el alimento y la cantidad de droga a suministrar estará de acuerdo con el peso de la población de peces a tratar en un determinado número de días.

f) **Inyección:** por tratarse de un tratamiento individual, sólo es práctico emplearlo en animales de valor tales como reproductores; se aplica por medio de inyección intraperitoneal (I.P) o intramuscular (I.M.).

g) **Tratamiento biológico:** algunos parásitos como trematodos y nematodos, necesitan de huéspedes intermediarios como caracoles, aves, crustáceos y mamíferos para poder completar su ciclo de vida. Este ciclo se puede interrumpir eliminando el hospedero, ya sea manualmente o por medio de filtros en la entrada del agua o con mallas encima del estanque para evitar que lleguen las aves a predar los peces o caracoles que pertenecen al ciclo del agente parasitario.

6.4 Cálculos necesarios para el tratamiento

6.4.1 Unidades de medida utilizadas en los tratamientos

a) Si el tratamiento a seguir implica la adición de una sustancia a un volumen específico de agua con el fin de obtener la concentración deseada, se emplea el término partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/l). Partes por millón se puede usar en la relación peso a peso, lo cual se refiere a la adición de 1 kg o g de la sustancia química o droga a 999999 kg o g de agua, por lo tanto es necesario emplear el factor de conversión (F.C.) adecuado (Tabla 3).

   En muchas ocasiones el tratamiento es dado en porcentaje o en proporción del químico a usar y pueden ser convertidos a ppm usando la tabla 4.

b) Cuando el método de tratamiento implica la adición de una droga en la ración alimenticia del pez, la dosis debe basarse en el peso del cuerpo del animal o de la población a tratar. Las unidades de tratamiento implican la adición de una droga en la ración alimenticia del pez.

Las unidades de tratamiento se dan como **gramos de medicamento por cada 100 kg o lb por día,** lo que hace necesario tener una buena estimación del peso total de los peces a tratar (Tabla 5).Para una mejor ilustración se presentan los siguientes ejemplos:

TABLA 3. Peso de productos químicos que deben ser agregados a la unidad de volumen de agua, para obtener una parte por millón (ppm). Factores de conversión

2.72	libras por pie de acre.....	1ppm
1.233	gramos por pie de acre	1ppm
0.0283	gramos por pie cúbico.....	1ppm
0.0000624	libras por pie cúbico.....	1ppm
0.0038	gramos por galón.....	1ppm
0.0584	gramos por galón.....	1ppm
1	miligramo	1ppm
0.001	gramos por litro	1ppm
8.34	libras por millón de galones de agua	1ppm

Una parte por millón (ppm) se refiere a una proporción tal como:
1 libra de productos químicos en 999999 libras de agua
1 gramo de productos químicos en 999999 gramos de agua.

TABLA 4. Conversión para partes por millón (ppm), proporción y porciento

Partes por millón (ppm)	Proporción	Porcentaje (%)
0.1	1:10000000	0.000010
0.25	1:4000000	0.000025
1.0	1:1000000	0.0001
2.0	1:500000	0.0002
3.0	1:333333	0.0003
4.0	1:250000	0.0004
5.0	1:200000	0. 0005
8.4	1:119047	0.00084
10.0	1:100000	0.001
15.0	1:66667	0.0015
20.0	1:50000	0.002
25.0	1:40000	0.0025
50.0	1:20000	0.005
100.0	1:10000	0.01
150.0	1:6667	0. 015
167.0	1:6000	0.0167
200.0	1:5000	0.02
250.0	1:4000	0.025
500.0	1:2000	0.05
1667.0	1:600	0.1667
5000.0	1:200	0.5
6667.0	1:150	0.6667
30000.0	1:33	3.0

TABLA 5. Gramos de droga activa necesaria por 100 lb de alimento en varios niveles de alimentación, proporción de tratamientos

% de alimento por libra de peso del cuerpo	Gramos de droga activa requerida por 100 libras de pez por día.					
	2.0	2.50	3.0	4.0	4.50	10.0
1.0	200	250	300	400	450	1.000
1.2	167	208	250	333	375	833
1.4	143	179	214	286	321	714
1.6	125	156	188	250	281	625
1.8	111	139	167	222	250	556
2.0	100	125	150	200	225	500
2.2	91	114	136	182	205	455
2.4	83	104	125	167	188	417
2.6	77	96	115	154	173	385
2.8	71	89	107	143	161	357
3.0	67	83	100	133	150	333
3.2	63	78	94	125	141	313
3.4	59	74	88	118	132	294
3.6	56	69	83	111	125	278
3.8	53	66	79	105	118	263
4.0	50	63	75	100	113	250
4.2	48	60	71	95	107	238
4.4	45	57	68	91	102	227
4.6	43	54	65	87	98	217
5.0	40	50	60	80	90	200
5.5	36	45	55	73	82	182
6.0	33	42	50	67	75	167

Ejemplo Nº 1

¿Qué cantidad de verde de malaquita es necesario para tratar un estanque de 50 m^3 con una concentración de 0.25 ppm de verde de malaquita?

- **Verde de malaquita** es 100% de ingrediente activo. I.A.= Ingrediente activo

Vol: 50 m^3 = 50000 litros

Cantidad de verde de malaquita para obtener una concentración de 0.25 ppm = V x F.C

Ejemplo Nº 2

¿Qué cantidad de furanace es necesario agregar a un estanque que mide 10 m de largo por 1 m de profundidad y 2.50 m de ancho para obtener una concentración de 0.05 ppm de furanace granulado?

furanace = 10 % de ingrediente activo

Vol = 10 m x 1 x 2.50 m = 25.000 lt

C = Vol x F.C.(ver valor en tabla) x ppm deseado x 100 / % I.A.

C = 25000 lt x 0.001 g/ lt x 0.05 ppm x 100/10 = 12.5 g.

Lo que significa que hay que agregar 12.5 g de Furanace 10 % a los 25 m^3 para obtener una concentración de 0.05 ppm.

C = 50000 lt x 0.001 g/lt x 0.25 ppm x 100 /100 = 12.5 g
lo que significa que hay que agregar 12.5 g a los 50 m^3 para obtener una concentración de 0.25 ppm.

En galones: 1 gal = 3.8 lt

50000 l / 38 lt = 13157 galones.

Cantidad de verde de malaquita = V x F.C (ver valor en tabla) x ppm deseado x 100 % I.A.

C = 13157 gal x 0.0038 g/gal x 0.25 ppm x 100 /100 I.A. = 12.5 g

Ejemplo Nº 3

¿Qué cantidad de masoten (viene 80 % de **Ingrediente Activo**) es necesario para tratar un estanque de 26315 galones con una concentración de 2 ppm?

Cantidad de masoten para obtener una concentración de 2 ppm :

V = F.C. x ppm x 100/% **I.A.**

C = 26315 gal x 0.038 g/ gal x 2 ppm.x 100/80 = 250 g.

Por consiguiente hay que agregar 250 g de masoten para obtener una concentración de 2 ppm.

Ejemplo Nº 4

¿Qué cantidad de formol es necesario para tratar un estanque de 500 galones con 15 ppm?

Para efectos de tratamiento se considera el formol 100 %

Un galón de formol pesa: 9 lb

Un galón de agua pesa: 8.34 lb

Densidad específica del formol: 9/8.34 = 1.08

Cantidad de formol a agregar = V x F.C. x ppm. x 100/ % I.A.

C = 500 gal x 0.0038 g/gal x 15 ppm. x 100 % = 28.5 g.

Pero como el formol es líquido es necesario pasar las unidades de peso a volumen dividiendo 28.5 g por la densidad específica de formol (1.08) y se obtiene la cantidad necesaria.

28.5 / 1.08 = 26.38 cm^3 es necesario agregar a los 500 galones para obtener una concentración de 15 ppm

Ejemplo Nº 5

¿Qué cantidad de terramicina es necesaria para tratar 10000 lb de cachama con 2.5 g de ingrediente activo de terramicina por 100 lb de cachama durante 7 días? Estas se están alimentando a una rata de 3 % de su peso corporal por día.

10000 lb / 100 x 2.5 g x 7 días = 1750 g de terramicina activa.

Es necesario averiguar la cantidad de alimento durante los 7 días.

Cantidad de alimento = 10000 lb de cachama x 0.03 x 7 días = 2100 lb de alimento se necesitan para los 7 días. Pero como los 1750 g de terramicina activa deben ser incorporados en las 2100 lb de concentrado, por consiguiente cada 100 lb de concentrado debe contener 83.3 g de terramicina activa. Pero como la formulación contiene 25 g de ingrediente activo por lb, es necesario averiguar la cantidad total:

1750 g de terramicina activa / 25 g/ lb de formulación = 70 lb de terramicina necesaria 25 g/ lb de formulación.

7. MEDICAMENTOS NATURALES ELABORADOS CON BASE EN PLANTAS

En cuanto hace referencia a los cultivos "limpios" la tendencia se orienta a la utilización de extractos de plantas para el control de enfermedades en peces de cultivo.

Es así como trabajos realizados en Cuba evaluaron la acción terapéutica de diferentes extractos de plantas para el control de parásitos y bacterias que representan en alevinos de tilapia alta incidencia económica por las perdidas que le ocasiona a los cultivos .

En los ensayos se evaluaron medicamentos obtenidos a partir de extractos de once plantas de las cuales se determinó su poder parasiticida y bacteriano. A continuación se incluye la tabla 6, donde se resumen las plantas evaluadas así como su utilización.

TABLA 6. Plantas medicinales evaluadas contra patógenos de organismos acuáticos. (Tomada de Silveira *et al.*, 2000)

Nombre en latín	Nombre común para cuba	Usado como
Rosmarinius officinalis	Romero	Parasiticida
Ocimium basilicum	Albahaca	Parasiticida
Psidum guajava	Guayaba	Parasiticida
Eucalyptus sp.	Eucalipto	Antibacteriano
Pino sp.	Pino	Antibacteriano
Schinus	Copal	Parasiticida
Terebintheifollius R.	Llantén mayor	Antibacteriano
Plantago major	Orégano francés	Antibacteriano
Plecthranthus	Guacamaya	Antibacteriano
Amboinicus L.	Francesa	Antibacteriano
Cassia alata L.	Caléndula	Antibacteriano
Calendula officinalis L.	Ajo	Antibacteriano

En los ensayos con Romero en los cuales se utilizó el extracto directamente se obtuvo un 100% de efectividad por 15 minutos de exposición. La Albahaca al cabo de una hora mostró su efectividad; la Guayaba solamente requirió de 30 minutos para lograr un efecto similar con una concentración de 4 ml /lt .

Los resultados obtenidos y las concentraciones utilizadas se muestran en las tablas 7 y 8 esta última relacionada con la acción ejercida por los extractos de plantas sobre las bacterias de organismos acuáticos.

TABLA 7. Efectividad de los extractos ensayados sobre ectoprotozoos Parásitos (Tomado de Silveira *et al.*, 2000)

	Tiempo de exposición	Concentraciones ensayadas			
Albahaca		**4 mg/l**	**2 ml/l**	**1ml/l**	**Control**
	15 min	25%	0	0	0
	30 min	75%			
	60 min	100%			
Pino		**4 ml/l**	**2ml/l**	**1 ml/l**	**Control**
	15 min	0%	0	0	0
	30 min	50%			
	60 min	90%			
	120 min	100%			
Guayaba		**4 ml/l**	**2 ml/l**	**1 ml/l**	**Control**
	15 min	90%	0	0	0
	30 min	100%	0		
	60 min				
	120 min				
Romero		**1.75 ml/l**	**0.75 ml/l**	**0.35 ml/l**	**Control**
	15 min	100%	100%	100%	0

TABLA 8. Valores medios de los diámetros (mm) de los halos de inhibición de diferentes extractos vegetales frente a patógeno de organismos acuáticos. (Tomado de Silveira *et al* 2000).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
Eucalipto	25	15	19.3	22	19	26	20	20	22	30	25	34	33	30	0
Copal	0	10	20	9.6	19	25	10	10	23	25	25	0	18.3	20.3	24.3
Llantén Mayor	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	8.6	0	10	9.6	17.3
Orégano	7.6	0	9	13.3	0	10	10	10	10	15	9.6	0	8.6	9.3	0
Guacamaya	10	0	9	13.3	14.6	15	15	7	16	11.3	16	8	19	20	19.3
Caléndula	10	0	12	18.3	0	12	12	11	11	10	8	15	20	15	7.3
Guayaba	25	0	25	0	26	0	0	0	12	18.6	14	17.6	12	19.6	14.3
Ajo	0	0	0	0	0	0	0	15	16	0	12	0	11	0	0

I. *Aeromonas salmonicida* típica
II: *Aeromonas salmonicida* atípica
III: *Aeromonas hydrohila*
IV. *Corynebacterium* sp.
V. *Staphylococcos* spp.
VI. *Vibrio fluvialis*
VII: *Vibrio splendidus*
VIII: *Vibrio alginolyticus*
IX. *Vibrio cholerae* non-01
X. *Vibrio ponticus*
XI. *Vibrio vulnificus*
XII: *Vibrio anguillarum*
XIII: *Vibrio harveyi* 6
XIV. *Vibrio harveyi* 8
XV: *Vibrio harveyi E3*

En Colombia, en la zona cafetera, se han venido llevando cabo trabajos de investigación tendientes a evaluar algunos productos vegetales tales como el extracto de tabaco para la obtención de la tabaquina en solución concentrada del 50%, la cual contiene nicotina, para el control de: *Gyrodactylus, Icthyopthirius* y *Tricodina* en peces de agua dulce.

Encontrando que la nicotina es un producto altamente degradable y que no presenta ningún efecto sobre el plancton y la concentración con mejores resultados fue la correspondiente a 300 ml/500 litros, en baño de 24 horas y de 200 ml/500 litros durante 48 horas.

BIBLIOGRAFIA

AMIN, N.E.; I.S. ABADALLAH; M.E. FAISAL; A.T. EASA. y S.H. ALYAN. 1988. columnaris infection among cultured Nile Tilapia (*Orochromis niloticus*) Antonie Van Leewenhoe. 54: 509-520.

AUSTIN, B. y D.A. AUSTIN. 1987. Bacterial fish pathogens disease in farmed and wild fish. Ellis Horwood Publishers, Chichester. 364 p.

AUSTIN, B. y D.A. AUSTIN. 1993. Bacterial fish pathogens diseases in farmed ans wils fish. Ellis Horwood Ltd. Inglaterra 2a. Edition. 348 p.

BADDOUR, L.M. 1992. Extraintestinal *Aeromonas* infections-looking for Mr. Sandbar. *Mayo Clinic. Proceedings*. 67:496-497.

BARJA, J.L. y A. ESTEVEZ-TORANZO. 1988. Enfermedades bacterianas en peces. 475-550 p. En: Patología en Acuicultura. J. Espinosa de los Monteros y U. Labarta (Ed). Mundiprensa. Madrid.

BARNABÉ, G. 1996. Bases Biológicas y Ecológicas de la Acuicultura. Editorial Acribia. S.A. Zaragosa – España.

BAUDIN, F. y M. VIGNEULLE. 1996. Patología de las explotaciones acuícolas.470-494p. En: Bases biológicas y ecológicas de la acuicultura. Editorial Acribia. Zaragosa.

BERRIDGE, B.; S. LAWHON; A. ELDAR; H. BERCOVIER; D. LOW; M. WEINSTEIN y P. FRELIER. 1997. *Streptococcus iniae* infection in tilapia and its emergence as human pathogen.

BOTERO, D. y M. RESTREPO. 1992. Parasitosis humanas. Corporación para Investigaciones Biológicas. Segunda Edición. Colombia

BULLOCK, G. 1971. Diseases of fishes-Bacterial diseases of fishes. Book 2A. T.F.H. Publications N.J. USA.

CASTILLO, A. 1997. Diagnóstico de los agentes patógenos presentes en la fase de reversión de la tilapia roja (*Orechromis spp.*). INPA. Informe técnico.

CASTILLO, A. 1998. Contribución al conocimiento de los agentes patológicos presentes en el cultivo de Tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en el departamento del Huila . INPA. Informe Técnico.

CHANG, P.H. y J.A. PLUMB. 1996. Effects of salinity on *Streptococcus* infection of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *J. Appl. Aquac. ;* 6: 39-45.

CONROY, D. y G. CONROY. 1997. Importantes enfermedades y parásitos de tilapias y aspectos de su prevención y control en sistemas de cultivo. 68-77p. Memorias IV Simposio Centroamericano de Aquacultura.

CONROY, D. y G. CONROY. 1997. Manual de métodos de Diagnóstico en Ictiopatología con especial referencia a los Salmónidos. FAO. Brasilia-Brasil. 50 p.

CONROY, D. y C. VÁSQUEZ. 1976. Las principales enfermedades infecto contagiosas de los Salmónidos. INDERENA. Bogotá-Colombia. 252 p.

CUBILLOS, F. 1998. Detección de agentes causantes de morbilidad y morbilidad de peces ornamentales en la captura, acopio y transporte en Puerto Gaitán- Villavicencio- Meta. Informe Técnico. INPA.

DEPARTAMENTO DEL INTERIOR DE E.U.A. 1973. Parásitos y enfermedades de los peces de agua templada. Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional (A.I.D.). Mexico/Buenos Aires.

ELDAR, A. y C. GHITTINO . 1999. *Lactococcus garvieae* and *Streptpcpccus iniae* infections in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: similar, but different diseases.Diseases of Aquatic Organism. *36: 227-231*

ESLAVA, P. y C. IREGUI C. 1998. Anatomopatología Branquial Comparada de la Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*). II Curso Internacional de Acuacultura . 6 p.

GÓMEZ, I. 2000. Informe de laboratorio de Ictiopatología de la estación piscícola La Terraza entre agosto y febrero del 2000. Informe técnico.

HOFFMAN, G.L. y F. P MEYER. 1974. Parasites of freshwater; a review of their control and treatment. TFH. Publ.,Neptune City, N.J., USA.

KINKELIN, P. DE; CH. MICHEL y P. GITTINO. 1985. Tratado de las enfermedades de los peces. Editorial Acribia S.A. Zaragosa-España.

LÁZARO, E. 1985. Sustancias , desinfectantes y drogas de utilidad en las piscifactorías. Manual de uso. AGT Editor, S.A. México.

LORENZEN, E.; I. DALSGAARD y J. BERNARDET J. 1997. Characterization of isolates of *Flavobacterium psychrophilum* associated with coldwater disease or rainbow trout fry syndrome I: phenotypic and genomic studies. Diseases of Aquatic Organism. 31:197-208.

LORENZEN, E. y N. OLESSEN. 1997. Characterization of isolates of *Flavobacterium psychrophilum* asociated with coldwater disease or rainbow trout fry syndrome syndrome II: serological studies. Diseases of Aquatic Organisms. 31: 209-220.

PAPERNA, I. 1980. Parasites infections and diseases of fish in Africa.CIFA Tech. Rep. (7):216

PLUMB, J. A. 1979. Ed. Principal diseases of farm raised catfish. Southern Cooperative Series Nº.225. 92p.

PLUMB, J. y P. BOWSER . 1983. Microbial fishes disease laboratory Manual.Brown Printing company. Alabama.

PLUMB, J. 1997. Infections diseases of tilapia . p.212-228. In: B.A. Costa-Pierce y J. E. Rokoky (eds). Tilapia Aquaculture in the Americas, Vol 1. Worl Aquaculture Society, baton Rouge, Louisiana, United States.

PRIETO, A.; E. FAJER y M. VINJOY. 1991. Manual para la prevención y el tratamiento de enfermedades en peces de cultivo en agua dulce.FAO. Oficina Regional para America Latina y el Caribe.RLAC/91/21- PES-23. Chlile 65p.

REICHENBACH- KLINKE. 1982. Enfermedades de los peces. Editorial Acribia. Zaragosa-España. 507p.

ROBERTS, R. 1981. Patología de los peces. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid España. 351p.

ROBERTS, R. y C. SOMMERVILLE. 1982. Diseases of tilapias, 247-263 p. In: R.S.V. PULLIN and R.H: LOWE- Mc CONNELL (Eds).The biology and culture of tilapias. ICLARM Conference Proceedings. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippinas. 4342 p.

SILVEIRA, R.; M. NÚÑEZ; M. MARTÍNEZ; A. PRIETO; I. MENA; J. VALLADARES y M. POZO. 2000. Actividad terapéutica de extractos naturales de origen vegetal para el control de parásitos y bacterias de organismos acuáticos de cultivo. Centro de Investigaciones pesqueras 5ta ave y 248,Barlovento, Santa Fé, Cuidad Habana, Cuba. Laboratorio de control de calidad de Empresa Medicamentos Playa. Cuba. 8 p.

SWINGLE, H.S. 1969. Methods of analysis for waters, organic matter and bottom soils used in fisheries research. Ed. Green, G.N. & Lovell, R.T. 119p

STOSKOPF, M. 1993. Fish Medicine. W.B. Saunders Company. México. 480p.

TACON, A. 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Manual de Capacitación. Proyecto AQUILA II, FAO, 572 p.

TORROELLA., J. 1988. Aspectos generales de la Patología Infecciosa. En: Patología en Acuicultura. J. Espinosa de los Monteros y U. Labarta (Ed.). 29p.

VILLANUEVA, M. 1994. Metodología para el diagnóstico de enfermedades en peces. INPA. Bogotá- Colombia.

VILLANUEVA, M. 1996. Contribución al conocimiento de algunos patógenos Acuáticos en Colombia. INPA. Informe Técnico.

VILLANUEVA, M. 1998. Identificación de Agentes Patógenos en cultivos de peces a nivel Nacional - Fase I. INPA. Informe Técnico.

VILLANUEVA, M. 1999. Identificación de Agentes Patógenos en cultivos de peces a nivel Nacional – Fase II. INPA. Informe Técnico.

UNTERGASSER D.1989. Handbook of Fish Diseases. T.F.H. Publiactions, Inc.U.S.A. 159p.

WARREN, J.W. 1983. The nature of fish disease. En: A guide to integrated fish health management in the Great Lakes basin. Special. Publ. 83(2):7-14.

Capítulo VII. BASES FISIOLÓGICAS DE LA REPRODUCCIÓN DE PECES TROPICALES

Mauricio Carrillo Avila[1]
José Ariel Rodríguez Pulido[2]

INTRODUCCIÓN

La pesca continental en Colombia ha presentado una notable disminución durante los últimos años pasando de una producción en el año 1988 de 48 693 ton a 26 531 ton para el año 1999, lo que significa una reducción del 45.51% (INPA, 2000), debido a factores como la contaminación de las fuentes de agua, la sedimentación, la sobrepesca y el uso de métodos ilegales de pesca, entre otros.

No obstante lo anterior, la piscicultura ha permitido suplir este déficit logrando un desarrollo importante durante los últimos años incrementando la producción de 2 104 ton en 1988 a 42 969,32 ton para 1999, lo que significa un aumento del 2 042% (INPA, 2000). Sin embargo hay que tener en cuenta que esta producción continental se limita casi exclusivamente a cinco grandes grupos representativos de peces entre los que se tienen la tilapia, la carpa, la trucha, la cachama y el bocachico, siendo únicamente estos dos últimos especies nativas, situación que hace necesario que se encaminen recursos técnicos y financieros para evaluar el potencial de nuevas especies, con el fin de incorporarlas a la acuicultura o para programas de siembra en ambientes naturales que ayuden a aumentar la población y disminuir el esfuerzo pesquero ejercido sobre ellas.

Una característica particular de los peces es que además de la escasa información disponible sobre su biología se infiere que no existe un modelo único de reproducción, sino que, por el contrario, existe una gran variabilidad y por tanto los mecanismos implicados en el control de la reproducción son múltiples y totalmente influenciados por el medio ambiente en que viven las especies (Zanuy y Carrillo, 1997 y Harvey y Hoar, 1980). Es así como los individuos sexualmente aptos pueden identificar los lugares adecuados para su reproducción y el momento propicio para hacerlo. De este modo la reproducción se llevará a cabo en los sitios con características óptimas de temperatura, oxígeno, pH, corrientes, etc. y en lugares donde abunde el alimento y no haya presencia de predadores.

En conclusión podemos afirmar que cualquiera que sea el modo reproductivo de determinada especie, siempre buscará perpetuarse valiéndose para ello de diversas tácticas, estrategias y mecanismos reproductivos.

Por lo anterior es necesario tener en cuenta que el cautiverio afecta de una manera importante las funciones fisiológicas de los peces y en muchos casos, una o varias etapas del proceso reproductivo se ven afectadas negativamente, situación que hace imprescindible dirigir los esfuerzos al estudio de técnicas de reproducción artificial. La importancia de estas técnicas se basa en la necesidad de proporcionar un número suficiente de semilla para sustentar un nivel de producción continuo y constante (García, 1995).

1. MECANISMOS REPRODUCTIVOS DE LOS PECES

Los mecanismos de reproducción en los peces son muy variados presentándose por lo menos tres modelos diferentes: bisexual o gonocorístico, partenogénesis y hermafroditismo. Sin embargo, muchos autores incluyen a la hibridogénesis y superfertilización dentro de los mecanismos reproductivos (Vazzoler, 1996).

Se sabe que existen especies que se reproducen de manera contínua, cíclica (anual o estacional) o única a lo largo de su vida y que el grado de fecundidad de los peces y la duración del periodo de puesta también varía según las especies (García, 1995 y Zanuy y Carrillo, 1997).

1 Biólogo Marino, Especialista en genética y mejoramiento animal. División Recursos Acuícolas. INPA. E-mail:mauricar@inpa.gov.co

2 Biólogo, Candidato a M.Sc. en Biología. Docente Asistente. Universidad de los Llanos (Unillanos). E-mail: jarpul517@yahoo.com

En resumen se podría afirmar que en los peces existen todos los mecanismos reproductivos existentes en la naturaleza y que inclusive hay algunos que son exclusivos para este tipo de animales.

La clasificación más común incluye los siguientes mecanismos:

- **Bisexual:** está presente en la mayoría de las especies y corresponde al mecanismo en el cual los gametos sexuales se desarrollan en individuos macho y hembra separados. Dentro de esta modalidad podemos citar principalmente tres tipos, aunque en algunas ocasiones es común encontrar clasificación de un cuarto tipo de reproducción. Los tipos de reproducción incluidos en este mecanismo según Vazzoler (1996) son:
  - **Ovoparidad:** los productos sexuales son fertilizados dentro de la madre, mientras que el desarrollo embrionario tiene lugar fuera de ella.
  - **Ovuliparidad:** tanto la fertilización como el desarrollo del embrión son externos.
  - **Ovoviviparidad:** el desarrollo embrionario al igual que la fertilización se llevan a cabo dentro de la madre; sin embargo, el nuevo individuo es liberado al exterior aún dentro del huevo.
  - **Viviparidad:** con similares características que el anterior, con la única variación de que se obtienen individuos ya desarrollados y al nacer pueden nadar libremente e ingerir su propio alimento. Mientras se sucede el desarrollo del embrión este depende nutricionalmente de la madre.
- **Hermafrodita:** es un tipo de intersexualidad, caracterizado por la presencia de los dos sexos en un solo individuo, el cual en caso de poderse autofecundar se llamará hermafrodita verdadero. El hermafroditismo puede ser simultáneo o secuencial. En el primer caso las estructuras femeninas y masculinas se presentan en un mismo individuo a la vez, mientras que en el segundo caso se refiere a un organismos protándrico cuando el pez funciona primero como macho o protogínico cuando su primera función la realiza como hembra .
- **Partenogénesis:** consiste en el desarrollo de un óvulo sin fertilización. En verdad se debería hablar de Ginogénesis y sería el mecanismo mediante el cual un una hembra se aparea con un macho de una especie afín (Ej: *Poecilia formosa*), pero el espermatozoide cumple con la función de iniciar el desarrollo en el óvulo, pero no participa en la herencia para el nuevo individuo. Por este motivo la descendencia siempre será de hembras las cuales serán triploides y no presentarán característica alguna aportada por su padre.
- **Hibridogénesis:** es el mecanismo mediante el cual el óvulo de una hembra es fertilizado por un espermatozoide de una especie afín, el cual mediante fusión de gametos puede originar un híbrido verdadero que originará una descendencia de hembras diploides.
- **Superfertilización:** es un mecanismo exclusivo de los peces teleósteos y consiste en que se lleva a cabo una fertilización interna a una hembra, la cual puede almacenar el esperma en su ovario por periodos de tiempo relativamente largos, pudiendo fertilizar varios lotes de oocitos con el esperma allí almacenado.

2. ANATOMÍA MACRO Y MICROSCÓPICA DE LAS GÓNADAS EN TELEÓSTEOS

Las gónadas en los teleósteos se originan de un solo primordio germinal que evoluciona a partir del epitelio peritoneal correspondiente al cortex en los vertebrados (Nagahama *et al.*, 1983) y no existe evidencia de que el mesonefros contribuya en su formación.

Esta particular organización podría influir en la diversidad de patrones sexuales de los teleósteos, principalmente entre los perciformes que prácticamente presentan todos los tipos de patrones sexuales conocidos.

2.1 Ovario

En general el ovario de los teleósteos se presenta como dos sacos alargados, situados a cada lado del cuerpo unidos a la cavidad corporal, en posición ventro-lateral a la vejiga hidrostática unidos a la pared celómica por el mesorquio (Fig. 1).

En muchos teleósteos las paredes de las gónadas se extienden hacia atrás formando gonoductos que:

a. Terminan en el celoma sin comunicación directa al poro genital, conocida como gimnoaria o condrictina.

b. Se fusionan y abren en el poro genital. Condición cistoaria.



FIGURA 1. Anatomía del ovario. 1. Ovario, 2. Mesonefros, 3. Oviducto, 4. Poro urinario, 5 Papila y poro genital.

Externamente el ovario está recubierto por la túnica o zona albugínea, compuesta de tres capas.

- Capa externa: compuesta por epitelio cúbico ciliar epitelio peritoneal
- Capa media: compuesta de tejido conectivo, con fibras musculares longitudinales en la cual se localizan los vasos sanguíneos que la irrigan.
- Capa interna: formada por fibras musculares dispuestas de manera irregular que forman una capa compacta y fibrosa.

La parte interna del ovario o estroma ovárico está recubierto por una capa de células epiteliales llamada epitelio germinal, el cual se pliega en forma de láminas alojando las ovogonias. Esta capa contiene vasos sanguíneos y células somáticas asociadas al desarrollo del oocito, células foliculares y tecales (Valeria *et al.*, 1996).

El grosor del epitelio germinal está influenciado por la actividad sexual, siendo máximo durante la puesta y mínimo en la fase de reposo (Zanuy y Carrillo, 1977 y Takano, 1968). Este epitelio parece estar involucrado en la secreción del fluido ovárico, permitiendo que los oocitos ovulados mantengan su viabilidad durante un tiempo determinado que depende de la especie.

La estructura del ovario en los teleósteos depende del desarrollo de los oocitos, variando desde un simple saco con un oviducto comunicado a la cloaca a un órgano complejo formado por diversos folículos, comunicados con la cavidad corporal mediante conductos. Así, existen especies en las que la ovulación se lleva a cabo en la cavidad ovárica y después los huevos son expulsados (desovados) al exterior a través de un oviducto (cachama); otras especies (trucha) ovulan los huevos hacia la cavidad abdominal a través de ductos y no poseen oviducto.

De acuerdo con el grado de complejidad estructural se tienen diferentes tipos de ovarios (Zanuy y Carrillo, 1987).

- **Sincronismo total.** A este grupo pertenecen las especies que ponen una sola vez en su vida, postura y muerte y se caracteriza por tener todos sus oocitos en un mismo estado de desarrollo. La característica en este tipo de ovario es que no existen oocitos en stock de reserva para futuros desoves, por ello el tipo de desove en estas especies se denomina UNICO. Ej. Ribulos, anguila y salmón del Pacífico.
- **Sincronismo por grupos.** Peces con intervalos de puesta relativamente cortos, cuyos ovarios contiene al menos dos grupos de oocitos en estados evolutivos diferentes.
- **Sincronismo en dos grupos.** En el ovario se pueden apreciar dos lotes de oocitos. Uno que serían los oocitos de stock de reserva y otro que serían los oocitos que van a madurar hasta ser desovados durante el periodo de desove. En este periodo "todo" ese lote seria desovado y se hablaría de desove TOTAL. Otro lote comenzaría a madurar para el próximo periodo de desove y así sucesivamente.

- **Sincronismo en más de dos grupos.** Existen varios lotes de oocitos dentro del ovario. Uno que serían los oocitos de stock de reserva y otros que estarían en diferentes fases de maduración. Cada lote alcanzaría la maduración indivudualmente y de manera sincrónica. Cuando existen lotes maduros son desovados y es cuando se habla de desove MÚLTIPLE O PARCELADO. La característica es que en el ovario debe haber por lo menos tres lotes diferentes de oocitos y que en cada época de desove por lo menos dos son desovados. Ej. cachama blanca (Vásquez 1994).
- **Asincrónicos.** En este caso los peces ovulan los oocitos en diversas oportunidades en el transcurso de su época de puesta, la cual suele ser muy espaciada. Los ovarios en este grupo contienen oocitos en todos los estados de desarrollo y NO están distribuidos en lotes. Los oocitos que van madurando son desovados y no existe época de desove definida, se habla de desove INTERMITENTE. Ej. tilapia y el lenguado.

2.2 Testículo

Generalmente los teleósteos presentan testículos pares de forma alargada, localizados en posición ventral a la columna vertebral y a la vejiga hidrostática, prolongándose en dirección caudal por el canal deferente. De la superficie medio dorsal posterior de cada testículo se origina un espermiducto que desemboca en la papila urogenital, ubicada entre el recto y los ductos urinarios (Fig. 2).

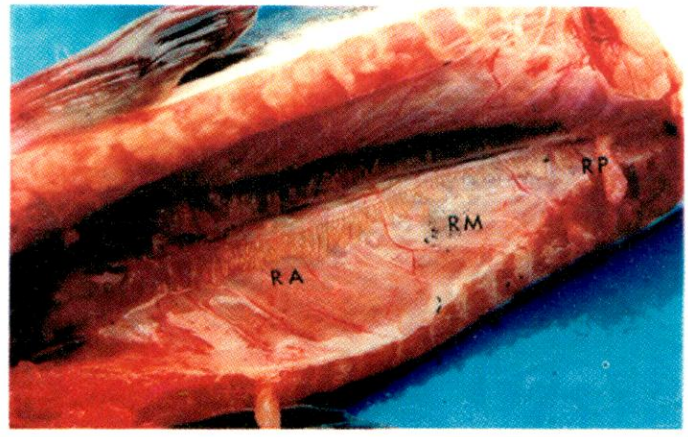


Figura 2. Anatomía macroscópica del testículo; RA: Testículo cefálico, RM: Región mediar, RP: Región posterior.

Sin embargo, se encuentran múltiples formas de testículos que van desde los sacos elongados de muchos Caracidos a los tractos reproductivos digitiformes típicos de los bagres, en los que inclusive pueden llegar a presentar vesículas seminales y gonopodios (Loir *et al.*, 1989).

Los testículos se encuentran rodeados por una capa simple continua de células fibrosas denominadas Capa Albugínea. El espesor de esta capa está condicionada a la actividad sexual siendo máximo durante el reposo y mínimo durante la maduración (Zanuy y Carrillo, 1977).

Después de la capa albugínea se encuentra una zona de tejido fibroso conectivo que se proyecta en forma ramificada al interior del testículo formando una red que rodea completamente las cavidades testiculares.

La forma estructural de los testículos varía de acuerdo con la especie, pero las dos más comunes según Zanuy y Carrillo (1977), Grier (1981) y Billard (1986), son:

- Estructura tubular (Fig. 3)
- Estructura lobular
- Tipo tubular. Esta conformación está restringida a los Ateriniformes, ej. guppy, *Poecilia reticulata*. Esta forma de

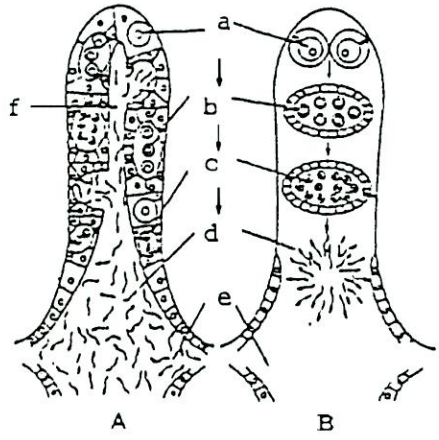


FIGURA 3. Estructura del testículo en teleósteos. A. Tipo lobular, B. Tipo tubular. a. Espermatogonias, b. Espermatocitos. c. espermátidas. d Espermatozoides. e. Conductos espermáticos. f. Lumen lobular (Nagahama *et al.*, 1983).

testículos presenta tubos orientados entre las túnicas externa y la cavidad central, dentro de la cual los espermatozoides son liberados.

- Estructura lobular. Esta conformación se encuentra presente en la mayoría de los teleósteos. Está compuesto por una serie de lóbulos separados por tejido conectivo fibroso.

Sin embargo existe controversia sobre la diferencia entre túbulo y lóbulo. Algunos autores usan los términos como sinónimo y otros no. La diferencia entre túbulo y lóbulo está relacionada a la ausencia de un epitelio germinativo verdadero y permanente en el lóbulo; por esa característica, lóbulo sería usado para peces teleósteos y túbulo (que si tiene epitelio permanente) sería para mamíferos y otros.

En el testículo de tipo tubular las espermatogonias están totalmente restringidas a la parte distal del túbulo, mientras que en el lobular existe una serie de lóbulos separados por tejido fibroso y con un solo lumen central. (Zanuy y Carrillo, 1977; Grier, 1981 y Billard, 1982). Denominándose, entonces, como:

Testículo Espermatogonial irrestricto: con espermatogonias a lo largo del lóbulo.

Testículo Espermatogonial restricto: con espermatogonias exclusivamente en la extremidad ciega del lóbulo, la mayoría de teleósteos tropicales.

En el interior de los lóbulos las espermatogonias presentan numerosas divisiones mitóticas originando grupos celulares, caracterizados por presentar el mismo estado de desarrollo, lo que indica que estos cistos de células germinales se originan de una única célula. Al producirse la espermiogénesis, los cistos se expanden y se rompen liberando las células espermáticas dentro del lumen lobular, pasando luego al conducto espermático.

De forma general el testículo de los teleósteos comprende una parte lobular y una intersticial. La primera consta de:

- Células limítrofes
- Membrana basal
- Células germinales
- Células de Sertoli (equivalentes a las Células de Sertoli de los mamíferos)

La segunda contiene células intersticiales.

- Fibroblastos
- Vasos sanguíneos

- Vasos linfáticos
- Células de leydig
- Colágeno
- Otros componentes celulares

3. DESARROLLO DE LOS PRODUCTOS SEXUALES

3.1 Ovogénesis

El folículo ovárico de los teleósteos es relativamente simple. En fases tempranas del desarrollo, los oocitos están rodeados por una capa de células foliculares. A medida que crece, las células foliculares se incrementan y diferencian para formar una capa folicular continua y unicelular, llamada granulosa, separada del oocito por el tejido conectivo del estroma que se organiza formando la teca o envoltura folicular externa (Fig. 4). Ambas capas están separadas por la membrana basal (Urbinati, 1999 a y Zanuy y Carrillo,1987).

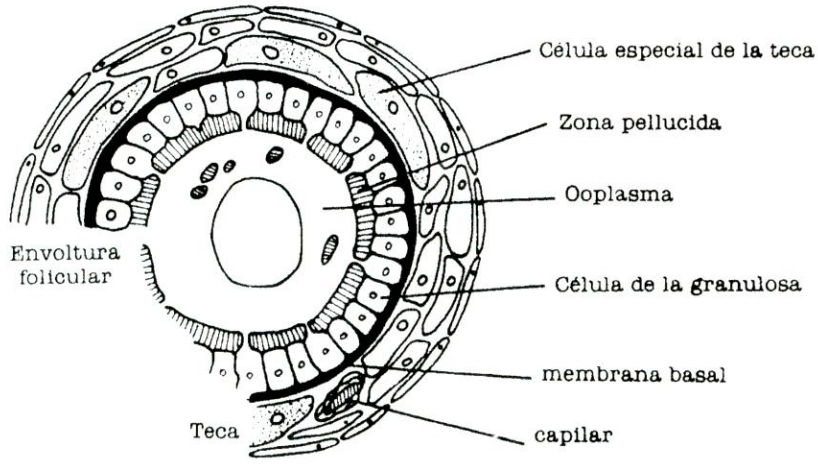


FIGURA 4. Estructura del oocito (Tomado de Zanuy y Carrillo, 1987)

Como la mayoría de los vertebrados inferiores, el crecimiento del oocito es largo y el aumento de tamaño considerable. El proceso de crecimiento primario continúa durante toda la vida de los peces que desovan repetidamente y los oocitos previtelogénicos están presentes en el ovario durante todo el año. En general, cada año se forman nuevos oocitos, como consecuencia de las divisiones oogoniales, de manera que los oocitos de nueva formación no madurarán hasta el próximo año (Zanuy y Carrillo, 1987 y Urbinati, 1999 a).

Una vez finalizadas las divisiones oogoniales, el oocito no posee más inclusiones que una célula somática cualquiera y se distingue por las transformaciones que tienen lugar durante la vitelogénesis.

El conjunto de acontecimientos que tienen lugar en el ovario, se puede resumir así:

- Transformación de oogonias en oocitos: multiplicación de oogonias por mitosis - transformación en oocitos (primera división meiótica).
- Vitelogénesis: endógena – exógena.
- Maduración: clarificación del vitelo - breakdown - migración del núcleo.
- Ovulación: expulsión del oocito fuera del folículo.
- Atresia: rotura de la zona radiada - formación de cuerpos atrésicos.

3.1.1 Transformación de las oogonias en oocitos

Las oogonias se multiplican en el ovario por división mitótica. Su transformación en oocitos primarios tiene lugar en el momento en que entran en la primera división meiótica. Las oogonias se encuentran distribuidas en el ovario de una manera no uniforme, aisladas o formando cistes. Se encuentran presentes en el ovario a lo largo de todo el año y su abundancia relativa varía con las especies y con la época del año (Hails y Abdullah, 1982 y Forberg, 1982).

Los oocitos antes de entrar a la fase de vitelogénesis presentan cambios a nivel de citoplasma y núcleo, variando considerablemente su aspecto. El cambio más notorio es su crecimiento y el comienzo de la diferenciación de las células del folículo (Wallace, 1981 y Forberg, 1982).

Una vez finalizado el primer crecimiento de los oocitos, estos de dispersan dirigiéndose aisladamente al estroma ovárico, en ese momento se les denomina oocitos previtelogénicos. En esta fase permanecen hasta que las condiciones externas activen los mecanismos hormonales de reproducción (Vásquez, 1994; Takano, 1968 y Zanuy y Carrillo, 1977).

3.1.2 Vitelogénesis

Esta fase se caracteriza por una alta tasa de crecimiento del oocito, el cual es generado por la inclusión de material nutritivo o vitelo, al interior del ooplasma.

La vitelogénesis parece tener origen endógeno y exógeno. El primero consiste en la aparición de remanentes citoplasmáticos internos en la periferia del oocito, llamadas vesículas de vitelo. Estas vesículas aumentan en número y tamaño a medida que evoluciona el proceso, dirigiéndose hacia la membrana nuclear, es cuando aparecen las primeras inclusiones lipídicas y el citoplasma aumenta considerablemente de tamaño. La zona radiata empieza a distinguirse y se define bien las células foliculares y la membrana basal (Azevedo *et al.*, 1988 y Vizziano y Berois, 1990).

La vitelogénesis exógena se presenta cuando aparecen las segundas inclusiones de vitelo, denominadas gránulos de vitelo. Estos gránulos al igual que las vesículas aparecen en la periferia y son captadas al interior del oocito por micropinocitosis, allí desplazan a las vesículas del vitelo hacia la periferia, tomando el lugar de estas alrededor del núcleo. Los gránulos de vitelo aumentan de tamaño ocupando todo el ooplasma, provocando una fusión de las inclusiones lipídicas, dando como resultado la disminución del número de éstas. La zona radiata aumenta de tamaño al igual que las células de la granulosa, la teca se hace más visible y adquiere mayor irrigación sanguínea (Wallace *et al.*, 1993).

Esta última inclusión de vitelo que incluye vitelogeninas hepáticas y otros compuestos, proporcionan el mayor crecimiento al oocito (Romagosa, 1990).

Finalizando este crecimiento, el núcleo en posición central permanece en su fase meiótica, listo para madurar (Greeley *et al.*, 1988 y Hails y Abdullah,1982).

3.1.3 Maduración

Una vez terminado el crecimiento vitelogénico del oocito comienza el proceso de maduración. Este estado se caracteriza por la clarificación del vitelo (fusión de los gránulos de vitelo), la migración del núcleo a la periferia y un incremento en el tamaño del oocito proporcionado por la hidratación, la cual provoca una disminución en el grosor del folículo y la zona radiata.

Cuando termina la migración del núcleo a la periferia, la membrana nuclear se diluye haciéndo casi invisible los cromosomas que se hallan en la metafase de la primera división meiótica. En este estado el oocito está próximo a la ovulación.

3.1.4 Ovulación

Una vez ha finalizado la migración del núcleo hacia el micrópilo y su membrana se ha diluido (Break Down), las microvellosidades de las células foliculares y el oocito se separan de la membrana o corión mediante un proceso

enzimático proteolítico y el oocito maduro e hidratado es expulsado hacia la cavidad ovárica en un evento mecánico producido por las contracciones de las células tecales. El folículo vacío se contrae y se pliega en una especie de bolsa que se adhiere al epitelio germinal.

Los oocitos ovulados continúan con la meiosis hasta la metafase, estado en el cual es posible la fertilización de los oocitos.

El tiempo de permanencia de los óvulos en la cavidad ovárica depende de la especie y de los factores externos que predisponen el desove.

Los oocitos que no alcanzan la madurez total son reabsorbidos, originando cuerpos atrésicos, que son fagocitados por las células de la granulosa, una vez terminada ésta digestión se observa residuos uniformes de células que terminan por desaparecer (Vizziano y Berois, 1990).

El ovario es potencialmente capaz de sintetizar: Corticosteriodes, Progestinas, Andrógenos (precursores de los estrogenos tras la aromatización) y Estrógenos.

Pese a las distintas clasificaciones en el desarrollo de los oocitos (anexo 1) de manera general y a partir de las características observadas en el microscopio las células de dicha línea son:

- **Oogonias.** Células primordiales de la línea germinativa que están presentes durante todo el año en las lamelas ovígeras.
- **Oocitos en cromatina nucleolar.** Son células pequeñas, las cuales por lo general se encuentran agrupadas en nidos. Tienen poco citoplasma, un núcleo grande y por lo general circular y normalmente tienen un solo nucleolo en el centro.
- **Oocitos perinucleolares.** Células de tamaños variables, un poco más grandes que las anteriores, presentan un citoplasma bien definido, un núcleo grande, el cual contiene varios nucleolos en su periferia. Ocasionalmente se pueden observar los cuerpos de Balbiani.
- **Oocitos en alveolo cortical.** El citoplasma es cada vez más abundante, presenta alvéolos corticales junto a su membrana.
- **Oocito vitelogénico.** Citoplasma mucho más abundante con gránulos de vitelo, los cuales van aumentando su cantidad comparativamente con los alveolos corticales.
- **Oocito maduro.** Células de tamaño mayor, citoplasma completamente lleno de vitelo, núcleo con forma poco definida (casi desintegrado y migrado a la periferia) conteniendo algunos nucleolos también periféricos.

Escala de maduración, es de aclarar que las escalas encontradas en la literatura son numerosas (Fig 5), pero que en general todas siguen más o menos un patrón tanto para hembras como para machos:

Inmaduro: es un animal que aun no está en actividad sexual (virgen), con ovarios pequeños y está comenzando las divisiones celulares.

Reposo: es un animal que ya no es virgen, pero su gónada no está en actividad y las características son semejantes al anterior, teniendo SIEMPRE como diferencia el mayor tamaño si es comparado con el ovario inmaduro.

Maduración: Algunos autores la dividen en maduración inicial y final dependiendo de la cantidad de oocitos vitelogénicos, del tamaño del ovario y de la vascularización que presenta el mismo.

Maduro: los cuales tienen en su mayoría oocitos maduros y algunos pocos vitelogénicos. En la etapa final, la mayoría de los oocitos presentarán un núcleo irregular y migrado hacia la periferia. Después vendrá la ovulación y el desove.

Vacío: el ovario tiene una apariencia flácida y se encuentran restos de los óvulos.

EN REGRESIÓN, el cual se usa EXCLUSIVAMENTE para animales en cautiverio que NO desovaron y reabsorberán los óvulos. En el medio natural siempre se hablaría de vacío (desovado).

ESTADIO I	Inmaduro: ovarios rosado claro, transparentes y de tamaño pequeño
ESTADIO II	Madurez inicial: ovarios aumentando de tamaño, continúa el color rosado y transparente, empieza a notarse la vascularización
ESTADIO III	Madurez intermedia: ovarios han aumentado de tamaño, tejido fuertemente vascularizado, se empiezan a notar pequeños óvulos
ESTADIO IV	Maduro: ovarios ocupando ¾ del abdomen, los óvulos se tornan de color amarillo
ESTADIO V	Madurez avanzada o desovando: ovarios ocupan totalmente la cavidad abdominal, la membrana ovárica se ha tornado muy delgada, óvulos amarillos y completamente redondos
ESTADIO VI	Post-desove: ovarios desocupados, flácidos y rojos, a veces con restos de óvulos



FIGURA 5. Escala de maduración gonadal utilizada en hembras de bagre (Tomado de Agudelo *et al.*, 2000).

3.2 Espermatogénesis

Este proceso consiste en la transformación de una espermatogonia en un espermatozoide funcional determinada por una compleja serie de eventos hormonales (Zanuy y Carrillo, 1977; Billard, 1986 y Takano, 1968).

En el testículo existen varios tipos de espermatogonias, dependiendo del estado de madurez sexual, las cuales proliferan en los lóbulos testiculares durante el periodo de reposo sexual.

En general, las primeras generaciones de espermatogonias se identifican por la talla del núcleo y la última por la talla de los cistes, las cuales mediante divisiones celulares forman grupos de espermatocitos al ir avanzando la maduración gonadal, por ello cada grupo de células tiene el mismo desarrollo espermatogénico, lo que supone un origen común para todas ellas. Al ir creciendo estos lotes celulares el diámetro de la sección se incrementa.

Los espermatocitos pasan por las fases del leptonema, zigonema, paquinema, y espermatocito secundario obtenidos tras la segunda división de maduración.

Mediante estas divisiones celulares se convierten en espermatocitos secundarios distinguiéndose entre sí por una disminución progresiva de la talla nuclear al ir avanzando su desarrollo, por el tamaño y por el aspecto contraído de los cromosomas.

Los espermatocitos secundarios dan lugar a las espermatidas que a su vez se pueden subdividir en varios tipos, dependiendo de la especie. La transformación de las espermatidas en espermatozoides maduros o espermatogénesis consiste en la organización del núcleo y el citoplasma, junto con el desarrollo total del flagelo. Los espermatozoides están solamente presentes durante la época de puesta o como elementos residuales durante la post-puesta. Lo más característico de los espermatozoides de los teleósteos es la carencia de acrosoma. La forma depende del tipo de fertilización siendo alargados en la cabeza y una pieza media en especies de fertilización interna, y de núcleo redondo y pieza media corta en especies de fertilización externa.

Escala de maduración, Igualmente, es de aclarar que las escalas encontradas en la literatura son numerosas, pero que en general todas siguen un mismo patrón tanto para hembras como para machos:

Inmaduro: es un animal con testículos pequeños que aún no está en actividad sexual (virgen), con gónadas pequeñas y está comenzando las divisiones celulares.

Reposo: no es virgen pero también tiene testículos pequeños con la diferencia que en ellos predominan cistos de espermatogonias secundarias.

Maduración: algunos autores la dividen en maduración inicial y final, primero comenzaría la actividad mitótica, después aumentaría el tamaño y la vascularización, posteriormente aparecerían bastantes cistos de espermatides y después espermatozoides.

Maduro: con intensa irrigación, tamaño del testículo máximo y espermatozoides en la luz.

Vacío: los testículos tienen una apariencia flácida con algunos espermatozoides residuales.

EN REGRESIÓN, al igual que en hembras se usa EXCLUSIVAMENTE para animales en cautiverio que NO desovaron y reabsorberán los espermatozoides (gametos). En el medio natural siempre se hablaría de vacio (desovado).

4. CONTROL NEUROENDOCRINO DE LA REPRODUCCIÓN

La reproducción es un evento condicionado a diversos factores, enmarcado por las condiciones ambientales y fisiológicas del pez. Las condiciones externas son captadas por el pez y transformadas en señales nerviosas que activan la formación y liberación hormonal, desencadenando el proceso reproductivo (Fig. 6). Tanto en machos

como en hembras se pueden distinguir tres fases espermato/ovo génesis; espermiación /ovulación; emisión de esperma / ovoposición (Lam, 82).

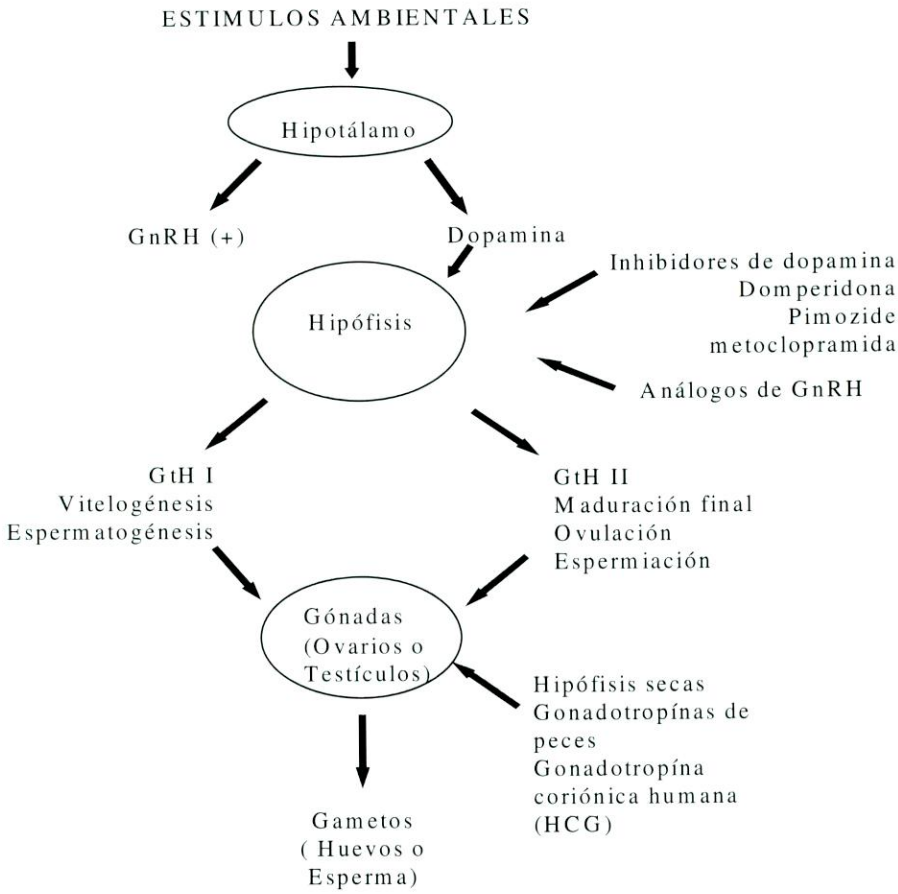


FIGURA 6. Esquema de la cascada de eventos en la función reproductiva de teleósteos (Venturieri y Bernardino, 1999)

4.1 COMPONENTES NEUROENDOCRINOS

La reproducción es una actividad que involucra diversos factores fisiológicos, controlados por órganos específicos (Fig. 7). Los componentes más involucrados en este proceso son:

- Glándula pineal
- El hipotálamo
- La hipófisis
- El hígado
- Las gónadas

4.1.1 Glándula pineal

Esta estructura es una evaginación del diencéfalo ubicada en la superficie dorsal de la región diencefálica posterior del cerebro, se piensa que usa la información para sincronización del comportamiento diario y estacional de los eventos fisiológicos. No esta todavia claro si esto se lleva a cabo por el camino neural o endocrino (Porter *et al.*,

BIBLIOTECA AGRICOLA DE COLOMBIA

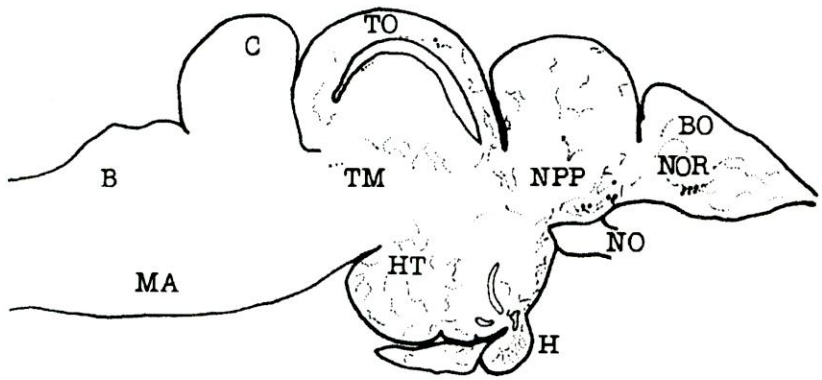


FIGURA 7. Esquema de las estructuras cerebrales del lenguado. B: Bulbo; BO: Bulbo Olfatorio; C: Cerebelo; H: Hipófisis; HT: Hipotálamo; MA: Médula Oblonga; NO: Nervio Optico; NOR: Núcleo Olfatorio Reticularis; NPP: Núcleo Preóptico Periventricularis; TM: Tegumento; T: Telencéfalo; TO: Techo óptico. Corte longitudinal. (Tomado de Zanuy y Carrillo, 1987)

1995). Al parecer presenta actividad secretora de gran importancia en la actividad reproductiva. Su posición anatómica en el cráneo, bajo una depresión traslúcida, la hace sensible a los cambios en la duración e intensidad del fotoperiodo.

Su estructura sensorial está constituida por tres tipos celulares:

- Células de sostén
- Células ganglionales
- Células fotoreceptivas

Estas últimas son similares a las células fotoreceptivas de la retina, por lo tanto son las directamente encargadas de recibir los estímulos lumínicos.

La glándula pineal secreta una hormona llamada melatonina, que en ciertos teleósteos es un potente inhibidor de la reproducción. Esta secreción está regulada por los cambios de luz, siendo mayor para los periodos largos de luz y menor en los cortos. Los cambios estacionales en la longitud del día se reflejan en las modificaciones, también estacionales, del patrón de secreción de la melatonina, proporcionando una información precisa de los cambios fóticos a escala diaria y anual (Zanuy y Carrillo, 1997 y Porter, 1995).

Es importante recalcar que algunas especies tropicales, desovadoras durante períodos secos, no parecen afectadas reproductivamente por la secreción de melatonina, siendo estas épocas coincidentes con fotoperíodos largos.

Se puede concluir que la glándula pineal actúa como reloj endocrino y fisiológico, que predispone al pez frente a las condiciones óptimas de reproducción.

4.1.2 Hipotálamo

Ubicado en la región ventral del diencéfalo, este órgano está constituido por cuerpos neurales agrupados en núcleos y con función neurosecretora.

En el hipotálamo y en la región preóptica existen receptores para la melatonina; ambas son regiones diana para los esteroides sexuales y lugares con abundante presencia de inervaciones dopaminérgica y factor liberador de gonadotropinas (GnRH), que son los principales sistemas de inhibición y estimulación de la liberación de la gonodotropinas (GtH), respectivamente, que actúan sobre la adenohipófisis (Zanuy y Carrillo, 1997; Sorbera, 1995 y Urbinati, 1999 b).

El hipotálamo capta impulsos nerviosos procedentes del cerebro transformándolos en mensajeros químicos llamados Hormonas Liberadoras Hipotalámicas (RH)

Los núcleos directamente involucrados en el proceso reproductivo son:

- Núcleo lateral Tuberis (NLT)
- Núcleo preóptico (NPO)

El primero se encarga de la liberación de la hormona liberadora de gonadotropina, GnRH y el segundo al parecer está involucrado en la liberación de la hormona inhibidora de la liberación de gonadotropina, GRIF (Fig. 8).

En cuanto a las hormonas liberadoras e inhibidoras de gonadotropinas existen las siguientes:

Hormonas liberadoras

Las hormonas liberadoras de gonodotropinas son las claves en la regulación de la reproducción. Las células neurosecretoras responden a una señal procedente del cerebro, liberando un mensajero químico en el terminal del axón, llamado hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH).

Esta a su vez actúa sobre las células gonadotropas de la adenohipófisis, estimulando la liberación de gonadotropinas (FSH y LH en mamíferos o GtH I y GtH II en peces) (Zanuy y Carrillo, 1987).

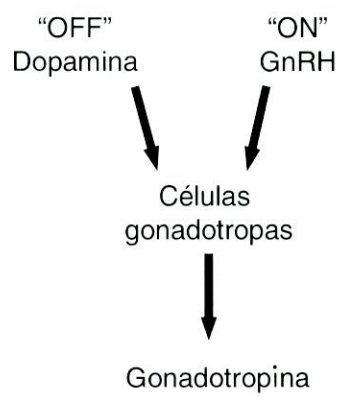


FIGURA 8. Estimulación e inhibición de las células gonadotrópicas (Harvey y Carosfield, 1995).

El término GnRH y LHRH son usados en el mismo sentido, pero el LHRH se refiere a un GnRH específico que libera LH (hormona luteinizante).

Estructuralmente el GnRH de los teleósteos es un pequeño péptido con una cadena lineal de 10 aminoácidos (Tabla 1), el cual ha mantenido su organización a lo largo de la evolución (Zanuy y Carrillo, 1987 y De Leeuw *et al.*, 1987).

Solamente el GnRH de salmón y humano ha sido usado en la rutina de inducción reproductiva en peces. Una molécula de GnRH de salmón es semenajante en un 80% al LH-RH humano (Sorbera, 1995 y Urbinati, 1999 b).

Cuando la GnRH es liberada sobre la hipófisis ésta es detectada por estructuras especiales en la superficie de la membrana llamados receptores de las células adenohipofisisarias.

Estos receptores tiene afinidad química y son hormonas específicas. Al llegar a la célula, hormona y receptor se acoplan y desencadenan una serie de eventos intracelulares que culminan con la síntesis de la hormona que

TABLA 1. Estructura primaria de GnRHs aislados del cerebro de algunos vertebrados (Modificado de Sorbera, 1995).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pollo	pGlu	His	Trp	Ser	His	Gly	Trp	Tyr	Pro	Gly-NH_2
Mamífero	pGlu	His	Trp	Ser	Tyr	Gly	Leu	Arg	Pro	Gly-NH_2
Pez gato	pGlu	His	Trp	Ser	His	Gly	*Leu*	Asp	Pro	Gly-NH_2
Salmón	pGlu	His	Trp	Ser	Tyr	Gly	Trp	Leu	Pro	Gly-NH_2
Seabream	pGlu	His	Trp	Ser	Tyr	Gly	*Leu*	*Ser*	Pro	Gly-NH_2
Dogfish	pGlu	His	Trp	Ser	His	Gly	Trp	*Leu*	Pro	Gly-NH_2

produce la célula. El conocimiento de esta fase del mecanismo de acción de GnRH es importante para la práctica de la reproducción controlada, pues el uso de análogos de hormonas que actúan en la hipófisis ya hace parte de la rutina de reproducción inducida (Urbinati, 1999 b).

El principal efecto de la GnRH es causar un aumento de GtH plasmática, liberada por la células gonadotropas, cuyos receptores son estimulados (Sorbera, 1995).

Hormonas inhibidoras

Entre los descubrimientos que vienen siendo realizados sobre el sistema de liberación de gonadotropinas (GtH), la existencia de otras sustancias inhibidoras ya está evidenciada. El agente inhibidor de GtH (GRIF) más conocido como dopamina, es una neurohormona de la familia de la adrenalina (catecolamina). La función de la dopamina en los vertebrados, asi como de otros agentes químicos, no está completamente aclarada, otras investigaciones muestran que este peptido bloquea la liberación de GtH en muchos teleósteos.

El bloqueo de la dopamina por el uso de antagonistas del receptor de dopamina (domperidona u pimozide) aumentan la liberación de GtH cuando el pez es inyectado con GnRH (Urbinati, 1999 b; Zanuy y Carrillo, 1987 y De Leeuw *et al.*, 1987).

4.1.3 Hipófisis

Ubicada ventral al hipotálamo, esta glándula es el puente de transición de la actividad neuroendocrina (Fig 9).

La hipófisis es un sitio de síntesis, almacenaje y liberación de varias hormonas peptídicas, puede ser considerada como un transductor que, a través de sus secreciones, posibilita que el sistema nervioso central controle un rango muy amplio de funciones endocrinas, entre las que cabe mencionar por su importancia la reproducción, la osmoregulación, el crecimiento y alguna forma de control del metabolismo (Zanuy y Carrillo, 1987 y Villaplana *et al.*, 1995).

Su estructura anatómica está constituida por tres segmentos:

- Neurohipófisis
- Parte intermedia
- Adenohipófisis

La primera está formada de fibras axónicas neuronales procedentes de los núcleos hipotalámicos. La neurohipófisis en los teleósteos presenta una distribución característica que la hace diferente de los demás vertebrados. La irrigación sanguínea no se presenta independiente del tallo neural sino que va embebida en los cuerpos neurales irrigando directamente a la adenohipófisis.

Esta distribución podría presumir una deficiencia en el sistema regulador hormonal, pero la enervación directa de las fibras pectidérgicas y adrenérgicas sobre las células de la parte distal de la adenohipófisis, hacen esto improbable.

La adenohipófisis está constituida por tres lóbulos:

- Parte distal rostral (PDR)
- Parte distal proximal (PDP)
- Parte intermedia (PI)

Parte distal rostral. Ubicada en la región antero dorsal de la adenohipófisis, esta porción ocupa 1/6 del volumen total y está constituida por:

- Células de prolactina (Prl)
- Células tireotropas (TSH)
- Células corticotropas (ACTH)

Parte distal proximal. Se halla en la región central de la glándula, ocupando la tercera parte del volumen total de la adenohipófisis y las células que las constituyen son:

- Células somatrotopas (STH)
- Células gonadotropas (GSH)

Parte intermedia. Estrechamente relacionada con la neurohipófisis por cordones delgados y ramificados, esta parte se halla en la región ventro posterior de la adenohipófisis y ocupa la mitad del volumen total de la glándula (Complejo neuro intermediario). Está constituido por entre otras por células melanocito estimulantes (MSH).

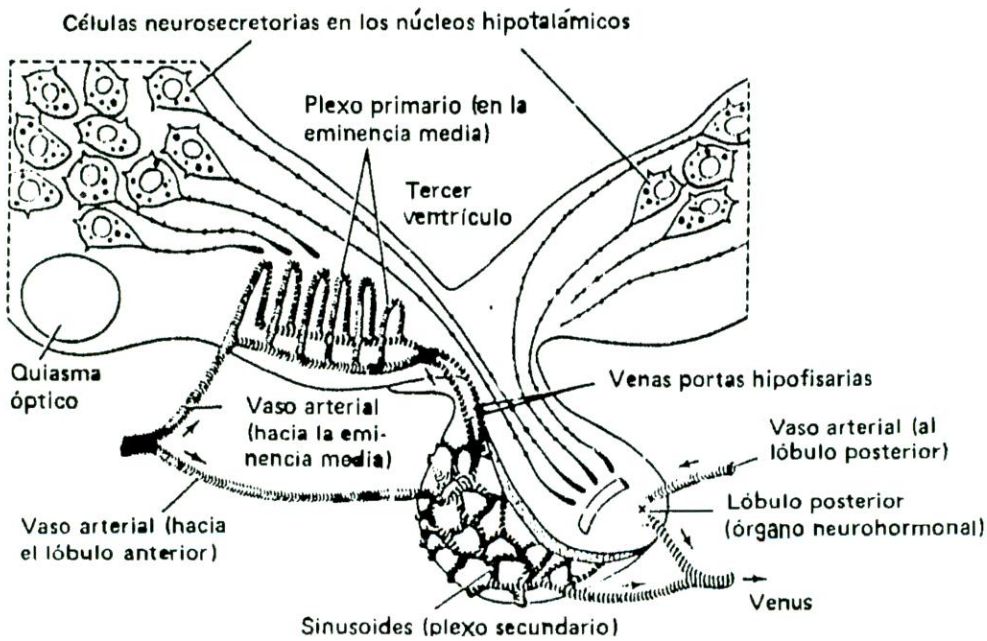


FIGURA 9. Representación esquemática de la hipófisis de un teleósteo

4.2 Control endocrino

Todos los eventos fisiológicos ocurridos en el pez influencian su desarrollo reproductivo, sin embargo existen eventos hormonales que marcan este proceso.

Como se mencionó anteriormente el desarrollo y posterior proceso de reproducción está condicionado por factores externos e internos del pez. Durante las etapas de crecimiento los niveles hormonales involucrados en la reproducción, mantienen una tasa constante de producción relativamente baja. Una vez llegada la madurez gonadal, la actividad hormonal es alterada por diferentes factores como temperatura, fotoperíodo, señales asociadas con las lluvias y demás factores que pueden cambiar el entorno del pez provocando que se disparen los mecanismos activadores del proceso reproductivo.

Estos estímulos son procesados por receptores sensoriales y transformados en señales neuronales que llegan a los núcleos hipotalámicos, produciéndose la liberación de GnRH. Este neuropéptido se dirige por los cuerpos neuronales hacia la hipófisis, siendo captado por las células gonadotropas (GSH), las cuales se estimulan para producir gonadotrofina (GtH). Esta hormona glicopróteica es vertida al torrente sanguíneo, más exactamente a la vena hipofisiaria y conducida hasta las gónadas, en donde influenciará la producción de esteroides sexuales responsables de la maduración de los gametos y su posterior ovulación o espermiación (Mylongas *et al.*, 1997).

4.2.1 Control endocrino en hembras

La influencia hormonal en el desarrollo sexual de la hembra, viene dado a partir de la fase de crecimiento secundario o vitelogénesis. La presencia de las GtH hipofisiarias en la fase previtelogénica no parece tener efecto en esta etapa.

Según las investigaciones más recientes, los procesos de desarrollo sexual en un pez maduro están controlados por dos clases de gonadotropinas hipofisiarias denominadas GtH A1 y GtH A2, la primera tiene carácter vitelogénico y es llamada hormona madurativa y su composición es altamente glicosilada y la segunda es conocida como hormona vitelogenética (Fig. 10).

Las GtH liberadas al torrente sanguíneo, previa estimulación hipotalámica hipofisiaria son conducidas al ovario. En esta primera instancia los niveles de GtH II son mayores que los de GtH I. Estos niveles gonadotrópicos dan comienzo a los procesos vitelogénicos (exógeno y endógeno).

La GtH II estimula la producción de andrógenos a partir del colesterol en las células tecales. Estos andrógenos, especialmente la testosterona pasa a las células granulosas en donde mediante una acción aromatasa son transformados en estrógenos (Fig. 11).

Los estrógenos, principalmente 17 β estradiol son dirigidos al torrente sanguíneo y posteriormente captados por los receptores hepáticos, estimulando la síntesis hepática de vitelogenina (Vg). Este complejo lipo – fosfo – proteico específico en hembras es el principal precursor de las proteínas y lípidos del vitelo; una vez la Vg llega a las gónadas es captada por micropinocitosis al interior del ooplasma. En el momento de la captura de Vg los niveles de GtH I aumentan y los de GtH II descienden (Tyler, 1991).

Cuando se ha completado el proceso de vitelogénesis, el oocito comienza su maduración, caracterizada por la clarificación del vitelo y la migración de la vesícula germinal a la periferia. En esta etapa los niveles de 17 β estradiol, caen debido a una pérdida aromatasa de las células de la granulosa, ocasionado un aumento en los niveles de testosterona, los cuales serán utilizados para la síntesis de MIS (Esteroides inductores de maduración), principalmente la progestina 17 α- 20 β dihidroxiprogesterona (Petrino *et al.*, 1989).

En la etapa de maduración y ovulación la GtH II alcanza los valores máximos como consecuencia de la eliminación del feed-back negativo de los estrógenos .

Cuando la migración del núcleo ha finalizado, el óvulo es expulsado del folículo (ovulación), permaneciendo en la cavidad ovárica hasta el desove. Estos eventos finales están regulados por la GtH, mediante la acción de los MIS y

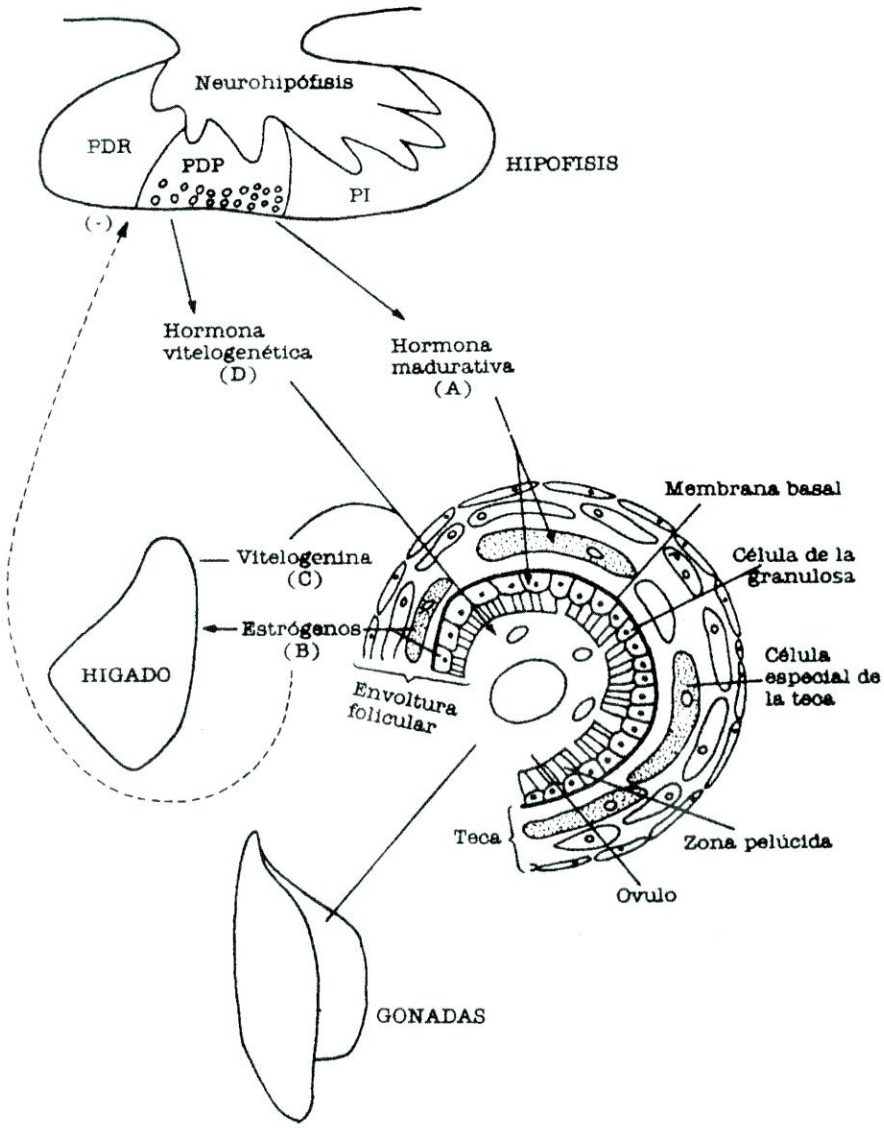


FIGURA 10. Representación del mecanismo del control de la vitelogénesis de los teleósteos (Tomado de Zanuy y Carrillo, 1987)

las prostaglandinas, estas ultimas estimulan la contracción y la ruptura folicular (Stacey y Pandey, 1975; Jalabert, 1976 y Goetz, 1983) (Fig.12).

4.2.2 Control endocrino en machos

La GtH hipofisiaria es la hormona reguladora de todos los eventos reproductivos ocurridos en el testículo del pez. Los niveles de GtH estimulan la síntesis de esteroides gonadales (testosterona) en las células de Leydig. Este andrógeno causa la división de espermatogonias en espermatozoides haploides en la ESPERMATOGÉNESIS.

La 11 Keto – testosterona producida por las células de Leydig permite la liberación de las espermátidas al lumen testicular, lo que se conoce como ESPERMIOGENESIS. Este evento es mantenido en niveles bajos hasta justo antes

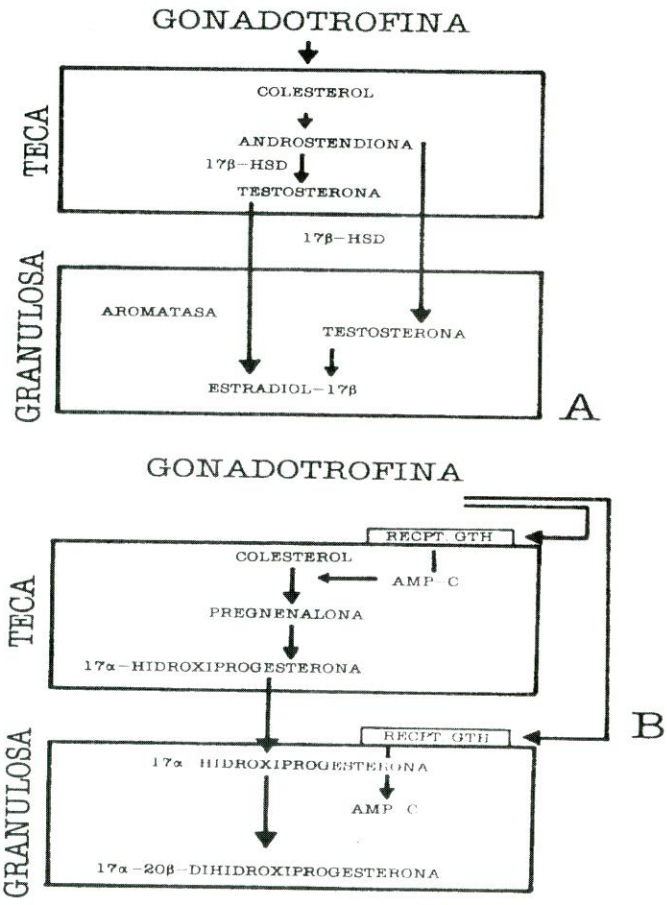


Figura 11. Modelo de la intervención de dos tipos celulares en la síntesis, A. 17 β estradiol. B. Producción folicular de la 17 α 20 β- P (Tomado de Zanuy y Carrillo, 1987)

del desove, una vez el desove se presenta induce la producción de fluido seminal por parte del ducto espermático y el proceso de espermiación se acelera, esta actividad es propiciada por la hormona 17 α 20 β dihidroxiprogesterona producida por las células de Leydig y posiblemente por el espermatozoide maduro (Fig. 13).

La espermiación y la adopción de características sexuales secundarias como la coloración, agresividad, cortejo, etc., parecen estar correlacionadas con los niveles elevados de 11 Ketosterona, asociados al comienzo de la actividad reproductiva (Fig. 14).

De otro lado, hormonas como la prolactina parecen estar involucradas en los procesos de cuidado parental y construcción del nido (Zanuy y Carrillo, 1977 y Billard, 1986).

5. INFLUENCIA AMBIENTAL EN LA REPRODUCCIÓN

Los procesos de adaptabilidad de los animales implican un proceso evolutivo de varios millones de años, tiempo en el cual han logrado recopilar la suficiente información del exterior, que les permite una óptima correlación entre los cambios medioambientales y sus procesos fisiológicos.

Las periodicidades medio ambientales en los peces son expresadas por diversas actividades biológicas presentadas en determinados periodos del año que posibilitan el éxito de su adaptación. En el caso de la reproducción en la zona tropical las temporadas de lluvias suelen ser el gatillo que dispara el inicio de los eventos reproductivos, ya que

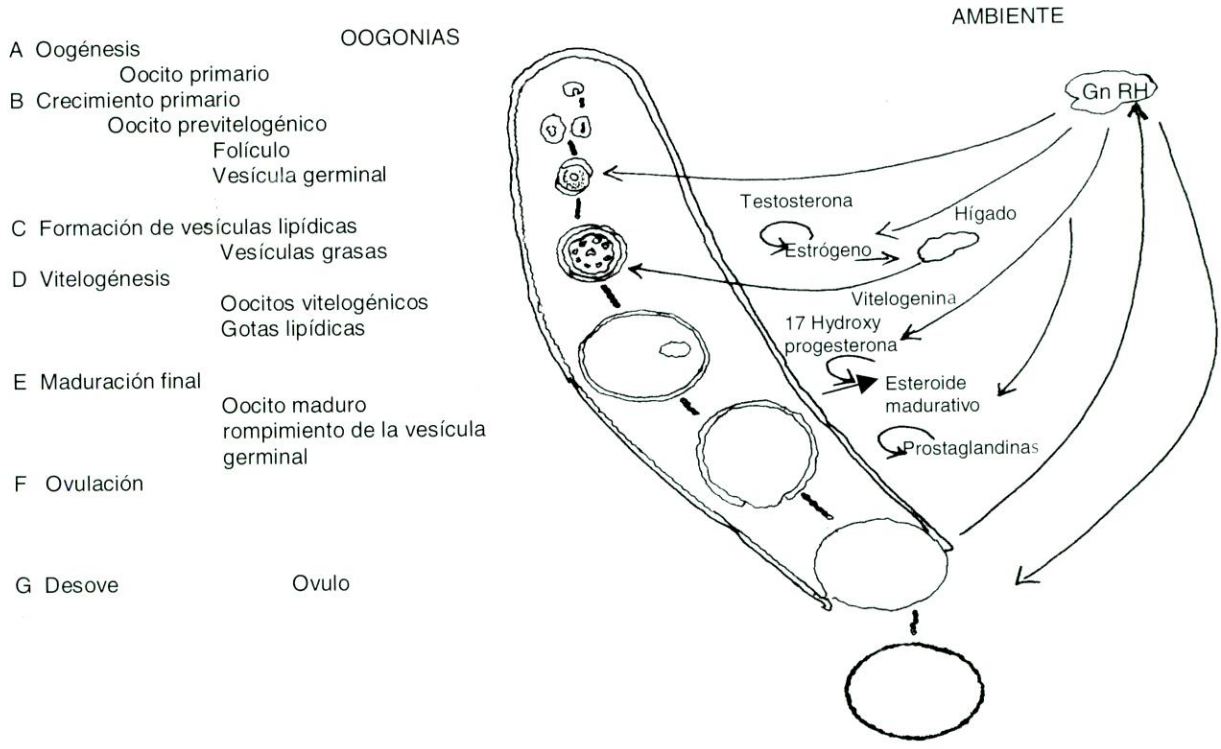


FIGURA 12. Control hormonal de la maduración y liberación de óvulos (Tomado de Harvey y Carosfield, 1995)

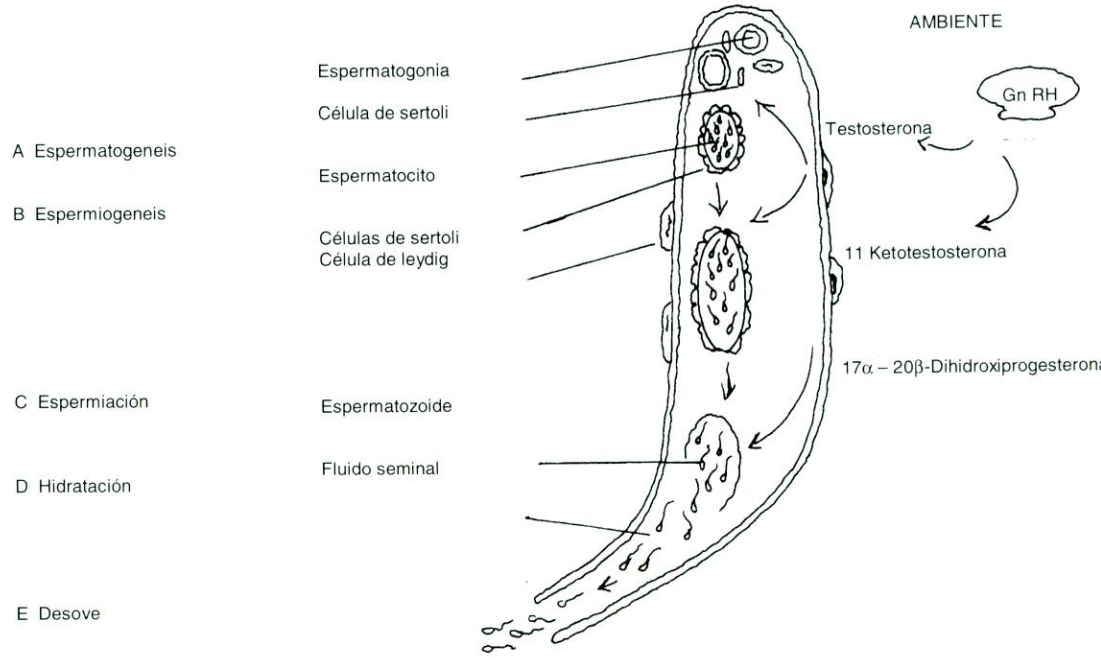


FIGURA 13. Control hormonal de la maduración espermática (Tomado de Harvey y Carosfield, 1995)

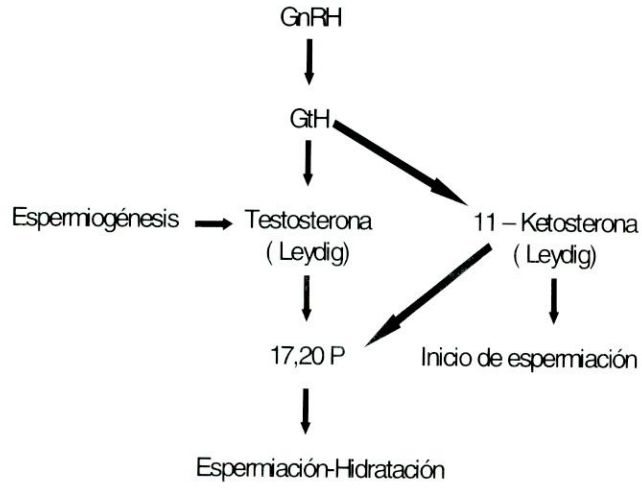


FIGURA 14. Esquema de los mecanismos y secreciones implicados en el proceso madurativo de los machos.

son en éstos periodos en los cuales las aguas y los alimentos se hallan en las mejores disposiciones para supervivencia de los alevinos.

Debido a las condiciones medioambentales privilegiadas con que contamos en nuestro país, los factores medioambientales determinantes de los procesos reproductivos no presentan gran influencia sobre este, aun menos si se trata de ejemplares mantenidos bajo condiciones de cautiverio y con una amplia oferta alimentar.

Sin embargo, para otras latitudes existen factores que pueden influir en la reproducción como:

5.1 Factores últimos

Según Zanuy y Carrillo (1987) los factores últimos son aquellas variables ambientales que han ejercido una presión de selección para que la actividad reproductiva se lleve a cabo en un periodo determinado de tiempo. Estos factores suelen presentar gran variación de acuerdo con las especies y son:

- Inundaciones
- Temperaturas elevadas
- Disponibilidad de alimento
- Competitividad por alimento y espacio
- Grado de predacion inter e intra especies
- Características físico químicas del agua

El más importante de los anteriores factores es la disponibilidad del alimento, ya que ésta condiciona de forma directa y en gran parte la supervivencia de las especies.

5.2 Factores próximos

La acumulación de la información de los factores últimos a través del proceso evolutivo de la especie les permite determinar con cierto grado de exactitud la periodicidad de los eventos climáticos óptimos para su reproducción. A tal grado que puede llegar a cambiar la frecuencia génica de los animales.

Una de las formas para determinar el grado de selección de los factores ultimo por parte de un organismo es tener en cuenta sus requerimientos ecológicos, las propiedades del ambiente en que se desarrolla y la actividad que requiere sincronizar (reproducción) (Greeley *et al.*, 1988).

6. INDUCCIÓN A LA PUESTA

La creciente necesidad de obtener gran cantidad de fuentes proteicas, hace que se busque aumentar las poblaciones de animales de consumo, por medios artificiales.

Como bien es sabido una ínfima parte de las especies, con posibilidades de explotación comercial son manejadas en la actualidad. Lo que hace necesario el conocimiento biológico de las especies para propagarlas de forma adecuada y eficiente. Podríamos clasificarlas en:

- Naturales
- Artificiales

6.1 PROPAGACIÓN NATURAL

Este sistema consiste en ofrecer al pez ciertas condiciones medio ambientales para la reproducción propia de su especie. El manejo que se realiza en estos individuos trata de simular ciertos aspectos biológicos involucrados en su actividad reproductiva. Las estrategias utilizadas para esto, son:

- Proporcionar un sustrato artificial para el desove, como nidos, superficies, receptáculos, etc., que faciliten el desove del pez, simulando el medio natural.
- Simular condiciones naturales manejando corrientes de agua, relaciones macho - hembra, densidades adecuadas, fotoperíodos, substratos naturales de postura, propiedades fisico-químicas del agua como temperatura, pH, salinidad, dureza, oxígeno disuelto y todas aquellas que tengan un papel preponderante en la biología reproductiva del pez.

6.2 PROPAGACIÓN ARTIFICIAL

Muchas especies manejadas comercialmente no se reproducen en cautiverio, lo que hace necesario el uso de sustancias que medien esta actividad. La utilización de los diferentes compuestos manejados en la inducción depende de factores, tales como:

6.2.1 Especificidad del inductor hormonal

Estos pueden ser:

- **Homoplásticos:** hace referencia a compuestos hormonales aplicados a una especie determinada y que proceden de la misma.
- **Heteroplásticos:** se refiere a la utilización de sustancias de una especie, aplicada a otras diferentes.

6.2.2 Dosificación

La cantidad de sustancia aplicada depende de factores tales como:

- Origen del producto. Algunos compuestos tienen sitios específicos para actuar y sus niveles de dosificación varían. Las sustancias purificadas tienen niveles de dosificación más bajos que los extractos brutos.
- Especificidad. Los compuestos homoplásticos suelen tener una dosificación menor que los heteroplásticos.
- Estado fisiológico. Los peces que muestran estados avanzados de maduración gonadal requieren dosis menores que los que presentan fases tempranas de desarrollo.
- Peso del pez. La dosis es directamente proporcional al peso del pez.
- Sitio de acción. Las sustancias utilizadas presentan composiciones variadas, lo que exige un manejo individual de cada una de ellas.
- Lugar y forma de aplicación. los inductores tienen diferentes sitios y formas de aplicación dependiendo del sitio de acción, se puede aplicar ya sea intramuscular, intraperitoneal y oral (Fig. 15).

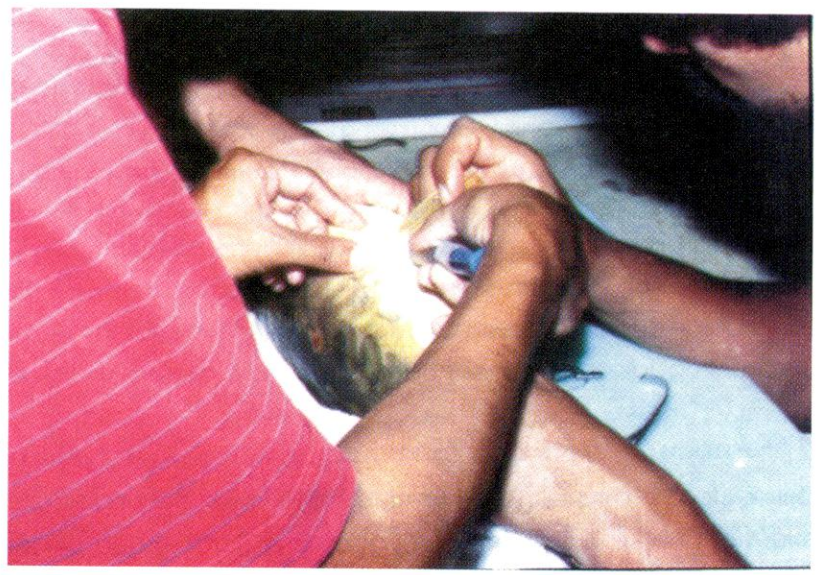


FIGURA 15. Vías de administración hormonal (Tomado de Contreras y Contreras, 1994)

6.2.3 Hora y época de aplicación.

Los niveles hormonales del pez presentan cierta periodicidad en el transcurso del tiempo (horas, día y año), dependiendo de factores medioambientales como temperatura, humedad, fotoperiodo, etc., que pueden influenciar en gran medida la cantidad y clase de sustancia utilizada en la inducción.

6.2.4 Lugar de acción

Como ya se indicó, la reproducción en los peces (teleósteos) está controlada a través del eje hipotálamo-hipófisis-gónada. Este mecanismo secuencial permite la intervención en cada uno de los tres niveles, interfiriendo o promoviendo el proceso reproductivo en su conjunto mediante el empleo de distintas sustancias hormonales.

Teniendo en cuenta el sitio de impacto de los compuestos utilizados en la inducción reproductiva, se puede realizar la siguiente clasificación, tomando como base el lugar donde actúan (Zanuy y Carrillo, 1987; García, 1995 y Venturieri y Bernardino, 1999).

Hipotálamo:

Antiestrogénicos. Son compuestos que inhiben o modifican la acción de los estrógenos, quienes a su vez regulan a modo de retroalimentación negativa la secreción de gonadotropinas. Los Antiestrógenos toman los sitios de ligado de los receptores estrogénicos en la hipófisis ocasionando un aumento en los niveles de GtH plasmática, los cuales provocarían ovulación, previa finalización de la vitelogénesis.

Los más utilizados son el citrato de clomifeno, el tamoxifen y el ciclofenil.

Al usarlos hay que tener encuenta que si se usan dosis muy bajas pueden provocar un efecto contrario, es decir inhibir la secreción de gonadotropinas en vez de estimularla.

Igualmente deben administrarse cuando los ovocitos están finalizando su vitelogénesis, es decir, cuando los niveles de estrógenos son altos; puesto que en fases posteriores no tiene ningún efecto.

Antidopaminérgicos. Tras la determinación de la catecolamina: dopamina, como factor inhibidor de la secreción de gonadotropina (GRIF), se han empleado diversos compuestos antagonistas de la dopamina para contrarrestar la

acción del GRIF y por tanto potenciar la maduración y puesta de los peces. Entre los más empleados se encuentran el pimozide y la domperidona. Generalmente se emplean junto con la GnRH.

Los compuestos hasta ahora utilizados sobre el hipotálamo, ha sido a escala experimental, y las investigaciones al respecto no son muy concluyentes.

Hipófisis

La administración de hormonas liberadoras hipotalámicas es otro método que se investiga con buenos resultados. Las hormonas liberadoras de gonadotropinas (GnRH), inducen la secreción de gonadotropinas en la hipófisis. Las más empleadas hasta el momento han sido la GnRH de mamíferos (LH – RH) y sus análogos estructurales (LH-RHa).

En el caso de los análogos estructurales, producidos por sustitución y/o eliminación de algún aminoácido de la secuencia original, presentan la ventaja que poseen una mayor actividad biológica que la molécula original posiblemente debido a que poseen una tasa de degradación enzimática más lenta y por tanto actúan por más tiempo.

Estos análogos estructurales provocan liberación de gonadotrofinas a nivel hipofisiario y sus respuestas ovulatorias depende de la especie, dosificación, intervalo entre dosis, vía de administración, estado gonadal de la especie, época de puesta y la combinación que se haga con otras sustancias en el proceso de inducción, especialmente con GtH. Aunque su uso es prometedor, por ahora esta restringido debido a su costo.

Las ventajas del uso de las hormonas hipotalámicas con respecto a las hipofisiarias, son que estas han cambiado poco en el transcurso de la evolución y son moleculas relativamente pequeñas pero muy activas (actúan a dosis muy bajas), pueden ser sintetizadas a nivel comercial y no provocan efectos secundarios de tipo inmunitario.

Gónada

El manejo que se realiza a este nivel es el más implementado en acuacultura, principalmente el método de hipofisación por ser práctico y económico. A este nivel se utilizan los siguientes compuestos:

- Esteroides
- Antiestrogenos
- Prostaglaninas
- Extractos purificados de GtH
- hCG
- Extractos hipofisiarios

Esteroides: tres son los grupos de esteroides que están involucrados en la ovogénesis y ovulación: las progestinas, los corticosteroides y los estrógenos. En la maduración de los oocitos, quien comienza todo el proceso en el ovario es un andrógeno, la testosterona.

Las progestinas son usadas para la maduración final del ovocito (migración y ruptura de la vesícula germinal). Para su acción requiere la presencia de al menos una mínima cantidad de GtH en el plasma.

Los corticosteroides (de origen renal o sintetizados en el tejido gonadal) inducen la maduración final del ovocito y la ovulación en la mayoría de los teleósteos cuando se administra en dosis altas o en combinación de GtH

Los estrógenos se utilizaron para favorecer la vitelogénesis pero prácticamente no se utilizan debido a que se comprobó que interferían en los procesos de maduración y ovulación dado que en esos momentos los niveles de estrógenos disminuyen, mientras que aumentan los de progestinas.

Estos compuestos actúan como mediadores de la acción de la GtH a nivel gonadal, la utilización en acuacultura de los esteroides ha sido muy poca debido a los resultados contradictorios mostrados en experimentación. La 11 Ketotestosterona es un andrógeno utilizado para provocar espermiación en machos y los estrógenos 17α 20β dihidroxiprogesterona provocan la maduración folicular y la ruptura de la vesicular germinal en las hembras maduras.

El uso de esteroides debe realizarse en combinación con gonadotrofinas o extractos pituitarios, debido a que su actividad afecta determinadas etapas fisiológicas y no el proceso en general. De otra parte la dosificación y momento de utilización son un cuello de botella que restringe de momento su aplicación comercial.

Prostaglandinas: este compuesto estimula la contracción y rotura folicular (Stacey y Pandey, 1975) y parece ser que favorece la conducta de puesta, este método no se utiliza en la práctica pero se pueden recomendar en hembras maduras próximas a la ovulación.

Gonadotrofinas: las gonadotrofinas (GtH) son hormonas glicoproteicas de origen hipofisiario o placentario (mamíferos) que estimulan el desarrollo y función de las gónadas. Se ha demostrado que la hipófisis de los teleósteos secreta dos clases de gonadotropinas, la GtH I y la GtH II. El principal responsable de la secreción y liberación de ambas es el GnRH.

La GtH I está implicada en el control de la vitelogénesis y la espermatogénesis. La GtH II en la maduración final del oocito y la ovulación.

Las GtH empleadas para inducir la maduración y ovulación de los peces se pueden dividir según su origen en mamíferos y de peces. Las de mamíferos a su vez se dividen según su origen en: Hipofisiarias (LH y FSH) y placentarias, principalmente la hCG.

Respecto a las gonadotropinas de peces empleadas, se pueden clasificar según su grado de pureza. Glándula de la hipófisis en fresco, extractos acuosos de la glándula, hipófisis secada en acetona o etanol, liofilizada y gonadotropinas parcialmente purificadas.

La gonadotropina más usada actualmente es la hCG en sus diversas denominaciones comerciales, seguida de los extractos de hipófisis ya sean comerciales (carpa y salmón) u obtenidos de hipófisis recolectadas en fresco de la misma o distinta especie tratada.

7. INDUCCIÓN HORMONAL DE LA MADURACIÓN Y PUESTA

El control de la reproducción en los teleósteos puede intentar llevarse a cabo mediante la modificación de los parámetros ambientales y/o mediante la puesta en práctica de técnicas de inducción hormonal. En el primer caso, la respuesta de los ejemplares tratados es más "natural"; es decir, con mejores resultados en cuanto al volumen y calidad de la progenie. Pero cuando no se obtiene resultados suficientes es necesario acudir a las técnicas hormonales.

Para seleccionar la técnica de inducción hormonal más adecuada para la maduración y puesta de los peces, han de tenerse en cuenta: la especie elegida, su comportamiento reproductivo en cautividad, el sexo y la disponibilidad de los productos a emplear.

Una vez conocido el nivel en que se encuentra bloqueado el proceso fisiológico de la reproducción, para una determinada especie y sexo, es posible definir las sustancias hormonales a emplear. Cuando el bloqueo se sitúa a un nivel alto del eje hipotálamo- hipófisis - gónada, es decir que no se produce la maduración de los productos sexuales, se emplean habitualmente sustancias como las GnRH o GtH. En cambio, si el bloqueo está en la ovulación y/o espermiación o en la emisión de óvulos y/o esperma, entonces suelen emplearse productos que actúan a un nivel mas bajo del eje (esteroides, protaglandinas, catecolaminas, etc.).

Las técnicas empleadas hasta el momento han consistido en el empleo de un único producto o bien en la combinación de varios, simultánea o sucesivamente. En el primer caso es habitual el empleo de extractos de hipófisis (hipofisación), la hCG y distintos tipos de GnRH sintéticas. En otras especies, con más dificultades para reproducirse, se emplean combinaciones como: LH-RH + hCG, Hipofisación + hCG, GnRH + antidopaminérgicos, hCG + esteroides, etc.

7.1 Hipofisación

El uso de hipófisis en la inducción hormonal es el procedimiento más generalizado en las explotaciones piscícolas. Los extractos hipofisiarios utilizados deben provenir de animales sexualmente maduros, como regla general se debe

tener en cuenta que los extractos hipofisiarios sólo son efectivos en hembras que presenten la mayoría de sus ovocitos en fase de maduración final, lo que significa el final de vitelogénesis. Las hipófisis pueden ser inyectadas en fresco o en estado de preservación.

Ventajas y desventajas del método de hipofisación (Contreras y Contreras, 1994):

Ventajas:

* Es simple y requiere pocos conocimientos para su aplicación
* No se requiere determinar el momento preciso de la ovulación ni vigilar a la hembra para decidir si está lista al desove artificial a mano
* Requiere poco capital
* Se evita lesiones en los reproductores
* La dosis puede calcularse fácilmente
* Reducción de tiempo y personal
* Se evita la sobremaduración de los huevos en el ovario, ya que el desove se presenta al finalizar la maduración

Desventajas:

* Difícil de estandarizar la dosis por desconocer la potencia gonadotropa del donador
* La potencia gonadotropa varía a lo largo del año
* Existe alta especificidad en algunos teleósteos al utilizar heteroplásticos
* Algunas hembras no liberan sus huevos en el tanque llevando a una sobremaduración
* Pueden presentarse efectos de inmunización hormonal por los otros compuestos contenidos en el extracto
* Las hembras pueden desovar en ausencia de macho
* El extracto fresco puede ser vector de enfermedades
* Hay que sacrificar una especie madura para inducir a otra

A manera de ilustración en la tabla 2 se presenta uno de los protocolos de inducción hormonal con extractos de hipófisis de carpa, utilizado comúnmente para la reproducción artificial de algunas especies de interés comercial, en donde se especifican los diferentes parámetros a tener en cuenta como son el intervalo en horas para la aplicación de las dosis hormonales y la cantidad de hormona necesaria por cada dosis. Igualmente se presenta la duración del desarrollo embrionario de algunas especies nativas como son el yamú, coporo y bagre rayado (Tabla 3).

TABLA 2. Dosis hormonales de E.P.C. utilizadas en inducción de peces a 27°C

Especie	Hora	1ª Dosis mg / kg	Hora	2ª Dosis mg / kg	Desove (Grados-hora)
Cachama	0	0.5	18	5.0	260-300
Yamú	0	0.5	12	5.0	150
Coporo	0	2.0	12	6.0	243-260
Bagre rayado	0	0.6	12	6.0	240-270
Yaque	0	0.6	12	6.0	173
Carpa	0	0.5	18	5.0	250

TABLA 3. Desarrollo embrionario de especies nativas a 27°C

Fase o estadio	Yamú (minutos)	Coporo (minutos)	Bagre rayado (minutos)
Disco germinativo	5	15	
Primer clivaje	20	30	30
4 Blastómeros	25	45	45
8 Blastómeros	35	60	50
16 Blastómeros	45	75	90
32 Blastómeros	55	90	110
Mórula	70	105	135
Blástula	180	120	240
Gástrula	300	150	300
Cierre de blastoporo	360	360	420
Eclosión	720	720	900
Poslarva	36 Horas	30-36 Horas	36 Horas

BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO, E.; Y. SALINAS; C. L. SÁNCHEZ; D. MUÑOZ; J.C. ALONSO; M. E. ARTEAGA; O. J. RODRÍGUEZ; N. R. ANZOLA; L.E. ACOSTA; M. NÚÑEZ y H. VALDÉS. 2000. Ciclo reproductivo de los bagres en la Amazonía colombiana. 151 - 176 p. En: Noemí, N., J.C. Donato y J.C. Alonso (Eds.). Bagres de la Amazonía colombiana : un recurso sin fronteras. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI. Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, D.C., Colombia. 253 p.

AZEVEDO,C. de O.; M. CRUZ e G. BARBIERI. 1988. Ciclo reproductivo de Paradon tortuosus (Eigenmann and Norris, 1900) do rio passa-cinco, peuna-sp II. Estados de maduracao do ovario. Epoca de reproducao. Rev. Bra. Biol., 48 (3): 571-575.

BILLARD, R. 1986. Spermatogénesis and spermatology of some teleost fish species. Reprod. Nitri. develop 26. 817-920 p.

CONTRERAS, P. J. y J. CONTRERAS. 1994. Reproducción inducida de Peces Tropicales. 125-138 p. En: Rodríguez, H.; G. Polo y G. Salazar. (Eds). Fundamentos de Acuicultura en Colombia. INPA, Bogotá, Colombia. 286 p.

DE LEEUW, R.; H. J. T. H. GOOS y P. G. W. J. VAN OORDT. 1987 The regulation of gonadotropin release by neurohormones and gonadal steroids in the African Catfish, *Clarias gariepinus*. Aquaculture, 63: 43-58 p.

FORBERG, K. G. 1982. A histological study of development of oocytes in capelin Mallotus villosus villosus (Muller). J. Fish Biol., 20: 143-154 p.

GARCÍA, A. 1995. Control hormonal de la reproducción e inducción de la maduración y puesta en los peces teleósteos. Aulas del Mar. Universidad de Murcia. España. 139-157p.

GREELEY, M. S.; R. MC GREGOR y K. R. MARION. 1988. Changes in the ovary of the gulf killifish, Fondulus grandis (Baird and Girard), during seasonal and semilunar spawning cycles. J. Fish Biol., 33: 97-107.

GOETZ, F. Hormonal control of oocite final maturation and ovulation in fishes. In: Fish phisiology (9B), 1983. New York Academic Press. HECHT T. y A. PIENAAR. 1993. A review of cannibalism and its implications in fish larviculture. Journal of the world aquaculture society, 24(2): 246-261.

GRIER, H. J. 1981. Cellular organization of the testis and spermatogenesis in fishes. Am. Zool., 21: 345-357.

HAILS, A. J. y ABDULLAH. 1982. Reproductive biology of the tropical fish Trichogaster pectoralis (Regan) J. Fish Biol., 21: 157-170.

HARVEY, B. y J. CAROLSFIELD. 1995. Induced breeding in tropicla fish culture. G C R. Croome. 144 p.

HARVEY, B. y W. HOAR. 1980. Teoría y práctica de la reproducción inducida de peces. Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo. CIID. Ottawa. Canadá, 48 p.

INPA. 2000. Boletín estadístico pesquero. Grupo de estadísticas. Bogotá, D.C. 63 p + Tablas.

JALABERT, B. 1976. In vitro oocyte maduration and ovulation in rainbow trout (*Salmo gairdneri*), northern pike (*Esox lucius*) and goldfish (*Carassius auratus*). J. Fish. Res. Board Ca., 33: 974-988.

LAM T. J. 1982. Applications of endocrinology to fish culture. Can. J. Fish Aquat. Sci., 39: 111- 137.

LOIR, M.; C. CAUTY; P. PLANQUETTE y P. YVES. 1989. Comparative study of the male reproductive tract in seven families of South American catfishes. Aquat. Living Resour. 2, 45-56 p.

MYLONGAS, C. C.; Y. MAGNUS; Y. KLEBANOV; A. GISSIS e Y. ZOHAR. 1997. Reproductive biology and endocrine regulation of pineal oocyte maduration of captive white bass. Journal of Fish Biology, 51: 234-250.

NAGAHAMA, Y.; K. HIROSE; G. YOUNG; S. ADACHI; K. SUZUKI y B. TANAOKI. 1983. Relative in vitro effectiveness of 17 α 20 β- dihydroxy-4-pregen-3-one and other pregene derivatives of germinal vesicle breakdown in oocytes of four species of teleost, ayu (*Plecoglossus altivelis*), amago salmon (*Oncorhynchus rhodurus*), rainbow trout (*Salmo gairdneri*), and gold fish (*Carassius auratus*). Gen. Comp. Endocrinol., 51: 15-25.

PETRINO, T. R.; M. S. GREELEY; M. S. SELMAN; K. LIN y R. A. WALLACE. 1989. Steroidogenesis in fundulus heteroclitus production de 17alfa trihydroxy 20 beta dihydroprogesterone. Testosterone and 17 beta estradiol by various components of the ovarian. Pollice. Gen. Comp. Endocrinol., 76. 230 p.

PORTER, M.; C. RANDALL y N. BROMAGE. 1995. The effect of pineal removal and enucleation on circulating melatonin levels in atlantic salmon parr. p. 75. En: Goetz, F.W. y P. Thomas (Eds). Proceedings of the FifthInternational Symposium on the Reproductive Physiology of Fish. University of texas of Austin. 389 p.

RODRÍGUEZ, M. 1992. Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces Agt editor.

ROMAGOSA, E.; P. DE PAIVA y H. M. GODINHO. 1990. Pattern of oocyte diameter frecuency distribution in females of the pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg 1887) induced to spawn. Aquaculture, 86: 105-110.

SORBERA L. 1995. Endocrine control of reproduction in teleost. . Aulas del Mar. Universidad de Murcía. España. 111-125 p.

STACEY, N. y S. PANDEY. 1975. Effects of indomethacin and protaglandins on ovilation of goldfish. *Prostaglandins*, 9: 597-608.

TAKANO, K. 1968. Fine structure of the wall of the ovarian lumen in the teleost, *Oryzia latipes*. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 19: 76-82.

TYLER, C. 1991. Vitellogenesis in salmonids, In Proc. Fourth. Int. Symp. Reprod. Physiol. Fish. Scott. Fish. Symp 91, Sheffield 295 p.

URBINATI, E. 1999 a. Controle hormonal da vitelogenesis, maduraçao, ovulaçao e desova. Seminario Morfofisiología de la reproducción de los teleósteos. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

URBINATI, E. 1999 b. Endocrinologia reproductive de peixes. En: Memorias del seminario Morfofisiología de la reproducción de los teleósteos. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

VALERIA, M.; F. PERDICHIZZI y G. BASCIANO. 1996. Aspects of the reproductive biology of the sharpsnout seabream Diplodus pontazzo (Cotti 1777). I. Gametogenesis and gonadal cycle in captivity during the trird year of life. Aquaculture, 140: 281-291.

VASQUEZ, W. 1994. Efeito de dietas com nívelis crescentes de proteína e energía na evoluVao ovocitária da pirapitinga, *Piaracrus brachypomus* (Cuvier, 1818). DissertaVao apresentada ao curso de Pós-graduaVao em Aquicultura do Centro de Ciencias Agrarias da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenVao do título de Mestre em Aquicultura. Florianapolis- SC. Brasil. 91p.

VAZZOLER, E. 1996. Biología da reprodução de peixes teleósteos : teoria e prática. Ed. Nupelia. Maringa-PR (Brasil).

VENTURIERI, R. L. L. y G. BERNARDINO. 1999. O uso de hormônios na reprodução artificial de peixes. Revista Panorama da Aquicultura. Rio de Janeiro. 9(55): 39 - 48.

VILLAPLANA, M.; B. AGULLEIRO; M. P. GARCIA y A. GARCIA. 1995 Ontogenia de los diferentes tipos celulares endocrinos de la hipófisis de peces teleósteos y posible significado fisiológico de los mismos durante las primeras etapas del desarrollo. Aulas del Mar. Universisdad de Múrcia. España. 167-191p.

VIZZIANO, D y N. BEROIS. 1990. Histología del ovario de Macrodon ancylodon (Bloch y Schneider 1801, teleostei: sciaenidae) ovogénesis folículos post-ovulatorios o atresia. Rev. Bra. Biol., 50 (2): 523-536.

WALLACE, R. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleost. Amer. Zool., 21: 325-343.

WALLACE, R.; S. M. BOYLR; H. J. GRIER; K. SELMAN y T. R. PETRINO. 1993. Preliminary observations on oocyte maduration and others aspects of reproductive biology in captive females snook *Centropomus undecinalis*. Aquaculture, 116: 257 – 273.

ZANUY, S y M. CARRILLO. 1977. Some observed correlations in the hypophisis-gonadal axis of Spicara. Chryselis C.V. Ins. Pesq., 41 (1): 103-119.

ZANUY, S. y M. CARRILLO. 1987. La reproducción de los teleósteos y su aplicación en acuacultura. Reproducción en acuacultura. España: CAYCIT.

ZANUY, S. y M. CARRILLO. 1997. El porqué de la investigación fundamental en la reproducción de peces en cautividad. VI Congreso Nacional de Acuicultura. Cartagena, España, 1-7 p.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

ANEXO 1

En general, se puede describir el proceso de desarrollo de los huevos en los siguientes estadios:

Estadio 1. Las células primitivas u oogonias son muy pequeñas, apenas mayores que las demás células (8 a 12 micras) y se multiplican por mitosis.

Estadio 2. Las oogonias crecen hasta 12 a 20 micras, y comienza la formación del folículo alrededor de ellas. Este tiene la función de alimentar y proteger al óvulo durante su desarrollo, convirtiéndose finalmente en una capa doble de células.

Estadio 3. Durante esta fase el óvulo crece considerablemente, llegando a 40-200 micras, siendo encerrados en su totalidad por el folículo.

Estos tres primeros estadios corresponden a la etapa previtelogénica.

Estadio 4. Durante esta fase comienza la producción y acumulación del vitelo. Proceso conocido con el nombre de vitelogénesis. El óvulo sigue creciendo hasta 200-300 micras y acumula en su protoplasma gotas de sustancias lipídicas.

Estadio 5. Constituye la segunda parte de la vitelogénesis. El citoplasma está lleno de gotas lipídicas y comienza la producción de vitelo, el tamaño del óvulo llega a 350-500 micras.

Estadio 6. Es la tercera parte de la vitelogénesis, durante la cual las placas de vitelo empujan las gotas lipoides hacia los bordes de la célula, donde empiezan a formar dos anillos. Los nucleolos que intervienen en la síntesis de proteínas y en la acumulación de nutrientes pueden verse adheridos a la membrana del núcleo. El tamaño del óvulo es de 600 a 900 micras.

Estadio 7. Durante esta fase se completa el estadio de vitelogénesis y el óvulo alcanza un tamaño de 900 a 1000 micras. Cuando termina la acumulación de vitelo los nucleolos se retiran al centro del núcleo, durante este estadio se desarrolla el micrópilo.

Los estadios 4, 5, 6 y 7 son los de vitelogénesis, durante los cuales se sintetiza el vitelo y se acumula en la célula.

Al terminar el estadio 7, el óvulo puede permanecer en reposo o latencia, (diploteno), por algún tiempo dependiendo de la especie, hasta que se presenten condiciones favorables para la ovulación, en caso contrario los óvulos entran en un proceso de atresia, siendo reabsorbidos por el organismo.

Las medidas descritas en los distintos estadios corresponden a los óvulos de la carpa común. El tamaño de los óvulos es representativo de la especie, pero el proceso de desarrollo es generalizado en teleósteos (Azevedo *et al.*, 1988).

Es interesante resaltar que el ovario tiene muchos vasos sanguíneos secundarios, pero no es rico en capilares. Ello significa que los senos linfáticos son los que desempeñan el papel principal en el transporte de hormonas, lípidos, aminoácidos, oxígeno, CO_2, etc., entre la pared del ovario y la célula del huevo.

Sin embargo, existen diferentes propuestas de escalas de maduración, según su desarrollo gonadal dentro de las cuales se encuentran las reportadas en la tabla 4.

TABLA 4. Escalas de valoración subjetiva del desarrollo gonadal (Rodríguez, 1992 y Vazzoler, 1996).

	Escala de Kesteven	Escala de Nikolsky	Escala de Vazzoler
ESTADIO I	VIRGEN: gónadas pequeñas, ventrales. Gónadas transparentes y un poco grises. No se ven a simple vista.	INDIVIDUOS VÍRGENES.	INMADURO O VIRGEN Ovarios pequeños, diámetro reducido. Lamelas ovígeras paralelas, células germinativas en división
ESTADIO II	VIRGEN-MADURANDO: gónadas translúcidas, color gris rojizo. Ocupan la mitad de la cavidad celómica. Oocitos se ven con lupa.	Los gametos aún no han empezado su desarrollo. Las gónadas están a lo largo de la cavidad celómica son pequeñas. Los óvulos no se distinguen a simple vista.	EN MADURACIÓN Ovarios 1/3- 2/3 de la cavidad celómica, intensamente vascularizados oocitos de reserva en vitelogénesis. Vitelogenesis I y II
ESTADIO III	EN DESARROLLO: testículos y ovarios opacos, ligeramente rojizos con capilares. Ocupan la mitad de la cavidad ventral. Los oocitos se ven como gránulos.	MADURANDO: los óvulos son visibles a simple vista. Los testículos cambian de transparente a color palo de rosa. Las gónadas incrementan su peso rápidamente.	MADURO Ovarios túrgidos < 2/3, lamelas ovígeras distendidas. Maduracion inicial oocitos grande opacos y Maduracion final con oocitos translucidos, rompimiento folicular.
ESTADIO IV	DESARROLLÁNDOSE: testículo rojizo-blancuzco con presión ventral no presentan líquido seminal. Ovarios de color naranja-rojizo. Los óvulos son observables y opacos. Las gónadas ocupan 2/3 partes de la cavidad celómica	MADURO: los gametos están maduros. Las gónadas han alcanzado su peso máximo, pero los gametos no son expulsados aún a la presión del abdomen.	EN RECUPERACIÓN Ovarios flácidos, zonas hemorrágicas, proliferación de linfocitos y macrófagos.
ESTADIO V	GRAVIDEZ: las gónadas llenan la cavidad ventral. Los testículos son de color blanco y sueltan semen a suave presión del vientre. Los óvulos son redondos y translúcidos, también son vertidos a suave presión.	REPRODUCCIÓN: los gametos salen a ligera presión, el peso de la gónada decrece rápidamente por el inicio del proceso de desove.	REPOSO. Ovarios > inmaduros ocupan 1/3 con oocitos dispuestos ordenadamente, pero no siempre tan ordenados como en un ovario inmaduro.
ESTADIO VI	DESOVE: los huevos y el semen salen con una ligera presión del vientre. La mayoría de los huevos son translúcidos y quedan unos opacos en el ovario.	GASTADO: los gametos ya fueron expulsados. La gónada parece un saco vacío; generalmente permanecen pocos óvulos en las hembras (de acuerdo con el tipo de desarrollo del ovario) o esperma en los machos.	
ESTADIO VII	DESOVADO: las gónadas es-tán vacías, quedan pocos huevos opacos en el ovario.		

Capítulo VIII. CITOGENÉTICA APLICADA A PECES

Consuelo Burbano M.[1]

INTRODUCCIÓN

La citogenética es una disciplina de la genética que se encarga del estudio de la organización, la segregación y la distribución del material genético.

El presente capítulo trata de la forma, distribución, tamaño y propiedades de los cromosomas en los peces, así mismo del uso y beneficio potencial que representan para las poblaciones silvestres y cultivadas los estudios citogenéticos.

Los estudios citogenéticos se emplean en taxonomía y filogenética, de tal manera que permiten identificar elementos comunes entre las especies, poblaciones y su posible origen y evolución. Así mismo, permite identificar elementos propios que constituyen los llamados marcadores citogenéticos, es decir, características típicas que permiten identificar un grupo de otro. Por todo el aporte que brindan los estudios citogenéticos se considera un aspecto primordial y de gran valor para dar respuestas necesarias en el manejo de la zoocría, piscicultura y de otros animales en condiciones controladas.

Los estudios citogenéticos son utilizados para:

- Seleccionar ejemplares con caracteres deseables para mejoramiento
- Determinación sexual
- Establecer probabilidades de hibridización
- Determinar la estabilidad de híbridos y viabilidad de éstos
- Orientar la hibridización para evitar la introgresión
- Diseñar estrategias de cruces para potenciar la variabilidad genética
- Caracterizar los procesos de especiación
- Diferenciar especies morfológicamente similares.

1. MATERIAL GENÉTICO

El material genético está conformado por la cromatina que ocupa todo el núcleo de la célula. Ésta cromatina, llamada así por su capacidad de reaccionar ante colorantes específicos tomando coloración, está formada por el ácido dexoxiribonucleico o ADN y por proteínas histónicas y no histónicas.

El ADN inscrito en un código de cuatro letras, contiene toda la información genética de un individuo. Éste código lo forman cuatro nucleótidos conocidos como Adenina (A), Citosina (C), Guanina (G) y Timina (T) que en la estructura del ADN se aparean AT y CG.

Un grupo de cinco proteínas histónicas, nominadas H1, H2a, H2b, H3 y H4 son las encargadas del empaquetamiento del ADN que a manera de un cordel da dos vueltas y media en un bloque de ocho moléculas conocido como NUCLEOSOMA, al final de cada unidad de nucleosoma se ubica una sola molécula de H1.

Por último, existen las proteínas no histónicas que interactúan con el ADN, estabilizando la estructura final del cromosoma a la vez que permite señales de funcionamiento en él.

1 M. Sc. en genética. Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. E-mail: cburbano@ciencias.unal.edu.co

Existen dos tipos de cromatina diferenciables mediante las técnicas de tinción química, la eucromatina y la heterocromatina. La primera corresponde a la cromatina genéticamente activa, es menos condensada, lo que permite la expresión en ARN (Ácido Ribonucleico, un paso intermedio antes de traducirse en proteínas); por otro lado, la heterocromatina corresponde al ADN no activo, formado por secuencias repetidas que se heredan de manera mendeliana, éste tipo de cromatina está altamente condensado, transcripcionalmente inactivo (Clark y Wall, 1996).

2. CICLO CELULAR

El ciclo celular es el ciclo de vida de la célula, es decir, el nacimiento, el crecimiento y la división celular o mitosis, después de la cual se obtienen dos células de iguales características que la célula original.

El ciclo celular consiste de cuatro etapas, dos de las cuales corresponden a etapas de crecimiento en tamaño conocidas como G1 y G2, separadas por una etapa larga, en la cual el material genético se duplica y es llamada como Síntesis (S) y por último la etapa de división o mitosis (M) (Clark y Wall, 1996 y McGregor, 1993) (Fig. 1).

Es durante el proceso de la mitosis que el material genético se empaqueta y se hace visible en forma de cromosomas. Cada cromosoma corresponde a una molécula de ADN empaquetada con la ayuda de proteínas histónicas y no histónicas, entonces existen tantos cromosomas como tantas moléculas de ADN tenga un organismo.

Para el estudio de la mitosis se ha dividido en cuatro etapas, así: la Profase (P), en la cual los cromosomas se empiezan a ver visibles por efecto del empaquetamiento y se desintegra la membrana celular. Metafase (M), los cromosomas se ubican en el plano ecuatorial de la célula en parejas de homólogos. Anafase (A), los cromosomas homólogos son separados por acción del uso mitótico hacia los polos de las células y Telofase (T) se forma un estrangulamiento en el plano ecuatorial permitiendo la formación de dos células y se forma la membrana nuclear (Alberts *et al.*, 1994 y White, 1977).

Las etapas secuenciales G1 → S → G2 son conocidas con el nombre de interfase. Entre cada interfase existe una división celular o una mitosis (Fig. 1).

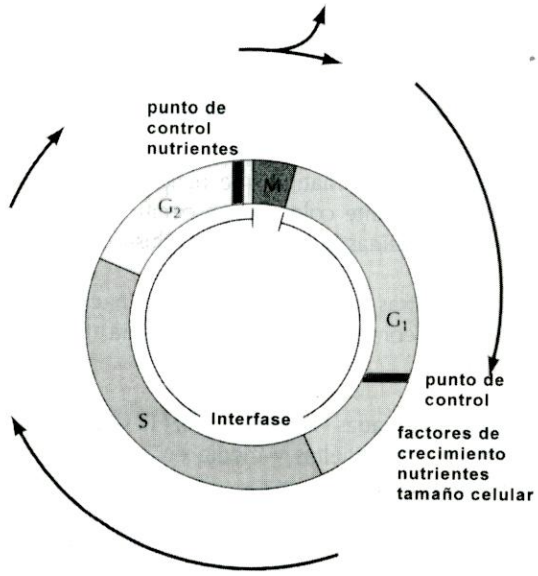


FIGURA 1. El ciclo celular. G1, Etapa de crecimiento celular. S, Etapa de síntesis del material genético, primera se replica la eucromatina y luego la heterocromatina. G2, Etapa de gran actividad celular, al final de la cual hay duplicación de organelos celulares. M, mitosis o división celular.

3. ESTRUCTURA DE LOS CROMOSOMAS

La apariencia, la estructura y la actividad de los cromosomas varían a lo largo del ciclo celular. De tal manera que sólo son visibles al microscopio óptico durante la metafase, cuando se ubican en el plano ecuatorial y son inactivos transcripcionalmente.

Los cromosomas están conformados por dos brazos uno corto y otro largo, separados por una constricción primaria conocida como centrómero (Fig. 2). Según la posición de éste, los cromosomas se clasifican en metacéntricos, submetacéntricos, subtelocéntricos y acrocéntricos, dependiendo si el centrómero se desplaza hacia el extremo del brazo corto del cromosoma (Thorgaard y Disney, 1990) (Fig. 3). Esta clasificación permite identificar el número fundamental que no es otra cosa que el número de brazo que contenga el paquete cromosómico de una especie (Macgregor, 1993).

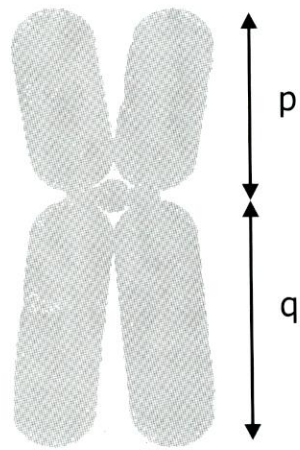


FIGURA 2. Morfología del cromosoma p: brazo corto; q: brazo largo, nótese la constricción primaria o centrómero.

Con base en la longitud y la posición del centrómero se pueden estimar tres valores: el índice centromérico, el índice de relación de brazos y la longitud relativa del cromosoma (Tabla 1).

Los índices se estiman a partir de las siguientes ecuaciones:

$$Hrl = \frac{R_L \times 1000}{D_{cl} / 2} \qquad IC = \frac{p}{p + q} \times 100 \qquad RB = \frac{q}{p}$$

Donde:

Hrl = Longitud relativa haploide de un cromosoma o de un brazo en particular

R_L = Longitud real medida en el cromosoma o en el brazo

D_{cl} = Longitud del complemento diploide, obtenido con la sumatoria de todos los cromosomas o de los brazos de una metafase específica

IC = Índice centromérico; p = Brazo Corto; q = Brazo largo

RB = Relación de brazos.

TABLA 1. Categorías de clasificación de los cromosomas con base en lo índices relación de brazos y centromérico (Delgado *et al.*, 1992)

Categoría	Abreviatura	Índice relación de brazos	Índice centromérico
Metacéntrico	M	1.0 - 1.7	50.0 - 37.5
Submetacéntrico	SM	1.7 - 3.0	37.5 - 25.0
Subtelocéntrico	ST	3.0 - 7.0	25.0 - 12.5
Acrocéntrico	A	>7.0	>12.5

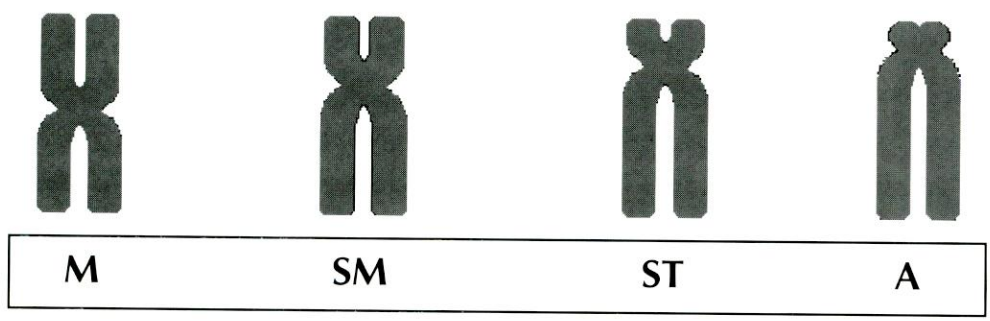


FIGURA 3. Clasificación de los cromosomas de acuerdo con la posición del centrómero (M: metacéntrico; SM: submetacéntrico; S: subtelocéntrico y A: acrocéntrico).

Con los valores estimados a partir de los índices se puede realizar un ordenamiento de los cromosomas por tamaño (de mayor a menor) y por ubicación del centrómero (Tabla 1), éste ordenamiento se conoce como CARIOTIPO (Fig. 4) y su formula cariológica la cual especifica el número y el tipo de cromosomas; la representación gráfica del cariotipo corresponde al IDIOGRAMA (Fig. 5).

El número cromosómico tiene un significado evolutivo y adaptativo, al igual que los rearreglos cromosómicos y la fragilidad. Los rearreglos cromosómicos estructurales modifican la estructura y/o cantidad de material genético; dentro de estas se encuentran las deleciones (pérdida de segmentos cromosómicos), duplicaciones (aumento de material genético), inversiones y translocaciones (no causan ganancia ni pérdida de material genético, pero si se cambia la ubicación de éste).

Todas las especies que se reproducen sexualmente contienen una información genética 2n o diploide, donde cada información haploide (n) proviene de un progenitor. Las alteraciones numéricas modifican los números modales característicos de una especie; existen dos tipos, las aneuploidías en donde se aumenta o disminuye el número de los cromosomas individuales; pueden haber nulisomías (2n-2), monosomías (2n-1), trisomías (2n+1), tetrasomías (2n+2) y las euploidías, en donde todo el complemento se duplica, originando triploides (3n), tetraploides (4n), pentaploides (5n), hexaploides (6n), etc. En la actualidad se utilizan técnicas que permiten obtener, en cultivo, peces triploides como una manera de garantizar la esterilidad y el mayor crecimiento en condiciones controladas.

Los cambios en ploidías y en el cariotipo son de especial interés en el proceso de especiación. Los cambios cromosómicos son una barrera efectiva para cruces interespecíficos mediante la generación de híbridos estériles y problemas originados durante la división celular. Éstos cambios pueden tener efectos genéticos y fenotipos, en éste aspecto es necesario recurrir a los procedimientos de bandeamiento para la identificación de los cromosomas y determinar los cambios y el cariotipo primitivo derivado (Rebelo-Porto y Feldberg, 1992).

En la actualidad entre el 2 al 3% de las especies conocidas se les ha elaborado su estudio citogenético (Clark y Wall, 1996). Los peces tienen un número cromosómico muy estable, es decir, conservado evolutivamente.

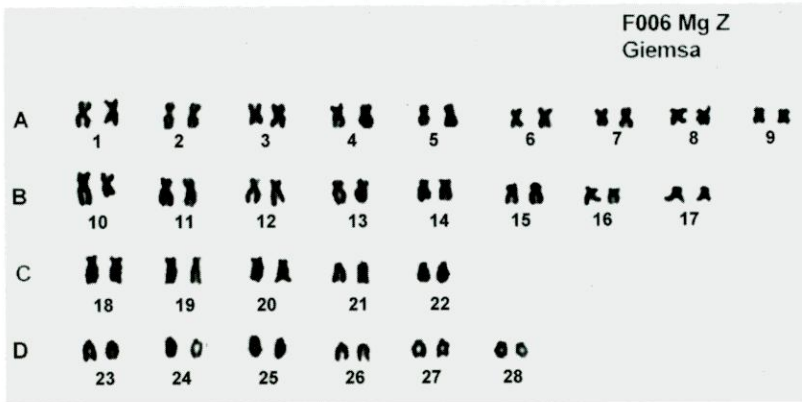


FIGURA 4. Cariotipo en coloración Giemsa del *Pseudoplatystoma fasciatum* del río Magdalena (Fórmula cariológica 9M;8SM;5ST;6 A). La flecha indica la fragilidad en uno de los homólogos del par 10 (Camacho, 1999).

Aproximadamente el 40% de las especies estudiadas (500 especies), distribuidas en 76 familias poseen un número 2n =24 y las variaciones pueden estar entre 40 a 52 ó 82 a 84. (Passakas, 1981). Por estos hallazgos se considera entonces que el cariotipo ancestral en los peces es de 24 cromosomas acrocéntricos del cual se derivaron todos los cariotipos de los peces modernos, cambios que se fijaron después de 100 millones de años de evolución.

Aunque los estudios detallados son incipientes en varios grupos de peces se ha identificado que la mayoría de ellos posee un número relativamente grande de cromosomas de muy pequeño tamaño al compararlos con otros grupos de vertebrados, lo que hace algo dificultoso su estudio. Sin embargo, con las técnicas de cultivo de linfocitos desarrolladas en el laboratorio de Citogenética (Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.), por Camacho-Garzón y Burbano (1999), el trabajo se ha facilitado notablemente, permitiendo elaborar estudios citogenéticos relativamente más económicos y con menor dificultad.

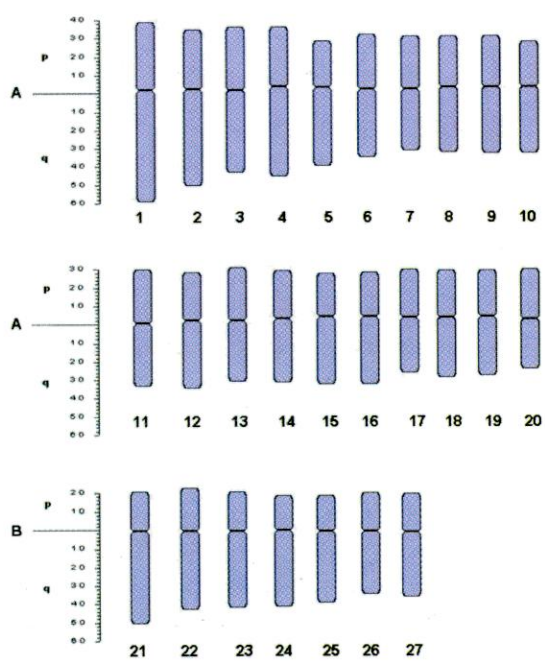


FIGURA 5. Idiograma haploide para el género *Pseudoplatystoma* (Camacho, 1999).

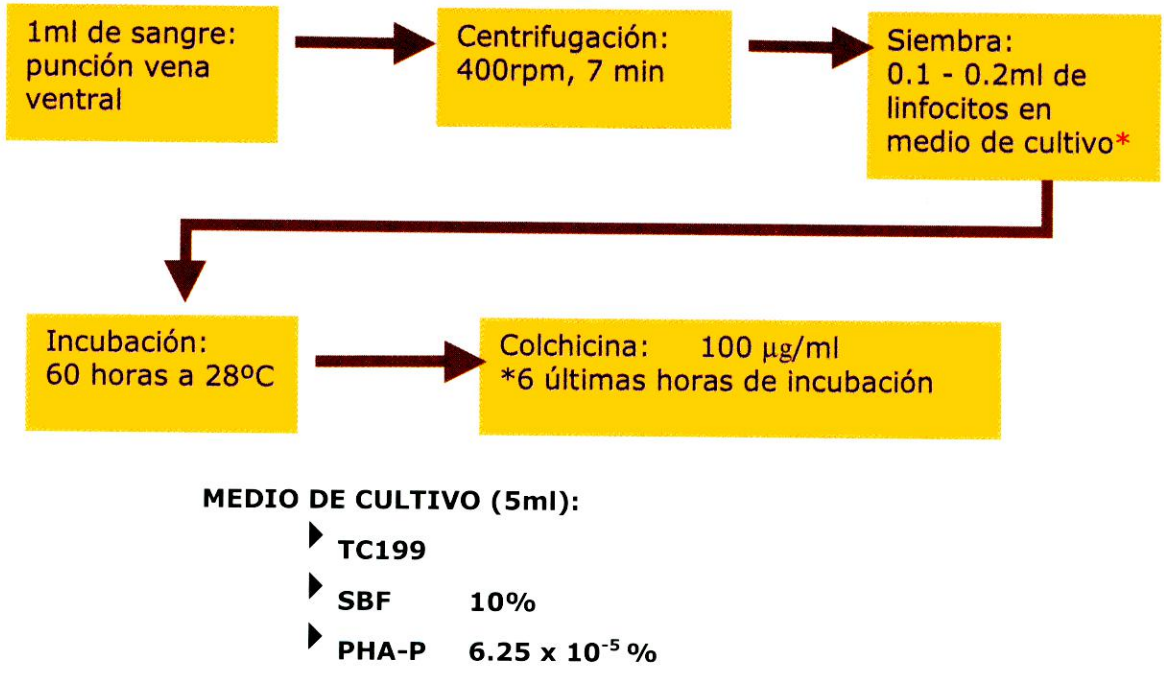


FIGURA 6. Protocolo de cultivo de linfocito de sangre periférica de peces. * el tiempo de exposición a la colchicina puede variar dependiendo de la especie.

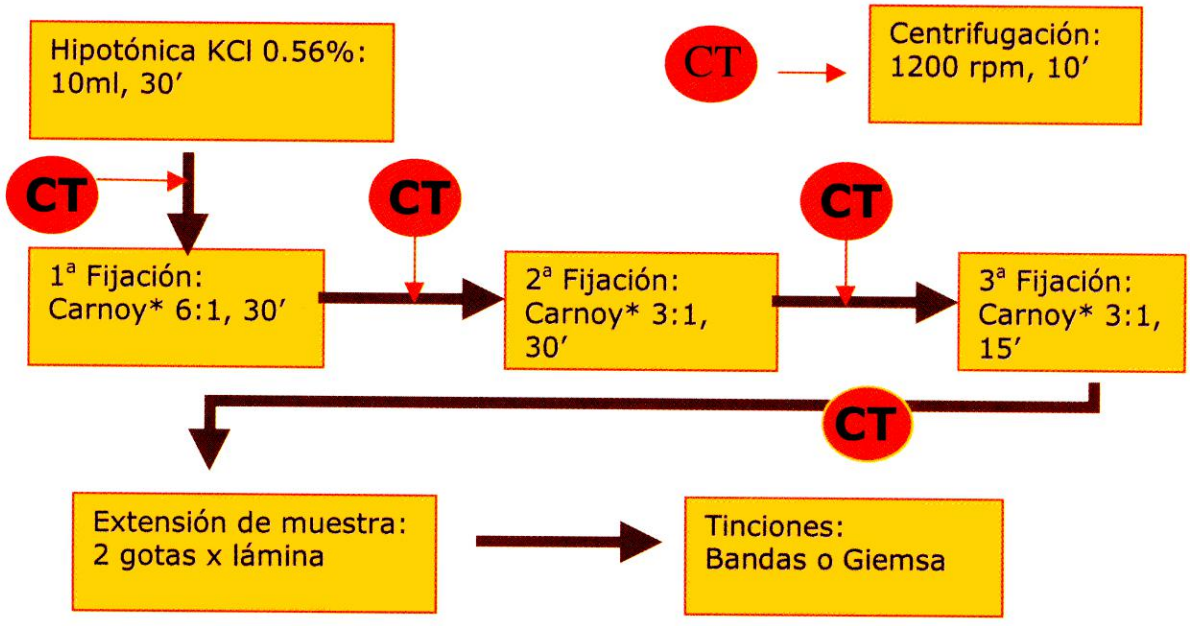


FIGURA 7. Protocolo de cosecha de linfocitos en cultivo (Camacho-Garzón y Burbano, 1999). * Carnoy = 3 volúmenes de metanol por un volumen de ácido acético.

En Colombia se han hecho estudios citogenéticos elementales presentando principalmente el número cromosómico y la fórmula cariológica, pero debido principalmente al tipo de técnica de obtención de los cromosomas (directa), son pobres en su información, a partir de la técnica establecida por Camacho y Burbano (1999) (Figs. 6 y 7), la información se hace más completa permitiendo la obtención de suficiente cantidad de metafases que permiten los procedimientos de bandeo cromosómico y lo más importante sin el sacrificio de los ejemplares, procedimiento que se debe realizar en técnicas directas.

Existen, además, otras alteraciones cromosómicas poco comunes, la fragilidad cromosómica y la fusión telomérica son algunas de ellas (Fig.8).

La fragilidad cromosómica generalmente ha sido relacionada con estudios realizados en humanos. Los sitios frágiles en un cromosoma son puntos en los cuales el cromosoma tiene mayor probabilidad de romperse, algunos se expresan espontáneamente, otros son clasificados dependiendo de las condiciones de cultivo bajo las cuales aumentan su expresión (Sutherland y Hecht, 1985).

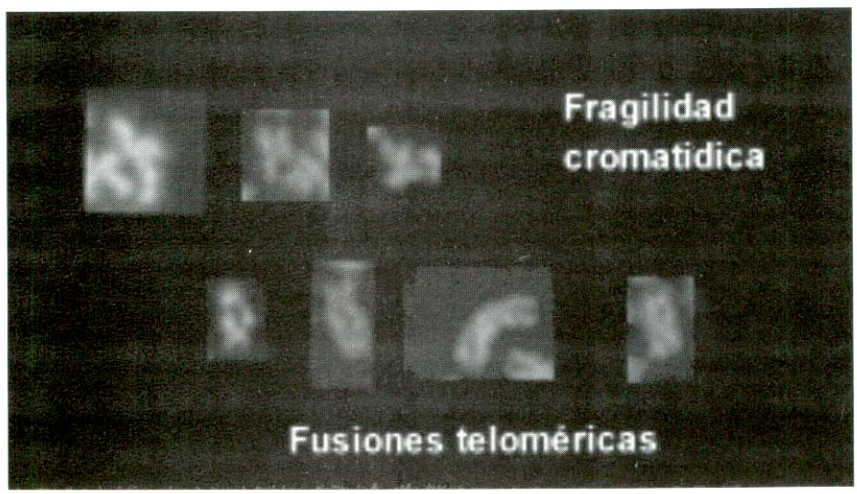


FIGURA 8. Fragilidades encontradas en Trichomycterus bogotensis, un bagre de pequeño tamaño del río Bogotá (Bohórquez, 2000).

En peces esta fragilidad se ha encontrado en un cromosoma homólogo del par diez del género *Pseudoplatystoma* (Bagre rayado y tigre en la cuencas de los ríos Magdalena y Orinoco, respectivamente) (Camacho, 1999), al igual que en *Trichomycterus bogotensis* (Río Bogotá) (Bohórquez, 2000), *Prochilodus magdalenae* (bocachico del Magdalena) (Silva, 2001) y *Sorubin cuspicaudus* (Río Sinú) (Valenzuela, 2001), en estos casos la fragilidad se comporta como marcadores citogenéticos y como un indicativo de inestabilidad cromosómica a la contaminación al medio ambiente, observación que se puede convertir en una herramienta para el control de polutantes en las aguas (Fig.8).

En los estudios citogenéticos se utilizan técnicas como la coloración Giemsa, con la cual sólo se puede establecer con certeza la morfología y número cromosómico, aún más cuando se trata de especies diferentes. Para diferenciar cariológicamente especies que se parecen en su morfología o para establecer diferencias inter e intra poblacionales es necesario recurrir a otras técnicas que permitan un mejor análisis de los componentes cromosómicos. El bandeo cromosómico es la técnica que no sólo ayuda a entender mejor la estructura de los cromosomas sino que, además, permite hacer una correlación más precisa entre fenotipo y genotipo, resolviendo otra clase de interrogantes taxonómicos y/o filogenéticos.

4. APLICACIONES DE LOS ESTUDIOS CITOGENÉTICOS

4.1 Determinar la estabilidad del híbrido y la viabilidad de estos.

Es una práctica común establecer programas de hibridización como un simple mecanismo de manejo de especies en condiciones controladas. La hibridización se realiza principalmente con el ánimo de reunir en un solo organismo las características que sean más favorables encontradas en las especies parentales. Sin embargo, este procedimiento, hasta la actualidad, se desarrolla sin considerar la carga genética de las especies y la estimación a priori de la estabilidad del híbrido, teniendo graves consecuencias económicas reflejadas en la pérdida de tiempo y material empleado.

Los estudios citogenéticos permiten estimar la viabilidad y las posibles consecuencias de hibridización. Ejemplo de esto es la hibridización realizada en *Pseudoplatystoma fasciatum* y *Pseudoplatystoma tigrinum* (bagre rayado y bagre tigre), que por características morfológicas y para un mejor manejo se ha logrado hacer el híbrido, que resultó, en algunos casos, inestable y más difícil de manejar en condiciones controladas.

Las dos especies de *Pseudoplatystoma* poseen la misma fórmula cariológica presentada en la figura 4. Sin embargo, los patrones de bandeamiento (Banda G) de los cromosomas son diferentes para el bagre rayado, al igual que en muchas otras especies de peces no existe un patrón de bandas G, mientras que el bagre tigre si lo presenta. Éste hallazgo indica que éstas especies divergieron hace muchos millones de años, de tal manera que la cromatina (eucromatina y heterocromatina) se agrupó en regiones grandes permitiendo la compartamentalización del ADN, en el caso del bagre tigre, en bloque fácilmente observables al microscopio de luz (Figs. 9 y 10).

En la figura 10 se presenta el idiograma para banda G de las dos especies de bagre. Nótese que a pesar de tener la misma fórmula cariológica, igual número de cromosomas establecidos en las mismas categorías, el patrón de bandeamiento sólo se presenta en una de ellas. Éste resultado permite inferir que son dos especies diferentes a pesar de su similitud, que las ha llevado a ser consideradas una sola especie o subespecies; la hibridización de ellas sería muy poco exitosa por la inestabilidad del genoma.

La compartamentalización del ADN no reconoce a los cromosomas de igual tamaño como su cromosoma homólogo, lo que durante la segregación de cromosomas, ya sea en meiosis o mitosis, no sería establecida por cromosomas homólogos y se obtendrían cariotipos con pérdidas y ganancias cromosómicas inespecíficas, permitiendo el apareamiento de los cromosomas durante la mitosis (Fig. 11).

En la figura 11 se encuentra un cariotipo que representa una de las varias posibilidades de combinación observadas en un ejemplar obtenido por hibridización entre las dos especies de bagre. El cariotipo corresponde a una imagen invertida de patrón de banda R (otro tipo de bandeamiento útil para estudios de sistemática y filogenética). Sin embargo, el patrón observado no corresponde a lo encontrado en las especies parentales, esto implica que hubo recombinación del material genético, de tal manera que información que evolutivamente no estaba cerca por el fenómeno de la hibridización se pone en contacto. La nueva posición del material genético provoca una tensión que puede desestabilizar el genoma y que el individuo sea más susceptible a cambio del ambiente.

Hasta el momento se ha obtenido información de otra especie que hace bandeamiento G, el bocachico o *Prochilodus reticulatus* y entra en la lista, que ya empieza hacer numerosa, de los peces que tienen compartamentalizado el ADN (Fig. 12).

5. CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS DE ESPECIACIÓN

Los cambios cromosómicos, tanto en número como en la estructura de los mismos, puede conllevar a un proceso de especiación muy evidente, por cuanto un cambio puede representar una barrera reproductiva poscigótica, que se representa en la posible no viabilidad de la descendencia.

Este fenómeno de especiación se muestra evidente en lo encontrado en *Trichomycterus bogotensis* o capitanejo, un pequeño bagre del río Bogotá. En una población estudiada en el nacimiento de río se encontró que el 26% de la

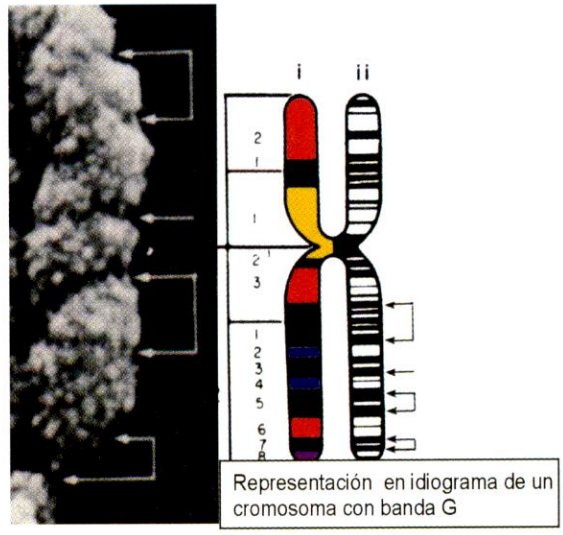


FIGURA 9. Compartamentalización del ADN, en grandes bloque. La técnica de coloración para banda G, permite visualizar los bloques de eucromatina y heterocromatina a lo largo del cromosoma

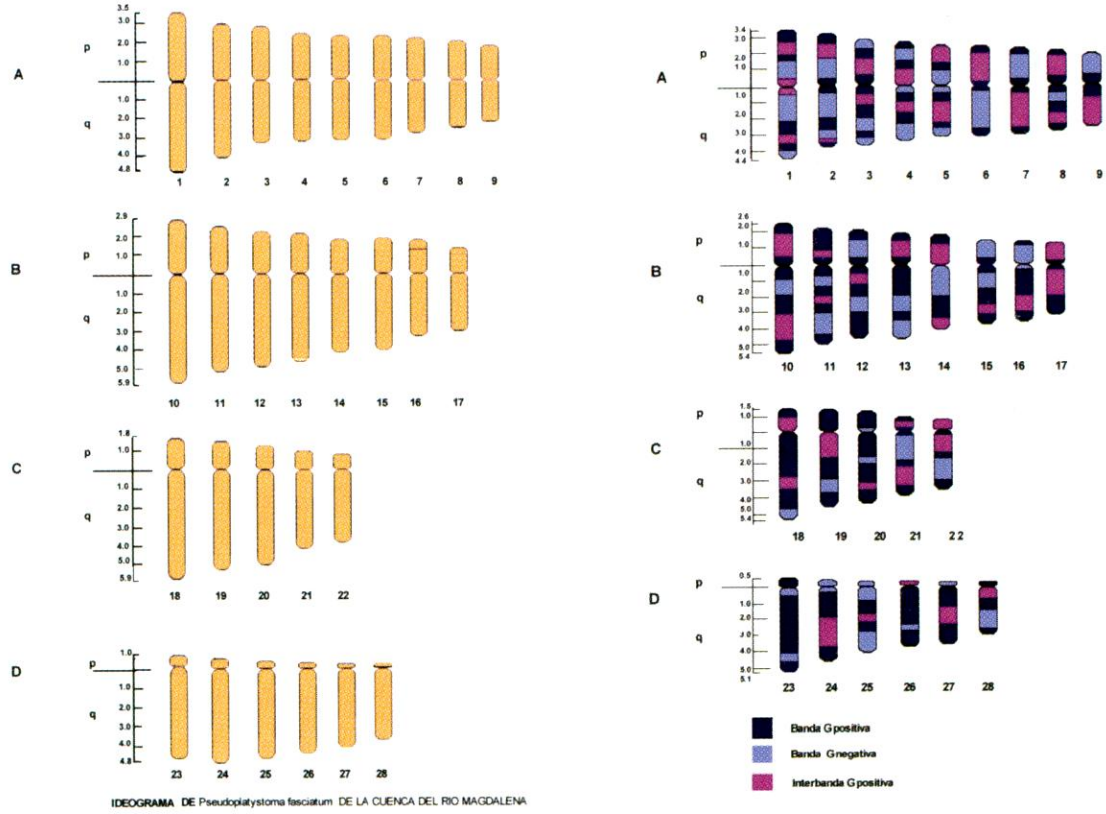


FIGURA 10. Idiograma de la distribución de bandas G en *P. fasciatum* (Amarillo) sin patrones de bandeamiento como en muchas otras especies de peces y *P. tigrinum* (Magenta), patrones claros de bandeamiento G.

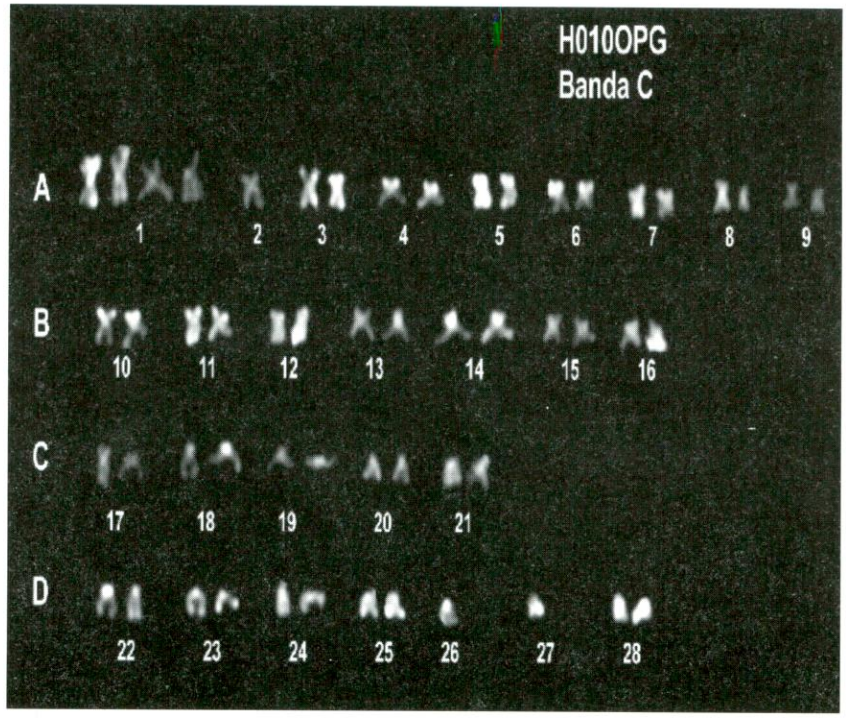


FIGURA 11. Cariotipo de un híbrido entre *P. fasciatum* y *P. tigrinum*, hay ganancia cromosómica de los pares 1 de ambas especies parentales y la pérdida de un homólogo de los pares 2, 26 y 27. Se observa la fragilidad cromosómica. (Camacho, 1999).

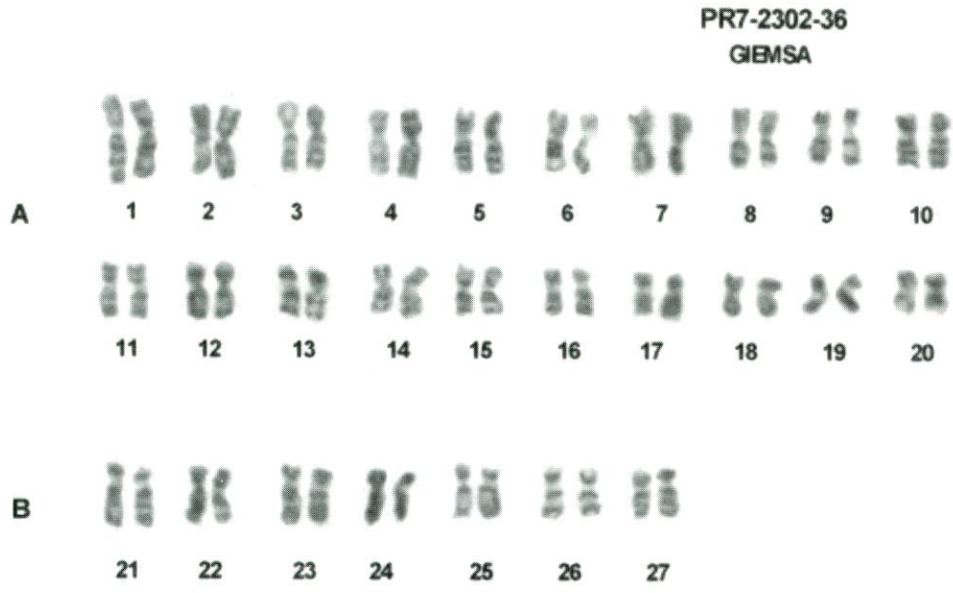


FIGURA 12. Cariotipo con patrón de bandeamiento G de *Prochilodus reticulatus* del río Magdalena (Silva, 2001).

población es portadora de una inserción entre dos cromosomas (16 y 19). El rearreglo consiste en que un segmento del brazo largo del cromosoma 16 se rompe y se fusiona al brazo largo del cromosoma 19 (ins 16q, 19q) (Fig. 13).

Los individuos portadores de la inserción son animales normales, sin malformaciones, puesto que poseen toda la información genética para serlo. Sin embargo, el rearreglo cromosómico lleva a colocar la información genética en una distribución diferente que de aquellos ejemplares sin la inserción. Esto hace que durante la meiosis, el apareamiento de los cromosomas forme una figura diferente y en la segregación la información se haga de manera desbalanceada.

Como resultado después de la fecundación se obtendrían individuos mal formados con poco o nada de éxito en cuanto a sobrevivencia. En la medida en que se presenten nuevos cruces una proporción de la población se iría separando reproductivamente de la población original, conformándose así una nueva especie con caracteres morfológicos muy similares a la especie parental, pero con una barrera reproductiva.

Las diferencias en rearreglos cromosómicos son evidentes en los procesos de especiación entre *Sorubim lima* y *Sorubim cuspicaudus*. En este caso se presentó una inversión en el cromosoma 11, de una Región Organizadora del Nucleolo (NOR)[2], permitiendo que una región heterocromática terminal en el brazo corto del cromosoma 11 de *S. lima* pasara a una posición media en el brazo largo en cromosoma 12 de la especie *S. cuspicaudus* (Valenzuela, 2001) (Fig. 14).

6. DETERMINACIÓN SEXUAL

La determinación sexual en peces incluye hermafroditismo, unisexualidad (hembra que producen una descendencia de hembras por ginogénesis o hibridogénesis), bisexualidad y en algunos casos determinación sexual por el medio ambiente. Con este amplio mecanismo de determinación sexual no es sorprendente encontrar cromosomas sexuales en peces. Existen pocos registros creíbles de cromosomas sexuales diferenciables morfológicamente en peces.

De todos los peces estudiados citogenéticamente son muy pocos a los que les ha encontrado cromosomas sexuales. Los sistemas de diferenciación sexual informados en la literatura corresponden a sistemas simples XX/XY; ZW/ZZ y XX/XO, hasta sistemas complejos que involucran varios pares de cromosomas con rearreglos cromosómicos entre cromosomas sexuales y autosomas ($X_1X_1X_2X_2/X_1X_1X_2$; ZW_1W_2/ZZ; $X_1X_1X_2X_2/X_1X_2Y$). Las evidencias demuestran que en peces no es posible generalizar, pero se puede afirmar que los casos de cromosomas sexuales son esporádicos (Clark y Wall, 1996 y Pezold, 1984).

En el estudio citogenético realizado por Silva (2001) en Prochilodus reticulatus (Bocachico) del río Magdalena se encontró un posible mecanismo de determinación sexual que encaja en un sistema ZW, con dos pares cromosómicos (par 2 y par 6 del cariotipo, Fig. 15).

El sistema de determinación sexual del bocachico estaría determinado de la siguiente manera, para hembras Z_1W_1/Z_2Z_2; Z_1Z_1/Z_2W_2; Z_1W_1/Z_2W_2, (Fig. 16) y los machos corresponderían a individuos homomórficos para los cuatro cromosomas Z_1 $Z_1/$ Z_2Z_2. Este hallazgo facilita el sexaje de animales en piscicultura, ya que se podría hacer la diferencia desde que el animal alcance un tamaño entre 7 a 10 centímetros, con el beneficio que implica en los programas de reproducción de alevinos.

Figura 16. Modelo de terminación sexual en Prochilodus reticulatus, en cual compromete a los pares cromosómicos 2 y 6. El sistema de diferenciación sexual es ZZ/ZW.

2 Otro sistema de bandeamiento, de tipo funcional, muy útil en estudios de sistemática, filogenética y marcadores poblacionales.

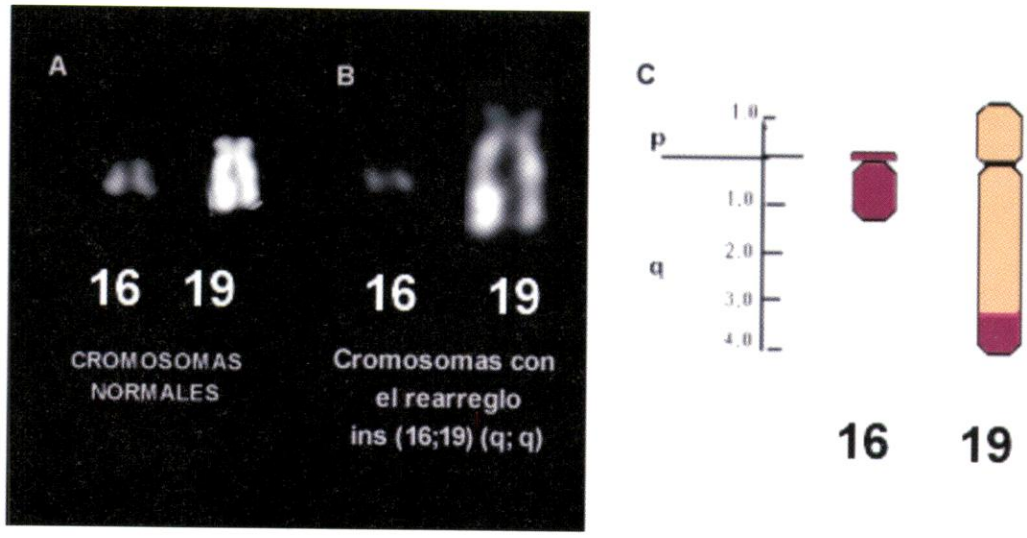


FIGURA 13. Rearreglo cromosómico encontrado en el 26% de una población de *Trichomycterus bogotensis*, en el nacimiento del río Bogotá. El rearreglo corresponde a una inserción (ins (16q, 19q)) (Bohórquez, 2000).

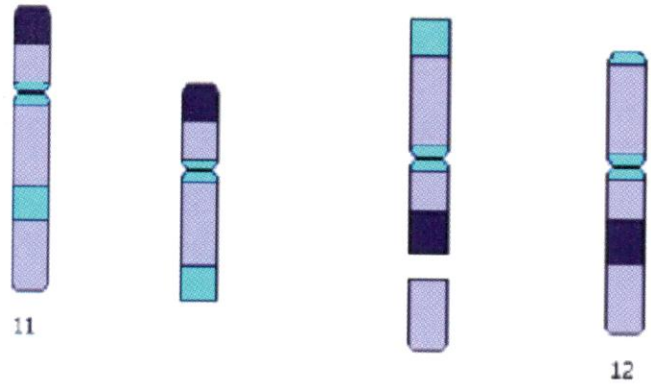


Figura 14. Rearreglo cromosómico en el cromosoma 11 de *Sorubim lima* consistente en una inversión resultando el cromosoma 12 de *Sorubim cuspicaudus* (Valenzuela, 2001)

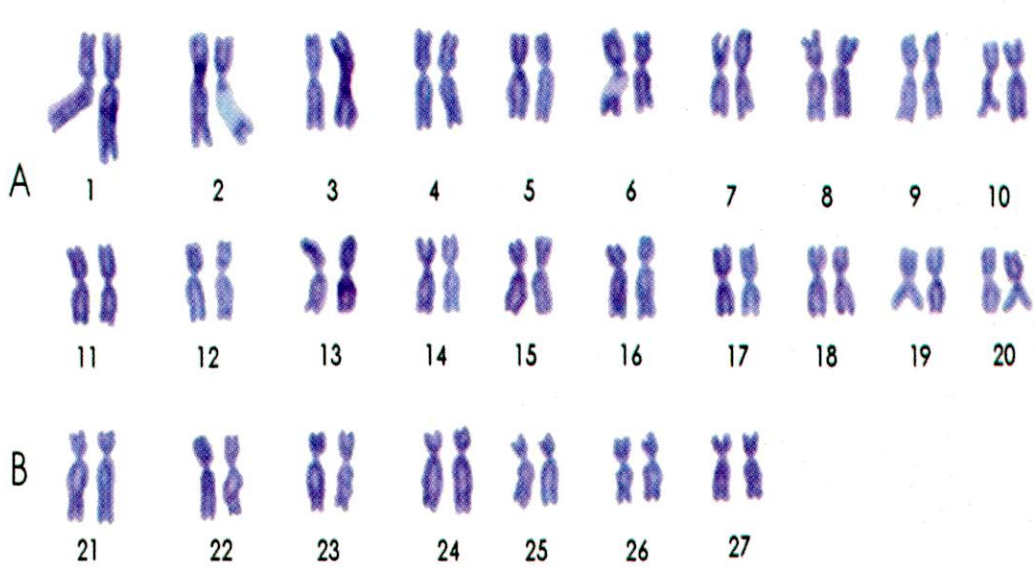


Figura 15. Cariotipo en Giemsa de *Prochilodus reticulatus* del río Magdalena. Las flechas indican las constricciones secundarias encontradas en los pares cromosómicos 2 y 6, que diferencian los cromosomas sexuales en el cariotipo.

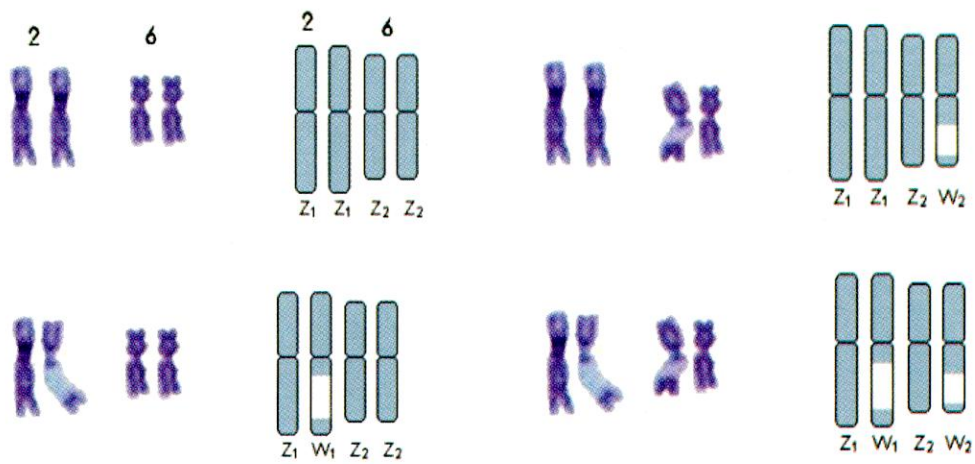


Figura 16. Modelo de terminación sexual en *Prochilodus reticulatus*, en cual compromete a los pares cromosómicos 2 y 6. El sistema de diferenciación sexual es ZZ/ZW.

BIBLIOGRAFÍA

ALBERTS, B.; D. BRAY; J. LEWIS; M. RAFF; K. ROBERTS y J.D. WATSON. 1994. Molecular Biology of the Cell. Garland Publishing Inc., Nueva York.

BOHORQUEZ, C. 2000. Caracterización cromosómica y aspectos biológicos del capitán enano, *Trichomycterus bogotense* (Eigenmann. 1912), especie íctica nativa de la Sabana de Bogotá.

CAMACHO-GARZÓN, J. 1999. Caracterización citogenética y relaciones biogeográficas en poblaciones colombianas de *Pseudoplatystoma fasciatum* y *Pseudoplatystoma tigrinum* (Pisces: Siluriformes: Pimelodidae). Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Santafé de Bogotá.

CAMACHO-GARZÓN, J. y C. BURBANO. 1999. Técnica para el cultivo in vitro de linfocitos de peces. Dahlia - Rev. Asoc. Colomb. Ictiol. 3: 69-79.

CLARK, M.S. y W.J. Wall. 1996. Chromosomes: The complex code. Chapman y Hall, Londrés.

DELGADO, J.V.A.; J. MOLINA; A. LOBILLO y M.E. CAMACHO. 1992. Morphometrical study on the chromosomes of three species of mullet (Teleostei, Mugilidae). Caryologia. 45: 263-271.

MACGREGOR, H.C. 1993. An introduction to animal cytogenetics. Chapman & Hall, Londres.

PASSAKAS, T. 1981. Comparative studies on the chromosomes of the European eel (Anguilla anguilla L.) and the American eel (Anguilla rostrata Le Sueur). Folia Biol. 24 (1): 41-58.

PEZOLD, F. 1984. Evidence for multiple sex chromosomes in the freshwater goby, Gobionellus shufeldti (Pisces: Gobiidae). Copeia, 1: 235-278.

REBELO-PORTO, J.I. y E. FELDBERG. 1992. Comporative cytogenetic study of the armored catfishes of the genus *Homoplasternun* (Siluriformes: Callichthyidae). Rev. Brasil. Genet. 15 (2): 359-367.

SILVA, A. 2001. Caracterización citogenética del bocachico *Prochilodus reticulatus* Valenciennes 1850 (Characiformes: Curimatidae) de una población colombiana del río Magdalena. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Santafé de Bogotá.

THORGAARD, G.H. y J.E. DISNEY. 1990. Chromosome preparations and analysis. Methods for fish biology. American fisheries for society. Nueva York.

VALENZUELA, E. 2001. Caracterización citogenética del blanquillo *Sorubim cuspicaudus* (Siluriformes: Pimelodidae) de una población colombiana del río Sinú. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Santafé de Bogotá.

WHITE, M.J. 1977. Animal Citology and Evolution. 3a. Ed. Cambridge University Press.Cambridge.

Capítulo IX. MANIPULACIÓN CROMOSÓMICA APLICADA A LA PISCICULTURA

Mauricio Carrillo Avila[1]

INTRODUCCIÓN

En algunas especies que se cultivan actualmente se presentan problemas de diverso tipo cuando los peces alcanzan la madurez sexual, puesto que este proceso implica el uso de energía en desarrollo de gónadas que se traduce en una tasa de crecimiento menor, deterioro de la calidad de la carne, alta mortalidad, diferencias de crecimiento entre machos y hembras aún en iguales condiciones de cultivo y a veces mayor susceptibilidad a las enfermedades y finalmente cambios en las propiedades organolépticas de las partes comestibles (Felip *et al.*, 1997, 1999; López y Toro, 1990 y Pérez, 1996).

Por las razones expuestas anteriormente los cultivadores prefieren cultivos de organismos estériles o monosexo bien sea de hembras o machos dependiendo de la especie, pero siempre teniendo en cuenta el sexo que presente mayores rendimientos.

La solución a estos problemas es más efectiva si se utilizan técnicas de manipulación e ingeniería cromosómica que mediante las técnicas de mejora clásicas como la selección, puesto que estas son más fáciles de aplicar a los peces mediante tratamientos químicos, físicos o de irradiación, debido básicamente a que su fecundación externa permite la manipulación y fertilización in vitro de sus gametos, lo que ha facilitado que se conviertan en una herramienta comercial para la industria de la piscicultura (Toledo *et al.*, 1996 y Ruiz, 1999).

Sin embargo, antes de explicar en qué consiste cada uno de los tratamientos es necesario tener claridad sobre algunos conceptos básicos.

1. GAMETOGÉNESIS

Los óvulos y los espermatozoides llevan un solo cromosoma de cada par, por lo tanto son haploides (N). Cuando el esperma fertiliza al óvulo, los dos núcleos haploides se fusionan y se reestablece el estado diploide (2N).

Los gametos haploides se originan de un tipo especial de división nuclear, la Meiosis, proceso que comprende dos divisiones sucesivas, llamadas primera y segunda división meiótica o meiosis I y II.

Durante el desarrollo embrionario las células primordiales que son las espermatogonias y ovogonias, se multiplican por mitosis y originan células más pequeñas llamadas espermatocitos y ovocitos primarios en los machos y las hembras respectivamente. Al comenzar la meiosis I, que es una división celular reduccional, los cromosomas son dobles y cada uno contiene dos cromátidas.

Finalizada la meiosis I se originan dos células por división citoplasmática, los espermatocitos y ovocitos secundarios, en los machos y en las hembras, respectivamente, cada uno con un cromosoma (con dos cromátidas) de cada par.

Al finalizar la meiosis I ocurre inmediatamente la meiosis II, que corresponde a una división mitótica normal de los cromosomas en cromátidas. De la meiosis I y II resultarán cuatro núcleos haploides.

En el caso de los machos, de cada célula germinal se producirán cuatro espermatozoides (Fig. 1), mientras que en las hembras, tres de los cuatro productos de la meiosis serán unas pequeñas células abortivas llamadas cuerpos

1 Biólogo Marino, Especialista en genética y mejoramiento animal. División Recursos Acuicolas. INPA. E-mail: mauricar@inpa.gov.co

polares que contienen muy poco citoplasma (Fig. 2). Un set de cromosomas producido por la meiosis I permanece en el oocito, mientras que el otro set es eliminado dentro del primer corpúsculo polar. Igualmente ocurre con el segundo cuerpo polar contiene uno de los sets de cromosomas derivados de la meiosis II. A veces el primer cuerpo polar puede sufrir su propia meiosis II, originándose un total de tres cuerpos (Pérez, 1990, 1996).

En peces, como en el resto de los vertebrados, el oocito posee una dotación cromosómica diploide (2N), osea que la meiosis no se ha completado. Por lo tanto, los ovocitos secundarios se encuentran bloqueados en la profase II.

En el momento de la fertilización, cuando el espermatozoide se une con el oocito se completa la segunda división meiótica y se produce la expulsión del segundo cuerpo polar. El cigoto resultante es diploide y contiene información genética aportada por el padre y la madre. (Felip *et al.*, 1997; Piferrer *et al.*, 1995; Pérez, 1990, 1996 y Carrillo y Chacón, 1995).

2. BASES GENÉTICAS

A principios de siglo cuando el hombre redescubrió las leyes mendelianas, se despertó un gran interés por la aplicación del conocimiento genético a los sistemas productivos para su propio beneficio (Lozano *et al.*, 1987).

Dentro de éste campo los métodos de manipulación genética que incluyen la obtención artificial de individuos con dotaciones cromosómicas diferentes a las normales, una heredada del padre y otra de la madre, han sido los más utilizados hasta el momento en la acuicultura.

Las técnicas usadas para alterar el número cromosómico en peces incluyen la producción de organismos como los poliploides (triploides (3N), tetraploides (4N), etc.), o aquellos que se desarrollan a partir de un solo progenitor, bien sea de la madre (ginogenéticos) o del padre (androgenéticos). Igualmente se pueden considerar aquellos

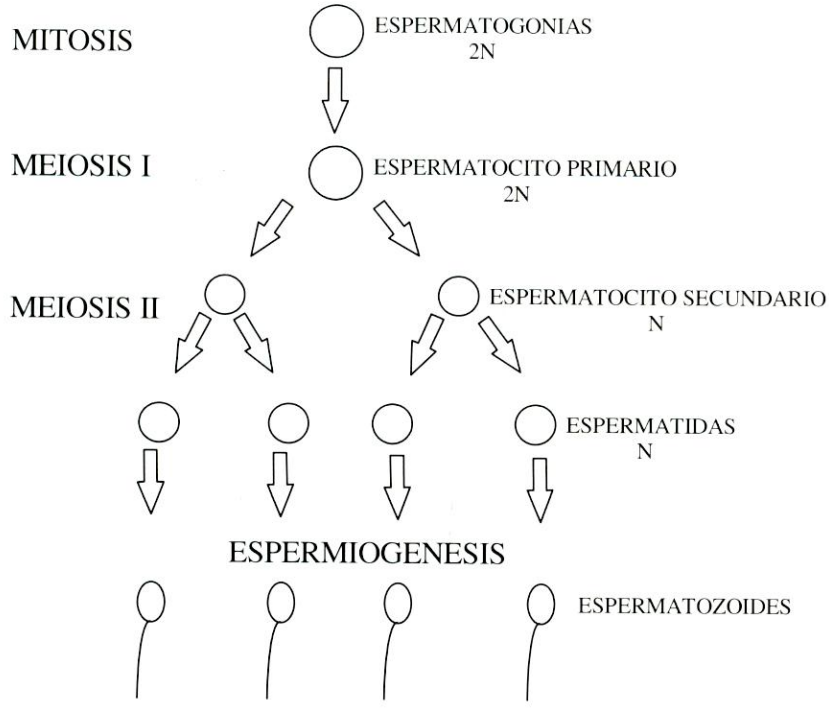


FIGURA 1. Representación diagramática del proceso de Espermatogénesis

BIBLIOTECA ACADEMIA
DE COLOMBIA

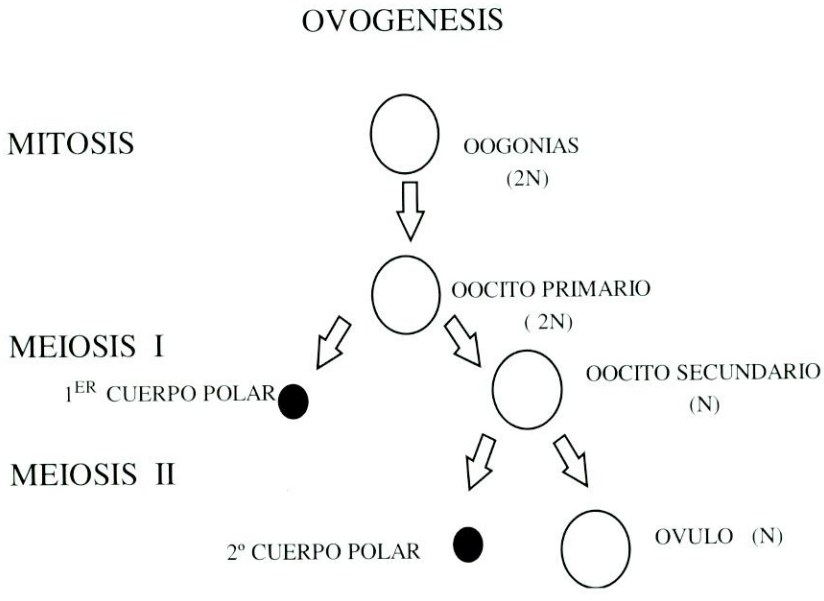


FIGURA 2. Representación diagramática del proceso de Ovogénesis

métodos que posibilitan la creación de individuos con sexo revertido, o la obtención de híbridos interespecíficos e intergenéricos. (Chaparro, 1994; Chourrout, 1986; Graham, 1983; Thorgaard, 1986; López y Toro, 1990; Lozano *et al.*, 1987; Wohlfarth, 1983; Carrasco *et al.*, 1999 y Yamazaki, 1983).

3. TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN LA MANIPULACIÓN GENÉTICA

Tres clases de tratamientos son los más utilizados:

- Inducción a la poliploidía en donde las divisiones celulares en huevos fertilizados son bloqueadas para producir individuos triploides o tetraploides.
- Inducción a la ginogénesis, en donde los cromosomas paternos en el esperma son inactivados antes de la fertilización.
- Inducción a la androgénesis, los cromososmas maternos en el huevo son inactivados antes poco despues de la fertilización.

3.1 INDUCCIÓN A LAS POLIPLOIDÍAS

Se entiende la poliploidía como uno de los tipos de variaciones numéricas que afectan al conjunto de los cromosomas de las células, aumentando el número de juegos cromosómicos presentes en cada una de ellas (Celis y Martínez, 1993).

Para lograr los organismos poliploides es necesario inhibir la segunda división meiótica, o sea lograr retener el segundo cuerpo polar o inducir a la supresión del primer clivaje que se logra inhibiendo la primera mitosis (Chourrout, 1984).

La inducción a poliploidias puede lograrse por métodos físicos, como son, los choques térmicos cálidos y fríos (Gervai *et al.*, 1980) y los choques de presión (Chourrout, 1984 y Myers, 1986) y por métodos químicos como la inmersión en citocalasina B, la colchicina, caseína y el azul de toluidina, etc. (Tave, 1990 y Perez, 1990).

3.1.1 Métodos físicos

Choques térmicos

Los tratamientos de temperatura en huevos recién fertilizados han sido ampliamente usados para suprimir la segunda división meiótica o la extrusión del segundo cuerpo polar o la supresión del primer clivaje o sea inhibiendo la primera mitosis. Estos pueden ser fríos o calientes, ambos son efectivos. El tiempo post-fertilización, la duración y la temperatura de tratamiento deberá ser determinada para cada especie.

El método consiste en sumergir los ovocitos recién fecundados dentro de un recipiente que contenga agua a una temperatura previamente establecida. Una vez cumplido el tiempo del choque programado, los huevos son llevados rápidamente a la temperatura normal de incubación (Lozano *et al.*, 1987 y Celis y Martínez, 1993).

Estos choques de temperatura generalmente se emplean cuando se tratan de grandes volúmenes de ovocitos y pueden ser de temperaturas altas entre 25 - 42 °C o bajas de 0 - 11 °C (Pérez, 1996).

Según los trabajos realizados se cree que los choques calientes producen mejores resultados en especies de aguas frías y a su vez que los choques fríos lo son en especies de aguas cálidas (Toledo *et al.*, 1996).

Según Pérez (1996), los choques térmicos son eficientes cuando la variación de temperatura es de unos 5 °C sobre o bajo la temperatura a la cual ocurre el desarrollo embrionario normal; sin embargo, Toledo *et al.* (1996) mencionan que la temperatura que produce los mejores resultados es especie-específica y se sitúa en la proximidad a su límite letal.

En la inducción a poliploidías, los choques térmicos son los más fácilmente aplicables por sus bajos costos y su eficiencia (Pandian y Varadaraj, 1990 y Thorgaard, 1986).

Choques de presión

La presión hidrostática ha sido usada en varios estudios para bloquear la extrusión del segundo cuerpo polar o la primera división mitótica. Sin embargo, la aplicación de los tratamientos de presión hidrostática requiere equipos más especializados (celdas de presión y presión hidráulica) que los tratamientos de choque térmico.

Este método merece de una amplia investigación porque puede ser menos dañino para el embrión que los choques térmicos y se basa en introducir los ovocitos fecundados en un cilindro de acero lleno de agua a una temperatura constante y cerrado con un pistón (Lozano *et al.*, 1987).

En este método los huevos recién fecundados se someten a una presión de 400 - 500 atmósferas (6000 ó 7000 libras/pulgada^2) con la ayuda de una prensa hidráulica que eleva la presión rápidamente alcanzando la deseada en pocos segundos, seguida de una descompresión inmediata. El inconveniente que presenta es el bajo número de ovocitos que se pueden tratar por ciclo así como su elevado costo (Lopéz y Toro, 1990 y Pérez, 1996).

Tratamientos químicos

Los tratamientos químicos también pueden ser usados para bloquear la extrusión del cuerpo polar o la división mitótica en huevos fetilizados y funcionan como inhibidores de la expulsión del segundo cuerpo polar al impedir la formación de los microfilamentos de las células. Sin embargo, este método probablemente es menos adaptable para la producción masiva que los métodos anteriores.

Las sustancias utilizadas principalmente son la colchicina, óxido nitroso, cafeína y especialmente la citocalasina B.

El método más utilizado se realiza mediante la inmersión de los oocitos fecundados en una solución de 0.5 - 1.0 mg de citocalasina B disuelta en 1 ml de DMSO (dimetilsulfóxido) y todo diluido en 1 litro de agua durante un tiempo que debe ser establecido para cada especie (Lozano *et al.*, 1987; López y Toro, 1990 y Pérez, 1996).

En conclusión, los resultados de la inducción de poliploidias dependen en gran medida del tiempo en que sea realizada a partir de la fertilización, de la duración y de la temperatura o presión a la cual se realicen. (Chourrout, 1984 y 1986; Tave, 1988 y 1990; Thorgaard, 1986; Purdom, 1969 y 1983; Wohlfarth, 1983 y Wohlfarth y Wedekind, 1991).

3.1.2 Producción de organismos triploides

La triploidía consiste en un proceso que impide la culminación de la segunda división meiótica en peces, porque como ya se explicó la meiosis en el oocito no se ha completado. Cuando el esperma penetra en el huevo el pronúcleo masculino migra para unirse al pronúcleo femenino y el proceso se reanuda culminando con la formación del cigoto. El huevo recién fecundado es sometido a un choque térmico, de presión o agentes químicos, que van a impedir la expulsión del segundo cuerpo polar del cigoto, el cual se fusiona al núcleo dipliode ya formado en el momento de la fertilización dando origen a una célula que presenta los dos juegos de cromosomas provenientes de la madre y uno del padre (Fig. 3).

La obtención de individuos triploides es útil en acuicultura por dos razones principales, la primera, porque tiene un desarrollo superior a los individuos normales una vez que estos alcanzan la madurez sexual; y la segunda, porque usualmente son estériles, condición dada por la imposibilidad de la división uniforme de los tres juegos de cromosomas en dos durante la producción de gametos (Tave, 1990).

Existen dos formas de crear los triploides:

La primera se basa en la supresión en el ovocito de una de las divisiones meióticas. Esto se logra mediante la aplicación de choques térmicos, o de presión, o por el empleo de algunos compuestos químicos (Pérez, 1996 y Purdom, 1983). El choque debe comenzar antes de la eliminación y continuar por tiempo suficiente para que sea imposible la extrusión del segundo cuerpo polar, estos se conocen como choques tempranos (Toledo *et al.*, 1996).

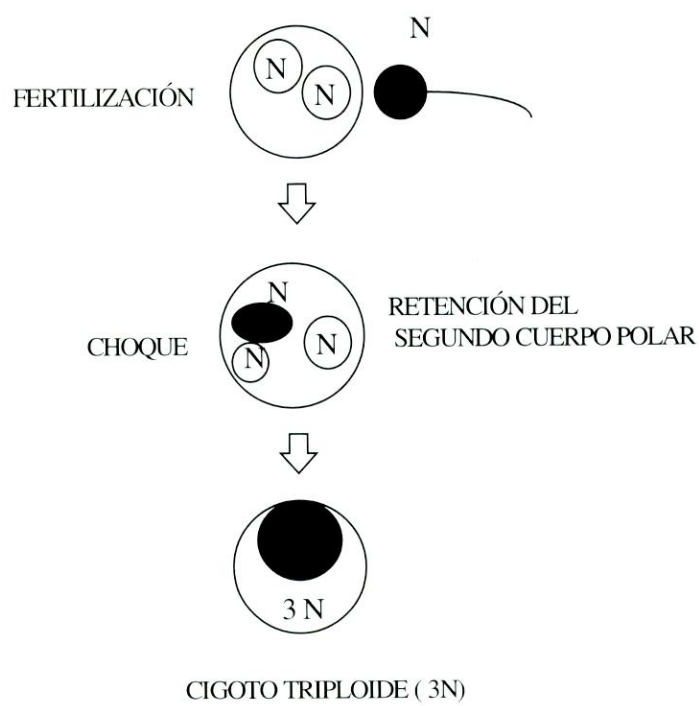


FIGURA 3. Representación diagramática de la triploidía inhibiendo la segunda división meiótica o reteniendo la salida del segundo cuerpo polar.

La segunda forma de producir los triploides es mediante el cruce normal de organismos tetraploides con diploides.

La presencia de estos tres juegos de cromosomas en las células germinales dificulta el proceso de la meiosis, afectando de alguna manera la formación de los gametos. Esta esterilidad genética es beneficiosa para el cultivo de especies de interés económico, puesto que potencialmente puede: 1) Favorecer el crecimiento somático de los individuos al impedir la maduración sexual, como en el caso del salmón, la tilapia o la carpa; 2) Controlar la superpoblación, como en el caso de la tilapia, 3) Producir individuos con una mayor tasa de heterogozidad y estabilidad en el desarrollo y 4) Pueden servir para programas de repoblamiento en cuerpos de agua naturales puesto que no competirán reproductivamente con las especies nativas. Sin embargo, en muchas especies donde la triploidía ha sido inducida, los machos triploides tienen un desarrollo parcial de sus gónadas e incluso producen esperma, por lo que los efectos negativos de la maduración sexual siguen persistiendo. Ello sugiere que en estos casos lo idóneo sería producir sólo hembras, puesto que sólo estas son las únicas que son verdaderamente estériles. (Felip *et al.*, 1997).

Naturalmente pueden ocurrir triploides en poblaciones de peces y se cree que son el resultado de fallas ocasionales de la extrusión del segundo cuerpo polar del huevo, el cual tiene lugar después de la fertilización. Igualmente, puede suceder cuando se realizan cruces entre especies.

En Colombia, Celis y Martínez (1993) lograron producir los individuos triploides de tilapia nilótica utilizando sobre los huevos un choque térmico frío a 11 °C durante 1 hora pasados 4 - 5 minutos de realizada la fertilización artificial. Transcurrido este tiempo los huevos se sacaron sin aclimatación y se dejaron en reposo durante dos horas antes de ser colocados en el sistema de incubación artificial.

De la misma manera se aplicaron choques térmicos calientes a 40.5 - 42 °C durante 3.5 a 4 minutos.

Esta metodología resultó ser eficiente para inducir a la triploidía, puesto que todos los individuos sometidos a los tratamientos respondieron positivamente. Sin embargo, la viabilidad por el choque fue variable oscilando entre el 8.4 y el 74.37 % en el choque térmico cálido y entre el 0.879 al 49.37% para el choque térmico frío. El grupo control presentó una viabilidad del 75%, aproximadamente.

3.1.3 Producción de organismos tetraploides

Para la obtención de individuos tetraploides la inducción se logra mediante la aplicación de choques térmicos o de presión justo unos momentos antes de que ocurra la primera división mitótica en el cigoto, lo que se conoce como choque tardío (Myers, 1986), luego que cada cromosoma se ha replicado y se ha dado la fusión de los dos núcleos diploides dentro de la misma célula, lo que hace que la carga genética aumente de 2N a 4N (Fig. 4).

Como se mencionó, los individuos tetraploides se utilizan en acuicultura como organismos parentales en cruces con diploides para la obtención de crías triploides, eliminando la necesidad de produir estos últimos mediante el método de los choques tempranos (Tave, 1990 y Valenti, 1975). El tipo de cruzamiento más conveniente sería usar como parentales hembras tetraploides y no los machos. Esto se debe a la baja fertilización obtenida cuando se usan como parentales los machos porque los micropilos de los óvulos de las hembras diploides no presentan el diámetro suficiente para recibir los espermatozoides producidos por los machos tetraploides que tienen un mayor tamaño (Toledo *et al.*, 1996).

En Colombia no se conocen trabajos en la producción de estos organismos.

3.2 Inducción a la ginogénesis

El principal interés en los procedimientos de ginogénesis ha sido el potencial para la producción de poblaciones monosexo 100% hembras. En especies con hembras homogaméticas todas las crías serán hembras (XX) después de la ginogenésis. En especies donde las hembras son heterogaméticas (XY) se producirán tanto hembras como machos.

Los individuos ginogenéticos son aquellos que únicamente cuentan con información genética aportada por la hembra.

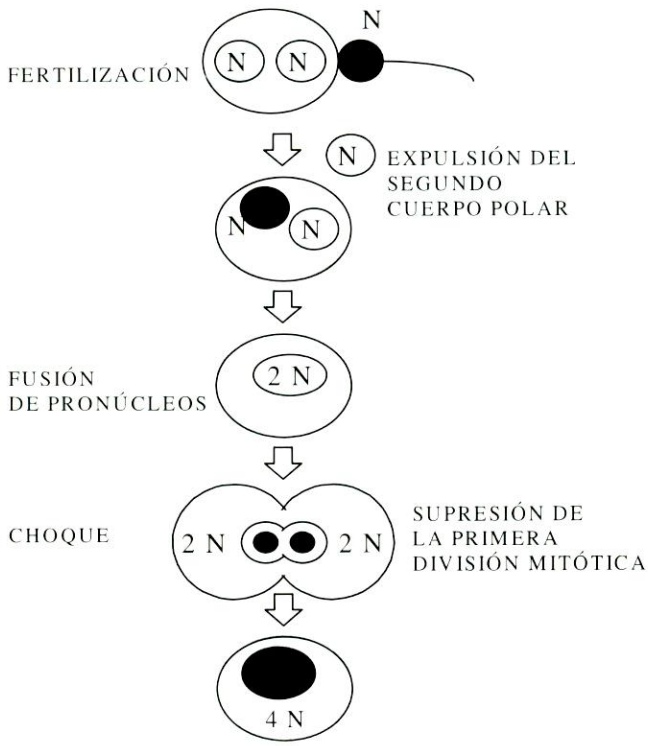


FIGURA 4. Representación diagramática de la tetraploidía inhibiendo la primera división mitótica

Para obtenerlos es necesario activar el desarrollo embrionario en el huevo con un espermatozoide cuya información genética ha sido destruida mediante diferentes técnicas (irradiaciones gamma, X, UV o agentes químicos). Pero los individuos producidos de ésta manera son haploides, osea que poseen solo un juego de cromosomas aportado por la madre y por tanto poco viables; así que se debe duplicar la información del individuo resultante por dos métodos posibles: 1) La supresión de la segunda división meiótica del modo como se describió para la obtención de triploides, dando como resultado indivuduos diploides heterogaméticos, o 2) Evitando la primera división mitótica del cigoto como se describió para la obtención de tetraploides, produciendo los individuos ginogenéticos diploides homogaméticos (Fig. 5).

La inactivación de la información genética (ADN) del esperma puede lograrse por medio del tratamiento del semen con radiación.

Los tratamientos de radiación que son usados incluyen la radiación Gamma, usualmente con fuentes de cobalto 60 (^{60}Co) o Cesio 137 (^{137}Cs), los rayos X y la luz ultravioleta. Los diferentes tratamientos de radiación tienen sus ventajas y desventajas.

La radiación gamma y los rayos X tienen buena penetración, lo cual facilita el tratamiento de grandes cantidades de gametos. Actúan principalmente induciendo al rompimiento de los cromosomas.

La luz ultravioleta es más fácil para trabajar y menos peligrosa que las fuentes de ^{60}Co o ^{137}Cs y los rayos X. La luz ultravioleta daña los cromosomas principalmente por la inducción a formar dímeros de timina que cambian la conformación tridimensional del ADN, evitando su réplica (Piferrer *et al.*, 1995); sin embargo, estos pueden ser reparados por los procesos de fotoreactivación quienes tienen lugar en presencia de luz visible, por lo que es recomendable trabajarlos en condiciones de poco intensidad lumínica.

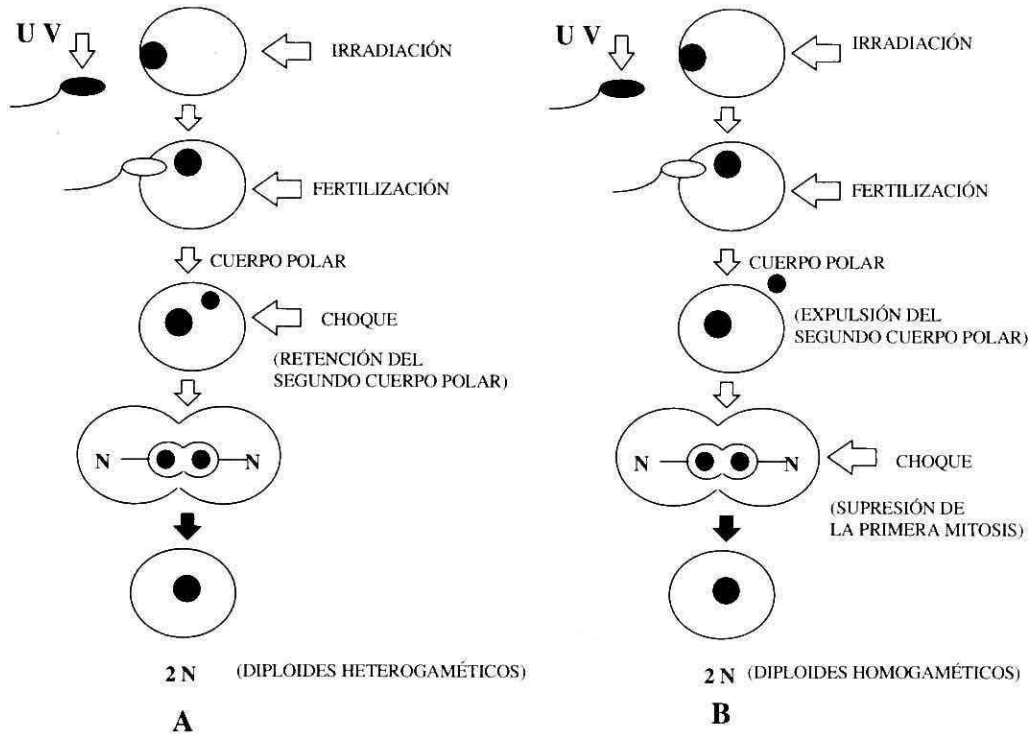


FIGURA 5. Obtención de individuos ginogenéticos diploides heterogaméticos (A) y Obtención de individuos ginogenéticos diploides homogaméticos (B)

La baja penetración de estos rayos los hace más seguros que los rayos X o Gamma, sin embargo es importante tener en cuenta que hay que colocar una delgada capa de esperma, osea una película relativamente transparente para aumentar su eficiencia. Las muestras de esperma opaco y espeso pueden no ser totalmente inactivadas por esta luz UV. Infortunadamente, esto hace más difícil los tratamientos de grandes volumenes de esperma.

En Colombia, Salinas (1992) buscó la aplicación y optimización de las técnicas de radiación UV y de choque térmico como técnicas ginogenéticas para la obtención de poblaciones 100 % hembras, ya que en truchicultura estas son preferidas por presentar un desarrollo gonadal más tardío que los machos, por lo que crecen más que estos en el mismo periodo de cultivo.

La destrucción del material genético del esperma se efectuó mediante una lámpara de luz UV de 20 W (vatios), probando varios tiempos de exposición (2-4.30 minutos). Para evitar la salida del segundo cuerpo polar (supresión de la seguda meiosis) y mantener así la diploidia en las ovas, aplicó un único choque térmico, 25 minutos después de ser fertilizadas con el esperma irradiado, en un acuario con temperatura constante de 27 °C durante 15 minutos.

Se obtuvo porcentajes crecientes de hembras respecto al lote testigo, relacionados con los mayores tiempos de radiación del esperma. El choque térmico mencionado y la radiación de 4.30 minutos fueron los tratamientos con mayores porcentajes de hembras, un 94.23 %, respecto al 50 % presentado en el lote testigo.

3.3 INDUCCIÓN A LA ANDROGÉNESIS

El principal interés en estos procedimientos ha sido la posibilidad de producir parentales machos homogaméticos (YY) conocidos como «supermachos», los cuales al cruzarlos con hembras normales (XX) tendrán una descendencia de individuos 100 % machos normales (XY).

Esto se consigue mediante la destrucción del genoma materno por medio de radiación como se explicó anteriormente. Por consiguiente, la androgénesis es utilizada en especies en las cuales se prefiere cultivar los machos por presentar un mayor crecimiento que las hembras (Carrillo y Chacón, 1995).

Para realizar este procedimiento es necesario tener en cuenta que en la especie a trabajar los machos deben ser heterogaméticos (XY).

Sin embargo, la androgénesis en peces no ha sido ampliamente estudiada como la ginogénesis. El principal problema que se presenta es con el uso de la radiación para inactivar los cromosomas de los huevos porque el ADN mitocondrial, el ARN mensajero (mARN) y otros componentes del citoplasma del huevo pueden ser dañados junto con el ADN cromosomal.

De tal manera que eliminando la expresión del genoma materno y duplicando la información del individuo haploide resultante por la supresión de la primera división mitótica mediante la aplicación de un choque térmico, físico o químico luego que cada cromosoma se ha duplicado, se obtendrán individuos androgenéticos diploides homogaméticos (Fig. 6) (Chourrout, 1984).

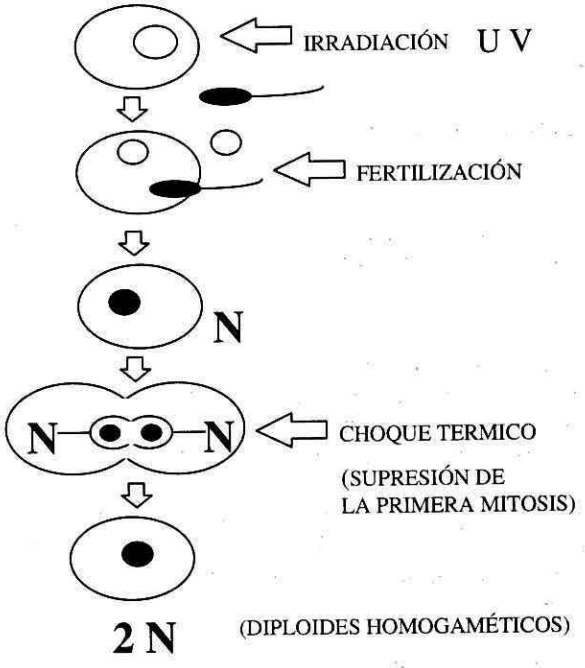


FIGURA 6. Obtención de individuos androgenéticos diploides homogaméticos

Otra forma que puede ser utlizada para obtener individuos androgenéticos, se basa en la fertilización de óvulos cuyo material genético ha sido alterado por los medios ya descritos, con espermatozoides de machos tetraploides, los cuales tienen una carga genética diploide y por consiguiente los individuos resultantes de este cruce serán diploides normales (Toledo *et al.*, 1996).

En Colombia, Carrillo y Chacón (1995) trabajando con el híbrido rojo de tilapia probaron la siguiente metodología:

Para lograr la anulación del genoma materno y la duplicación de la información paterna aplicaron cinco diferentes tiempos de irradiación UV (1, 3, 4, 5 y 7 minutos) antes de la fertilización artificial de los huevos, combinados cada uno con cinco diferentes tiempos de choque térmico (2, 5, 15, 30 y 60 minutos) a una temperatura de 5 ±1 °C, una hora después de la fertilización.

Para la comprobación de la efectividad de los tratamientos se siguió la metodología del conteo de cromosomas basados en el protocolo propuesto por Kligerman y Bloom (1977).

Además se realizaron cruces naturales de los machos obtenidos de cada tratamiento con hembras normales. Los alevinos obtenidos de estos cruces fueron sometidos a un conteo cromosómico y se determinó la proporción de sexos

De acuerdo con los resultados conseguidos se advierte que el animal obtenido del tratamiento con un tiempo de irradiación de 4 minutos y choque térmico de 2 minutos, presentó una descendencia de alevinos 100 % machos con una carga genética normal (2n= 44), lo cual puede indicar que este individuo es el denominado supermacho o YY, sin embargo debe tenerse encuenta que estos resultados son únicamente para el sitio de trabajo y para la línea de tilapia usada.

BIBLIOGRAFÍA

CARRASCO, L. A.; D.J. PENMAN y N. BROMAGE. Parámetros morfométricos de interés comercial en trucha arcoiris triploide, *Oncorhynchus mykiss*. http://155.210.53.23/N2/paramTAI. htm (14 Oct. 1999).

CARRILLO, M. y M. CHACÓN. 1995. Ensayo de androgénesis diploide en tilapia roja mediante manipulación cromosomal. Tesis de grado. Facultad de biología marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.

CELIS, C. y H. MARTÍNEZ. 1993. Análisis de crecimiento y viabilidad entre monocultivos de poblaciones diploides y triploides de tilapia nilótica (*O. niloticus*). Tesis U. Nacional. Facultad de medicina veterinaria y zootecnia. Bogotá. 152 p.

CHAPARRO, N. 1994. Reproducción artificial y manipulación genética en peces. Editorial Mejoras. Barranquilla. 208 p.

CHORRUOT, D. 1984. Pressure-induced retention of second polar body and supression of first cleavage in rainbow trout: Production of all-triploids, all-tetraploids, and heterozygous and homozygous diploid gynogenetics. Aquaculture, 36: 111-126.

CHORRUOT, D. 1986. Genetic manipulations in fish: Review of methods. EIFAC/FAO Symposium Bourdeaux may 27 - 30. 20 p.

FELIP A.; S. ZANUY; M. CARRILLO y F. PIFERRER. 1997. Producción de triploides de lubina y estudio de su crecimiento en juveniles. VI Congreso Nacional de Acuícultura. Cartagena - España.

FELIP, A.; S. ZANUY; M. CARRILLO y F. PIFERRER. 1999. Growth and gonadal development in triploid sea bass (Dicentrarchus labrax) during the first two years of age. Aquaculture 173. 389-399.

GERVAI, J.; S. PETER; A. NAGY; L. HORVATH y B. CSANYI. 1980. Induced triploid in carp Cyprinus carpio L.. J. Fish. Biol. 17: 667-671.

GRAHAM, A. 1983. Genetic of fish: A summary of discussion. Aquaculture, 33 : 383-394.

KLIGERMAN, A. y S. BLOOM. 1977. Rapid chromosome preparation from solid tissues of fishes. J. Fish. Res. Board Can.. 34 : 266-269.

LOPEZ, C. y M. A. TORO. 1990. Mejora Genética de Peces y Moluscos. Ediciones Mundi-prensa. Madrid - España.

LOZANO, R.; C. RUIZ y M. RUIZ. 1987. Manipulación cromosómica en organismos acuáticos. 215-246 p. En: J. Espinosa de los Monteros y U. Labarta (Eds.). Genética en acuicultura. CAYCIT. Madrid.

MYERS, J. 1986. Tetraploids induction in *Oreochromis* spp. Aquaculture 57: 281-287.

PANDIAN, T. y K. VARADARAJ. 1990. Techniques to produce 100% male tilapia. N.A.G.A. The ICLARM. Quaterly 13 (3): 3-17.

PÉREZ, J.E. 1996. Mejoramiento Genético en Acuicultura. Universidad de Oriente. Instituto Oceanográfico de Venezuela.

PÉREZ, J.E. y A. BEAUMONT. 1990. Mejoramiento genético en acuicultura. Red Regional de Acuícultura de América Latina. mayo-agosto. 4 (2): 5 - 13.

PIFERRER, F.; A. FELIP y M. BLAZQUEZ. 1995. Control genético y fisiológico de las proporciones de sexos de los teleósteos y su aplicación en acuicultura. Aulas del mar. Universidad de Murcia. 75-109 p.

PURDOM, C. 1969. Radiation-induced gynogenesis and androgenesis in fish. Heredity, London. 24: 431-444.

PURDOM, C. 1983. Genetic engineering by the manipulation of chromosomes. Aquaculture. 33: 287-300.

RUIZ, M. 1999. Manipulación Cromosómica en Peces. http://www.aggranados.ugr.es/PECES.HTM (14/10/99)

SALINAS, J. 1992. Aplicación y optimización de técnicas ginogenéticas en trucha arco iris. Memorias cuarta reunión Red nacional de acuicultura. COLCIENCIAS / CIID. 87-90.

TAVE, D. 1988. Genetics and breeding of tilapia: A review. 285-293 p. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai and J.L. Maclean (Eds). The second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 15, 263p. Department of fisheries, Bangkok, Thailand, and International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.

TAVE, D. 1990. Chromosomal manipulation. Aquaculture magazine, 16 (1): 62-65.

THORGAARD, G. 1986. Ploidy manipulation and performance. Aquaculture, 57 : 57-64.

TOLEDO S.; F. FORESTI y L. FORESTI, 1996. Cuadernos de Ictiogenética. Biotenología genética aplicada a piscicultura. Universidad de Sao Paulo. 55 p.

VALENTI, R. 1975. Induced polyploidy in Tilapia aurea (Steindachner) by means of temperature shock treatment. J. Fish. Biol., 7 : 519-528.

WOHLFARTH, G. 1983. Genetics of fish: Application to warm water fishes. Aquaculture, 33: 373-381.

WOHLFARTH, G. y H. WEDEKIN. 1991. The heredity of sex determination in tilapias. Aquaculture, 92 : 143-156.

YAMAZAKI, F. 1983. Sex control and manipulation in fish. Aquaculture, 33: 329-354.

Capítulo X. MEJORAMIENTO GENÉTICO EN ACUICULTURA

Fernando Gallego A.[1]

INTRODUCCIÓN

El mejoramiento genético es de gran importancia en la cría y desarrollo de las especies y razas de animales domésticos, sin embargo en organismos acuícolas su contribución ha sido muy escaza. Aun cuando se han hecho contribuciones importantes en las esferas de la sanidad de los peces, la gestión de piscifactorías y en la nutrición, la cría basada en planes de mejora genética prácticamente no ha llegado al acuicultor primario. Es difícil evaluar cuantitativamente la contribución aportada por cada disciplina, pero al menos 30% del incremento total de la tasa y la eficiencia de la producción animal es atribuible al mejoramiento genético. Las mejoras genéticas son acumulativas y permanentes (Tave,1987).

1. GENERALIDADES DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO

El mejoramiento genético en las especies ícticas tiene, entre otras, las siguientes potencialidades:

- La variabilidad genética es mayor en los organismos poiquilotermos como los peces, en comparación con los animales homeotermos, facilitando los programas de selección y de cruzamiento.
- La fecundidad de los peces es considerablemente mayor a la de los vertebrados terrestres, lo cual permite mayores intensidades de selección.
- En muchas especies su intervalo de generación es mucho menor que en los mamíferos, permitiendo observar los resultados de los programas genéticos en menor tiempo.

La mayoría de las características de importancia económica en los sistemas de producción acuícola, tales como la tasa de crecimiento, conversión alimenticia, mortalidad, calidad de la canal, fecundidad y tolerancia a otros ambientes, están bajo el control de un elevado número de genes (herencia poligénica) que se distribuyen como caracteres cuantitativos y continuos, producto de la segregación de varios loci, cuya expresión puede ser modificada por el cambio en la frecuencia de los genes de una población a través del uso de los programas de selección y de cruzamientos (Cook, 1993).

El nivel o expresión de un carácter productivo de un individuo o de una población puede definirse de acuerdo con la siguiente relación.

$$F = G + M.A.$$

F = Fenotipo, observación del carácter.
G = Genotipo, aditivo y no aditivo.
M.A. = Efectos medioambientales, alimentación condiciones del cultivo, todos los efectos no genéticos.

El genotipo de un individuo está constituido por dos clases de genes. Unos que tienen acción aditiva y cuyo efecto se transmite de padres a hijos independientemente de la combinación en que se encuentren, de estos efectos

[1] Ph. D. en Mejoramiento Animal. Docente - Investigador Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas UDCA.
E-mail: dfgallego@hotmail.com

genéticos hacen uso los programas de selección. Los otros genes tienen acción no aditiva y su efecto depende de la combinación genética que ocurra en la progenie. El vigor híbrido o superioridad de los individuos cruzados está ligado a la heterocigosis o diferencias genéticas entre los padres.

Un prerequisito para obtener ganancia genética es la determinación de la varianza genotípica en los caracteres de importancia económica, pero únicamente un pequeño número de especies de peces y crustáceos han sido evaluadas en este sentido. Sin embargo han sido reportadas amplias variaciones para el salmón del Atlántico, carpa, camarón, catfish, truchas, ostras y tilapias y el conocimiento actual sobre los parámetros fenotípicos en estas especies es suficiente para iniciar programas de mejoramiento genético (Gjedrem, 1997).

2. SISTEMAS DE MEJORAMIENTO

Los sistemas de mejoramiento genético están en función de la varianza genética que exhiban los caracteres productivos. En general los rasgos reproductivos pueden ser mejorados genéticamente a través de los cruzamientos y los rasgos productivos y del producto por medio de la selección (Tabla 1).

TABLA 1. Efectos de la selección y del cruzamiento sobre los diferentes caracteres productivos

Clase de característica	Selección	Cruzamiento	Ejemplo Característica
Adaptación, reproducción	Bajo	Alto	Resistencia, sobrevivencia, fecundidad.
Reproducción	Medio	Medio	Ganancia de peso, conversión alimenticia
Producto	Alto	Bajo	Calidad canal, rendimiento en canal

2.1 SELECCIÓN

La selección es un programa de cría en el cual los individuos o familias se escogen en un esfuerzo por cambiar la media poblacional. La heredabilidad es la proporción de varianza genética aditiva sobre la cual se fundamenta la selección y tener conocimiento de su magnitud es de gran ayuda para predecir cual programa de selección es más efectivo.

El valor práctico de la heredabilidad como estimativo del porcentaje con que se trasmite una característica, es un buen indicador de los sistemas de apareamiento más aconsejables a seguir dentro de un programa de mejoramiento genético.

Gran parte de las estimaciones presentadas en la tabla 2 fueron obtenidas como heredabilidad realizada y muy rara vez aplicando métodos de regresión. En general puede decirse que peso y longitud son uno de los atributos que ofrecen a *priori* ciertas garantías de poder ser seleccionados con éxito (CAICYT, 1987).

TABLA 2. Índice de herencia de la ganancia de peso en diferentes especies ìcticas

Especie–rasgo	Índice de herencia
Tilapia áurea. Ganancia de peso 40 semanas	**0.38 +/- 0.08**
Tilapia roja. Peso 40 semanas (hembras)	0.34+/-0.08
Carpa. Peso 4 meses	**0.48**
Salmón coho. Peso 141 días	0.22
Trucha. Peso 243 días	**0.60**
Bagre del canal. Peso 48 semanas	0.27

Adaptado por F. Gallego.

Otras estimaciones para rasgos de crecimiento han determinado valores que se pueden considerar como medios, por lo cual estos caracteres se podrían mejorar a través de la selección masal.

Realizando selección masal en tilapia nilotica para peso a los 3 meses de edad, Basiao y Doyle (1999) encontraron una respuesta positiva del 3%,la cual representa una ganancia proyectada del 34% en cinco generaciones. La heredabilidad realizada fue de 0.16.

En el programa de selección en el Salmón de Noruega, la nueva generación crece 10% más que la anterior cada año, se estiman 18 años para duplicar el peso inicial. Las hembras de trucha arcoiris maduraban a los 4 años con un peso aproximado de 700 g, después de un programa de selección las hembras mejoradas maduran a los 2 años con un peso de 4.5 kg, además producen mayor número de huevos (Pérez, 1996).

Al realizar selección para dos características, color y peso, en la Estación Piscícola del Alto Magdalena del INPA, la presión de selección por color disminuyó la respuesta a la selección en peso en la primera generación, cuando se utilizó selección sobre la ganancia de peso a los 180 días de edad, como único carácter, se obtuvo una respuesta de 85.6 g en promedio a favor del grupo de selección con relación al grupo control (Gallego, 1999).

Después de 10 años de selección, durante cuatro generaciones de selección en salmón coho se han alcanzado incrementos del 60% en la tasa de crecimiento y disminución en los costos de producción (Guo, 1996).

Los caracteres correlacionados son de interés básicamente por los cambios producidos en un carácter cuando se hace selección por otro. La consideración sobre las respuestas correlacionadas sugiere que puede ser posible algunas veces lograr un progreso más rápido bajo selección para un carácter correlacionado que a través de la selección para el carácter deseado (Falconer y Mackay, 1996).

Las correlaciones que se han determinado entre peso y longitud a diferentes edades en tilapias son superiores a 0.90 y significativas. Otros estudios, como el realizado por Lutz (1997), muestran una correlación negativa entre la tasa de crecimiento y el color rojo y la ausencia de manchas, en ellos los peces manchados son los de mayor crecimiento.

En bagre del canal están asociadas las altas tasas de fecundidad con las mayores ganancias de peso. En varias especies existen altas y positivas correlaciones entre la velocidad del crecimiento y la eficiencia alimenticia.

Los resultados de la tabla 3 son un resumen de la ganancia genética obtenida en varias especies acuícolas durante los últimos años, expresado como porcentaje de superioridad en peso sobre los controles.

TABLA 3. Incrementos logrados por selección en peso

Especie	R.S (%)	No. generaciones
Catfish	20	1
Salmón	10-14	1
Tilapia	14-23	2
Camarón	4.4	1

Fuente: Rye (1998)

2.1.1 Métodos de selección

Los métodos de selección se dividen en selección masal y selección familiar.

Selección Masal

En la selección masal o individual se escogen, a partir de un grupo grande de peces contemporáneos, los mejores individuos en el carácter seleccionado, constituyéndose en los nuevos reproductores. Los caracteres que mejor responden a la selección masal son aquellos que tienen heredabilidades medias de 0.20 a 0.40.

Metodología recomendada para realizar selección masal, etapas:

Reproducción de los parentales o lotes de reproductores actuales. Con el fin de garantizar la mayor representación de todos los reproductores presentes se recomienda separarlos en varios grupos conservando en cada uno las relaciones Macho: Hembra utilizadas en la finca y cada grupo o cohorte reproducirlo en estanques por separado.

En cada cohorte se recolectan larvas contemporáneas de más o menos un día de diferencia (Sanchez y Ponce De León,1988). Las etapas de alevinaje y preengorde deben realizarse bajo condiciones comerciales.

Durante el sexaje y separación de machos y hembras se debe realizar la primera selección (S_1), tanto en machos como en hembras por peso.

Posteriormente se debe realizar la selección para el segundo carácter (S_2), tanto en machos como en hembras, cuando ellos tengan tallas o pesos cercanos a los de comercialización.

Los animales escogidos o seleccionados se constituyen en los futuros reproductores que reemplazarán a los originales de la población base (Fig. 1).

Si se desea mejorar la conformación corporal (altura) o la longitud cefálica es recomendable establecer un índice entre la longitud cefálica o la altura y la longitud total, respectivamente; así mismo se debe realizar selección simultánea con el peso, pues se podrían escoger en alguno de los dos casos reproductores de buena conformación (buena altura o cabeza pequeña), pero de reducido tamaño y peso. Con la selección por color sucedería lo mismo. Entonces se sugiere seleccionar inicialmente por peso y posteriormente por el color o por el otro carácter.

Selección Familiar

El otro método de selección es el familiar que se divide en dos tipos, **inter-familiar**, en el cual se escogen las mejores familias de varias que constituyen un grupo de comparaciones (no deben ser menos de 45) e **intra - familiar** en el que se seleccionan los mejores individuos de las familias .

La selección familiar evita la consanguinidad al utilizar apareamientos rotacionales, además es útil para mejorar la conversión alimenticia pues es mas fácil medir los promedios familiares que los individuales. En la selección individual se puede incurrir en consanguinidad al cruzar los mejores con los mejores donde existe la probabilidad de parentesco entre algunos de ellos.

La selección familiar es importante cuando el carácter presenta baja heredabilidad y existen fuentes de variación difíciles de controlar, tales como el día de la eclosión, el tiempo de incubación (especies asincrónicas), la edad y tamaño de la madre y las diferencias entre estanques. Puede ser igualmente importante si se desea mejorar el rendimiento post-eviscerado o en filete.

Se recomienda probar por lo menos 45 parejas o grupos de un macho y dos hembras, los descendientes de cada pareja (hermanos completos y/o medios hermanos paternos) son considerados como una familia, ellos deben ser separados en tres estanques o jaulas, con el fin de disminuir los efectos ambientales, el promedio de los tres grupos de hijos o réplicas es el promedio familiar (Fig. 2).

Cuando se escogen las familias con mayor promedio (5% - 15%), las hembras de una familia se aparean con los machos de otra, siguiendo la técnica de troncos de apareamiento (Tucker y Robinson, 1990). Si se desea mayor ganancia genética se deben seleccionar los mejores hijos de las mejores familias (Selección intra-familiar).

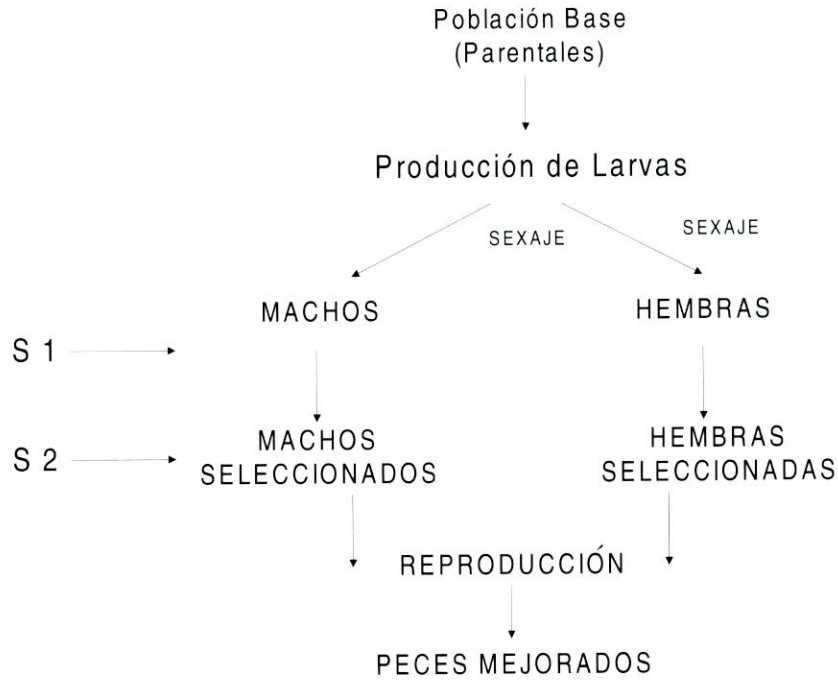


FIGURA 1. Esquema de un programa de selección masal

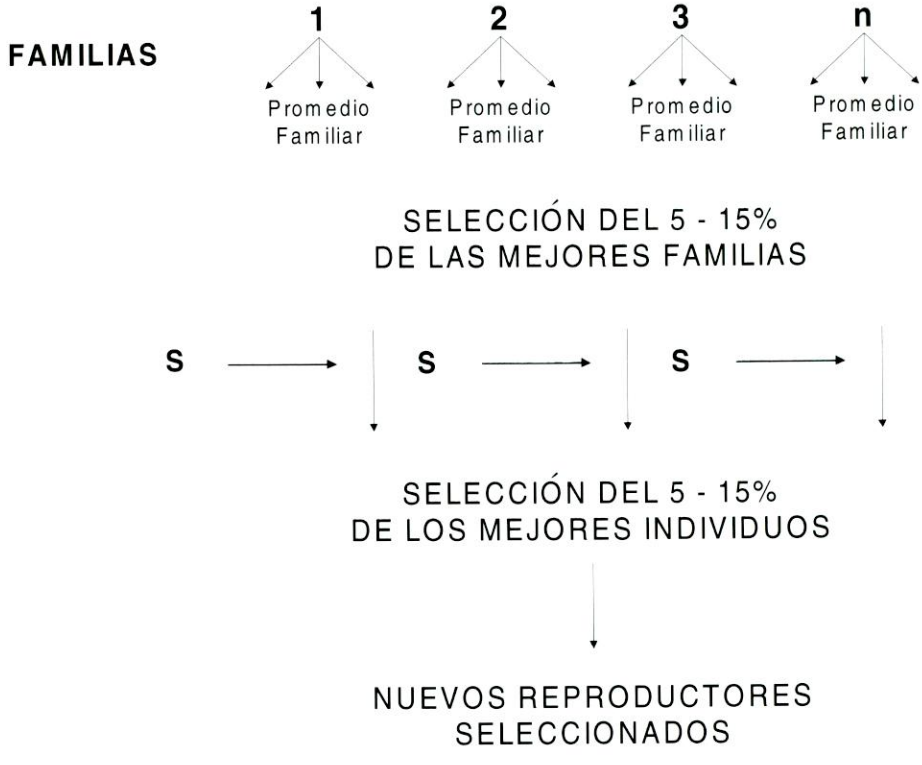


FIGURA 2. Esquema de un programa de selección familiar

Al conservar como reproductores a los padres o parejas iniciales se estarían realizando pruebas de progenie que son valiosas cuando la vida útil de los reproductores es prolongada como en el caso de salmónidos y cachamas principalmente.

2.2 Cruzamientos

En organismos acuáticos es técnicamente posible obtener cruzamientos entre especies que están alejadas del filum genéticamente y que incluso difieren en su número cromosómico. Algunos estudios reportan la existencia de vigor híbrido en caracteres como resistencia a enfermedades como la septicemia hemorrágica en el híbrido entre salmón y trucha arcoiris, donde únicamente el salmón es resistente. Igualmente se reporta tolerancia al calor en el híbrido entre truchas *Salveninos fontenelis y Salveninos namaycush*.

Los cruzamientos son una forma de realizar mejoras genéticas aplicables a la acuicultura. La heterosis o el vigor híbrido permite a la descendencia superar a los progenitores en uno o varios caracteres mientras que la depresión endogámica tiene efectos perjudiciales.

En los sistemas permanentes de cruzamiento se pueden obtener beneficios aun cuando los caracteres de interés muestren una acción puramente aditiva si se logra la complementación de al menos dos rasgos en un mismo individuo. Pillay (1997) recomienda probar todos los cruces posibles entre líneas para evaluar los caracteres de interés económico y seleccionar los cruzamientos más favorables u obtener líneas endogámicas y probar los cruces entre ellas en condiciones comerciales .

López y Toro (1990) proponen que si una estirpe (A) es eficiente pero de baja prolificidad y otra (B) es menos eficiente y de mayor prolificidad, el cruzamiento de machos A por hembras B puede producir descendencia que supere en productividad a ambas estirpes parentales.

En la estación piscícola de Repelón del INPA al cruzar las líneas de tilapia roja Llanos Orientales, Roja Jamaica y Santafe de Antioquia, los peces cruzados presentaron significativamente menor mortalidad que los de las líneas puras y alcanzaron mayor peso, mostrando una heterosis del 7.8%. La superioridad de los genotipos cruzados fue del 12%, como incremento de biomasa a los 30 días en comparación a sus líneas parentales (Gallego, 2000).

Existe evidencia en muchas especies de que gran parte de la variación entre cruces es de naturaleza aditiva y que por lo tanto el comportamiento productivo de las líneas parentales es suficiente guía de su comportamiento en los cruces. En un sistema de cruzamientos se pueden obtener beneficios si los genes que intervienen durante la cría (fertilidad, aptitud materna, etc.) son diferentes de los que maximizan el crecimiento, es importante escoger cada línea parental por caracteres diferentes, por lo cual los machos serían seleccionados por crecimiento y la línea que interviene como hembra por caracteres maternos y reproductivos.

Moav (1966) citado por Caicyt (1987) introdujo el término de "Heterosis Comercial" para denominar la ventaja de los cruces que no depende de la existencia de dominancia. También es posible, entonces, evaluar las ventajas de utilizar en el cruce final, hembras que son el producto de cruces de otras líneas de forma de aprovechar el vigor híbrido en características maternas y que se cruzan con una línea macho especializada en crecimiento.

En diferentes estudios los híbridos del género *Morone* han exhibido vigor híbrido que se ha expresado en mayor tasa de crecimiento, menor mortalidad y resistencia a las enfermedades. Kerby *et al.* (1987), recomiendan a los híbridos de Striped Bass y White Bass como candidatos para la acuicultura comercial en estanques de tierra.

La correlación heterocigosidad-adaptabilidad se ha encontrado en algunas especies de peces, por ejemplo en la trucha (*Oncorchynchus mykiss*), los organismos más heterocigotos presentan mayor crecimiento y menor consumo de oxígeno, lo que indica un metabolismo más eficiente. Igualmente las hembras presentan huevos de mayor tamaño. Así mismo, sobreviven significativamente más a las infecciones.

Los cruces entre poblaciones diferenciadas en peces de la misma especie han permitido obtener resultados positivos en cuanto a mejorar aspectos como velocidad de crecimiento y resistencia a factores medioambientales (Lutz, 1998).

Bentsen *et al.* (1998) encontraron heterosis en la ganancia de peso al cruzar diferentes líneas de tilapias, hallaron efectos recíprocos significativos que mostraron cómo algunas líneas se comportan mejor como padres y otras mejor como madres.

3. EFECTOS DE LA CONSANGUINIDAD

La alta fecundidad de los peces ha permitido utilizar como reproductores a muy pocos individuos, lo que ha traído como consecuencia tamaños efectivos muy pequeños, conllevando a la pérdida de variabilidad genética y a la presencia de consanguinidad.

El tamaño poblacional se constituye en uno de los principales determinantes en la clasificación de poblaciones animales en función del riesgos de licuación genética o extinción, por lo que deben tenerse en cuenta criterios como la tendencia numérica de la población y el grado de pureza o nivel de cruzamiento que muestran los animales.

Según Mariante y Mezzadra (1993) es poco frecuente encontrar censos en los que se discrimine entre razas y líneas dentro de especies, cuando se hace los animales cruzados constituyen un problema particular, en especial aquellos que son productos de una serie de cruzamientos indiscriminados y planificación, dada la gran dificultad para clasificarlos o agruparlos dentro de razas o líneas (Mezzadra,1996).

Cuando se establecen poblaciones, de especies nativas que están siendo domesticadas e introducidas a la acuicultura, a partir de un bajo número de reproductores se origina pérdida de variabilidad genética produciendo efectos fundadores y cuellos de botella con drásticas repercusiones sobre los caracteres reproductivos y productivos (Bodo,1994). Es importante establecer poblaciones de referencia que suministren reproductores de buena calidad genética y sirvan como control de las líneas que se establezcan, estas poblaciones pueden crearse a partir de una sola población o entre varias de ellas, una vez establecidas deben mantenerse libres de contaminación con otras poblaciones (Tave *et al.*, 1990).

Los efectos de la consanguinidad o endogamia sobre los caracteres productivos son conocidos como la depresión consanguínea. En carpas se encontró una reducción del 15% en el crecimiento cuando el apareamiento fue entre hermanos, en truchas arcoIris se incrementa el porcentaje de deformidades y se disminuyen la conversión y el peso. En la mayoría de especies la consanguinidad reduce la resistencia a la manipulación y a las enfermedades.

En salmónidos, valores de consanguinidad del 25% ocasionan disminuciones en la tasa de crecimiento del 26.2% y en la conversión del 14.6%, igualmente la sobrevivencia se reduce en 10.3% (Gjerde y Shaeffer, 1999).

4. TRONCOS DE APAREAMIENTO

Es una técnica utilizada para producir los reemplazos de los reproductores , evita la consanguinidad y permite hacer apareamientos de individuos seleccionados para diferentes características (Fig. 3).

La forma de establecer en troncos o lotes de apareamiento a los parentales de una piscícola es la siguiente.

- Reproducir cada lote por separado
- Seleccionar en cada lote machos y hembras por las características de interés.
- Conformar los troncos uniendo los machos seleccionados de un lote con las hembras seleccionadas de otro lote.

La suma de los reproductores divididos en troncos debe ser igual al número de parentales iniciales cuando se desea mantener estable el número de reproductores.

Posteriormente, para producir la segunda generación de reemplazos, los machos y hembras del lote E se pueden aparear con las hembras y machos del lote G y los del F con los del H. Cuantos más troncos o lotes se establezcan mayor número de generaciones se pueden obtener sin producir o incrementar la consanguinidad.

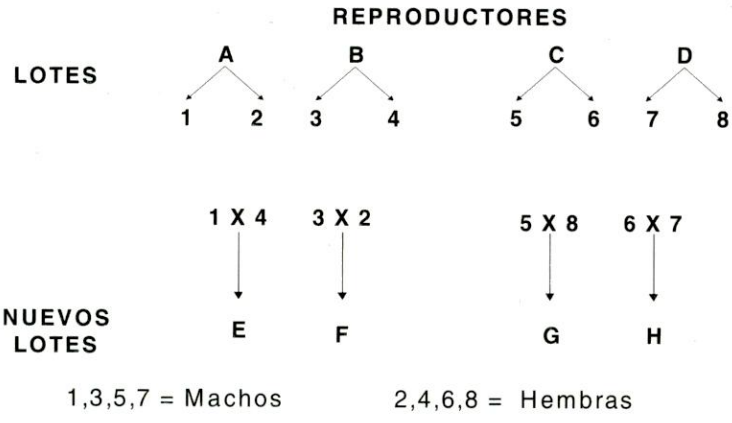


FIGURA 3. Troncos de apareamiento

BIBLIOGRAFÍA

BASIAO, Z. y R. DOYLE. 1999. Test of size-specific mass selection for Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* L.,cage farming in the Philippines.Aquaculture Research.30.

BENTSEN,H.B. y Col. 1998. Genetic Improvement of Farmed Tilapias: Growth Performance in a Complete Diallel Cross Experiment With Eight Strains of *Oreochromis niloticus*. Aquaculture.

BODO, I. 1994. Principles in Use of Live Animals. Animal Research Papers. F.A.O. Roma.

CAICYT. 1987. Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica. Genética en Acuicultura. Madrid.

COOK, L.M. 1993. Genética de Poblaciones. Omega Barcelona.

GALLEGO, F. 1999. Selección masal multietapa para peso y color en Tilapia Roja (*Oreochromis* spp.). III encuentro de investigadores en Ciencias Pecuarias. Suplemento.

GALLEGO, F. 2000. Evaluación de los cruzamientos entre lineas de Tilapia Roja. Tesis en opción al grado de doctor en Genética y Mejoramiento Animal. Universidad Agraria de la Habana.

GJEDREM, T. 1997. Selective Breeding. World Aquaculture.

GJERDE, B. y L. SHAEFFER. 1999. Estimates of phenotypical and Genetic correlations in Rainbow trout. World of Aquaculture.

GUO, S. S. 1996. Genetic Changes in the Growth of Coho Salmon in Marine net – pens. Aquaculture. 144

LÓPEZ, F. y M. TORO. 1990. Mejora Genética de Peces y Moluscos. Mundiprensa. España.

LUTZ, G. 1997. What do you Get When You Cross. Colors in Tilapia, Aquaculture Magazine. May-June.

LUTZ, G. 1998. Dominance Genetic Variance: Inbreeding and Heterosis. Aquaculture Magazine . Nov- Dec.

MARIANTE, A. y C. MEZZADRA. 1993. Memorias.Monitoring Animal Resourcer whith emphasis on Latinoamerica. Simposio sobre los recursos genéticos animales en America Latina. ALPA. Chile.

MEZZADRA, C. 1996. Memorias. Niveles de amenaza y tamaño de poblaciones animales y su relación con los programas de conservación. III congreso Iberoamericano de razas autóctonas y criollas. Bogotá-Colombia.

PÉREZ, J. 1996. Mejoramiento Genético en Acuicultura. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente.

PILLAY, T. V. 1997. Acuacultura. Principios y prácticas. Limusa. México. Hemisferio Sur.

RYE, M. 1998. Selección en Especies Acuícolas. Seminario de Camaricultura Sostenible. Ceniacua. Cartagena, Colombia. Memorias.

SANCHEZ, T. y R. PONCE de LEON. 1988. Metodología de selección de Reproductores de Tilapia (Pruebas de Alevinaje) VII Congreso Latinoamericano de Genética. La Habana, Cuba.

TAVE, D.; R. SMITHERMAN; V. JAYAPRAKAS y D. KUHLERS. 1990. Estimatives of Additive Genetic Effects, Maternal Gnetic Effcts. Individual heterosis, and egg cytoplasmic effects for growth in Tilapia Nilotica.J. World. Aquaculture. Soc. 21(4): 263-270.

TUCKER, G. y H. ROBINSON. 1990. New York, Channel Catfish Farming Handbook. Mississippi State University.

Capítulo XI. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA CRIOPRESERVACIÓN DE ESPERMA DE PECES

Esperanza González Sarmiento[1]
Jaime Díaz Sarmiento[2]

INTRODUCCIÓN

En centros dedicados al cultivo de peces es de interés primordial el desarrollo y estandarización de metodologías que conlleven a la producción de una mejor calidad de semilla, que permitan el enriquecimiento genético y faciliten las técnicas tradicionales de reproducción, con sus beneficios económicos respectivos.

La criopreservación o crioconservación es la rama de la criobiología (estudio de la vida a bajas temperaturas) por medio de la cual se espera prolongar indefinidamente el potencial total de vitalidad y las funciones metabólicas normales de las células. Por medio de este proceso se busca la estabilización de las células a temperaturas criogénicas generalmente de -196 °C en la que se detiene la actividad metabólica, permitiendo su preservación por periodos de tiempo indefinidos.

A pesar de que aun no se comprenden en su totalidad los complejos fenómenos fisicoquímicos asociados con el proceso de congelación de células como los espermatozoides, en los últimos años se ha avanzado en el desarrollo de técnicas y protocolos que han permitido aprovechar sus ventajas en diferentes campos, entre ellos la acuicultura.

En este capítulo se presentan de una manera sencilla, las ventajas de la técnica, la estructura del esperma de peces, los principios básicos de la criopreservación, los crioprotectores más utilizados, los aspectos asociados con la evaluación seminal, los lineamientos para el proceso de criopreservación de la célula y se mencionan algunos trabajos hechos en Colombia.

1. APLICACIONES DE LA CRIOPRESERVACIÓN EN LA ACUICULTURA

En acuicultura la preservación de esperma de peces abre un nuevo campo de posibilidades, ya que se trata de un instrumento de gran utilidad en la reproducción, que permite contar permanentemente con una fuente de semen de calidad para un buen control de la producción de ovas y alevinos y aumentar la frecuencia de reproducción artificial para la crianza o repoblación de una especie.

La disponibilidad continua de semen que ofrece la técnica de criopreservación facilita el manejo de la sincronía reproductiva de especies que en muchos casos presentan hembras a punto de desovar y no se encuentra semen en los machos, bien sea por inmadurez o porque su período de espermación ya pasó.

El método favorece el transporte e intercambio de material genético para el mejoramiento de especies y la actividad de producción animal; se puede transportar el semen criopreservado fácilmente, a otro lugar diferente a donde ha sido tomada la muestra y ser utilizado, sin que se presenten los inconvenientes de transportar los machos, ni las complicaciones que esto tiene, como el estrés que sufre el animal por manipulación, los cambios de temperatura del agua y la falta de oxígeno, entre otros.

Así mismo, es importante poder utilizar recursos que en cierta medida se están desperdiciando como el semen de peces silvestres, provenientes de sistemas con características hidrológicas y biogeográficas diferentes, ya que en

[1] Bióloga Marina, Centro de investigaciones Científicas y Estudios Ambientales, Universidad Jorge Tadeo Lozano. E-mail: olga .gonzalez@utadeo. edu.co

[2] Biólogo Marino Msc, Centro de investigaciones Científicas y Estudios Ambientales, Universidad Jorge Tadeo Lozano. E-mail: jaime. diaz@utadeo .edu .co

ellos como en otros tipos de cultivo (vegetales, animales) la selección y el proceso de adaptación natural es constante y proveen a los individuos silvestres de genes capaces de brindar resistencia a enfermedades o plagas.

La renovación periódica del plantel de reproductores en las estaciones piscícolas alejadas de sitios naturales de captura, es una labor costosa y de cierto riesgo, que no es posible realizar con regularidad. Con el tiempo esto predispone a desarrollar cruces consanguíneos y otros no selectivos que pueden conducir a la degeneración progresiva de las especies. Estas dificultades se pueden superar utilizando semen criopreservado y seleccionado, para fecundar los huevos de las hembras mantenidas en cautiverio y obtener nuevos reproductores cuya descendencia conserve gran parte de las buenas características fenotípicas y genotípicas propias de las especies del medio natural.

Si se tiene en cuenta que los reproductores demandan una gran cantidad de alimento y espacio, insumos de considerable incidencia económica en piscicultura, la evaluación de estas técnicas de almacenamiento de semen podrían determinar si es justificable la presencia de algunos lotes o individuos dentro del grupo de reproductores, en cultivos piscícolas.

En poblaciones naturales amenazadas la criopreservación se constituye en una alternativa de conservación de la información y variabilidad genética a través de bancos de almacenamiento y manejo, los cuales pueden permitir repoblamientos exitosos y evitar embotellamientos genéticos.

Dada la alta demanda de semilla de peces para los cultivos que existen en Colombia, es indispensable profundizar en las investigaciones para la conservación de las características de las especies y comenzar a desarrollar técnicas tendientes a mejorarlas.

2. EL ESPERMA DE PECES

De acuerdo con sus formas de transmisión, fertilización, morfología y filogenia, el esperma de los peces es altamente diverso. Cuando el esperma es liberado en el agua y presenta una fase de natación libre se denomina *aquasperm*, el cual en peces corresponde al tipo denominado *ectaquasperm* o de fertilización externa. Cuando los espermatozoides son implantados directamente al interior de la hembra y se produce una fertilización interna se denominan *intraesperm* (Jamieson, 1990).

Morfológicamente el espermatozoide en peces está conformado por tres partes principales, que son: la cabeza, la parte media y el flagelo (Fig. 1). La forma de la cabeza puede variar desde formas completamente redondeadas hasta ovoides y elongadas (Fig. 2).

La cabeza está conformada por un núcleo en el cual se encuentra el ADN y puede o no presentar una región acrosomal de acuerdo con la especie, de tamaño y forma altamente variables, en la cual se encuentran enzimas que facilitan la penetración del espermatozoide en el huevo (Aldeman y Cahill, 1989) (Fig 1).

Articulada con la cabeza se encuentra la parte media donde están las mitocondrias que aportan la energía necesaria para el movimiento del flagelo, su número varía de acuerdo con la especie.

El flagelo es el organelo encargado del movimiento del esperma, está conformado por nueve pares de microtúbulos periféricos y de acuerdo con la especie, en algunos casos, uno central. El esperma de algunas especies como el bagre de canal (*Ictalurus punctatus)* es biflagelado, sin embargo la mayoría de las especies poseen un sólo flagelo.

3. PRINCIPIOS BIOLÓGICOS DE LA CRIOPRESERVACIÓN

El proceso de criopreservación comprende tres pasos fundamentales en los cuales se presentan diferentes reacciones fisicoquimicas en la célula:

En la congelación, teniendo en cuenta que toda célula viva responde igual al enfriamiento por debajo a 0°C, empieza a formarse hielo sobre el exterior de la célula y a medida que baja la temperatura, empieza a deshidratarse,

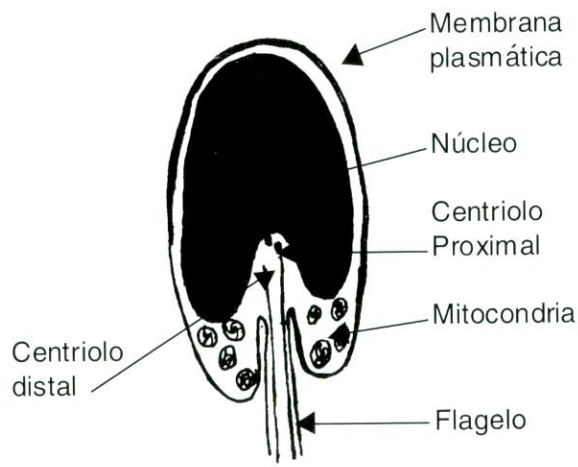


FIGURA 1. Esquema general del esperma de peces

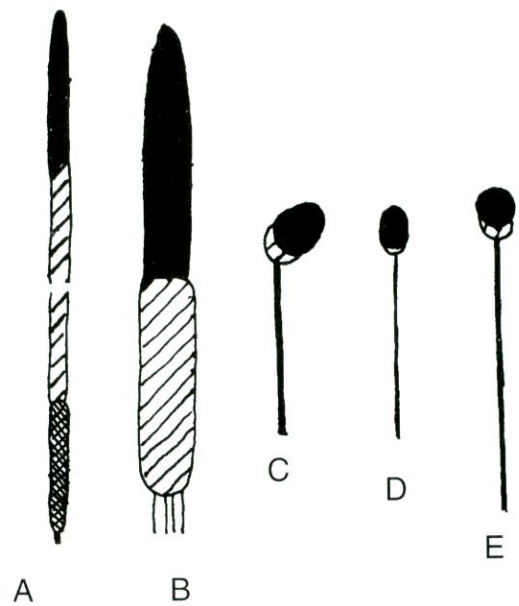


FIGURA 2. Ejemplos de diferentes formas de la cabeza de espermatozoides de peces. A *Pantodon buchholzi.* B. *Poecilia reticulata.* C. *Cyprinus carpio.* D. *Piaractus brachypomus.* E. *Pseudoplatystoma fasciatum.*

por lo cual el enfriamiento debe seguir ciertas consideraciones fundamentales. Si el enfriamiento es muy lento, la célula puede perder agua suficiente para no congelarse en el interior, sin embargo esto no sucede por lo general y en el semen el ritmo de enfriamiento requerido es demasiado lento para ser factible (IFGB, 1996). Cuando las células son enfriadas en una solución acuosa, ambas, células y solución, son enfriadas en extremo; tomando lugar la nucleación heterogénea, usualmente en la solución extracelular. Cuando el agua es congelada, la solución extracelular cambia su concentración progresivamente. Si la tasa de enfriamiento es lenta, existe el tiempo suficiente para que la célula pierda agua hasta quedar en un equilibrio osmótico con la concentración de la solución extracelular; sin embargo, si existe una excesiva deshidratación la célula muere (Jamieson, 1990) (Fig. 3).

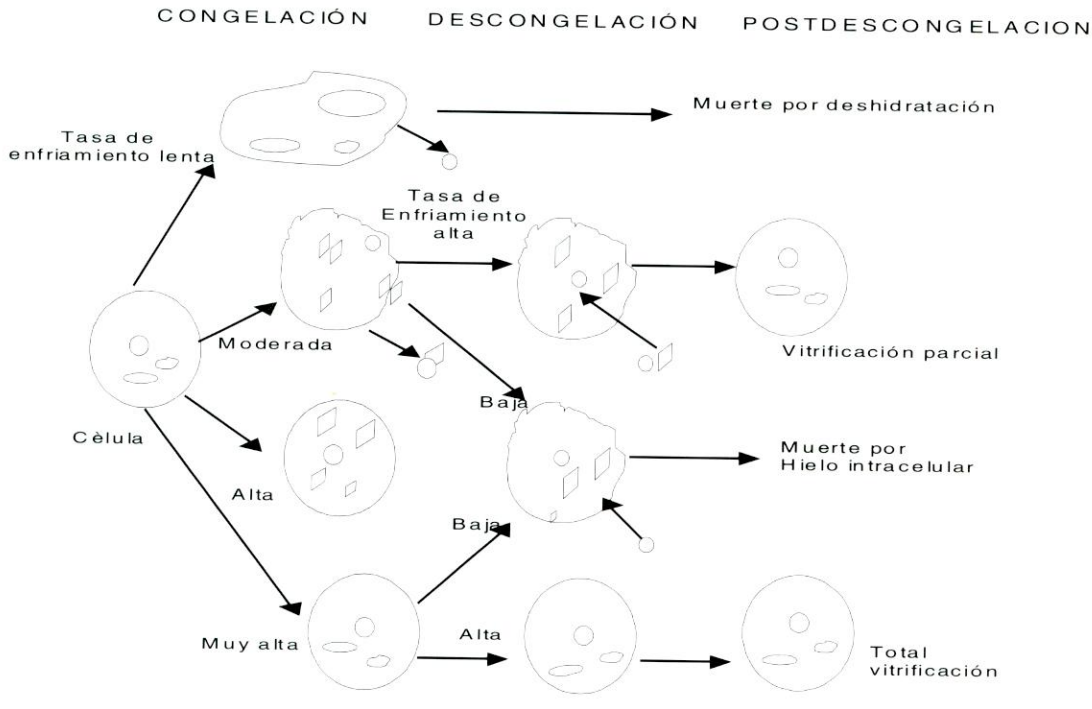


FIGURA 3. Modelo de Criopreservación. Tomado de Jamieson (1990).

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

Si la tasa de enfriamiento es alta, no hay tiempo suficiente para que el agua se difunda fuera de la célula, el inicio del equilibrio intracelular se realiza por formación de núcleos homo o heterogénico. En este caso la congelación intracelular se considera fatal.

Una situación de equilibrio que permita la sobrevivencia de la célula está dada por una tasa de enfriamiento lo suficientemente alta que reduzca el tiempo de exposición a la solución concentrada y lo suficientemente baja para minimizar la cantidad de hielo intracelular disminuyendo el nivel de peligro de lesiones de la célula. Ciertos químicos pueden incrementar el balance entre los efectos del hielo intracelular y la solución concentrada, así se mejora la sobrevivencia. Estos son denominados crioprotectores (Jamieson,1990).

La descongelación es otro punto crítico de la técnica y el ritmo de ésta es esencial para no destruir la célula. Debe ser tan lenta como para permitir la rehidratación pero tan rápida como para que los cristales no se expandan demasiado. En semen de peces parece que la mayor rapidez posible es lo mejor, pero todavía no es regla general. Durante la descongelación, procesos fisicoquímicos toman lugar en orden inverso. Teóricamente, la tasa de descongelación debe ser similar a la de enfriamiento, sin embargo, hay una cantidad pequeña de hielo presente, cuando se utiliza una tasa de enfriamiento óptimo y se produce una recristalización durante la descongelación, formándose cristales de hielo intracelularmente que son letales. Una alta tasa de calentamiento es empleada para disminuir el grado de recristalización. Cuando la descongelación es rápida, no existe el tiempo suficiente para que la célula deshidratada absorba el agua que se perdió durante la congelación (Jamieson,1990).

El almacenamiento para la criopreservación se debe hacer a temperaturas de -130°C o inferiores. Una temperatura de almacenamiento comúnmente utilizada es -196°C (la temperatura del nitrógeno líquido). A estas temperaturas todas las moléculas biológicas llegan a ser inmóviles y por tanto, no participan en ninguna reacción química. Teóricamente el material biológico puede ser mantenido indefinidamente en estado de congelación.

Sin embargo, reacciones a nivel atómico toman lugar a temperatura del nitrógeno líquido. Estas reacciones causan descomposición del núcleo por radiación, lo cual es de gran interés en la criopreservación debido a que podría ser potencialmente mutagénico.

3.1 CRIOLESIONES

Las mayores lesiones conocidas (Fig.4) asociadas con los procesos de congelación y descongelación con relación a los rangos de temperatura durante el proceso de criopreservación son:

El shock frío, que es principalmente causado por un cambio en la membrana lipídica de la fase líquida a la fase sólida durante el inicio de la congelación, particularmente cuando este proceso se realiza lentamente, en un rango de temperatura entre 10 y 16°C.

La fluctuación del pH que puede ser causada por la congelación o en algunas circunstancias, por la presencia de fosfato potásico, por adición de crioprotectores, estos cambios llevan a que las proteínas se desnaturalicen.

La probabilidad de formación del hielo intracelular que se incrementa con la tasa de enfriamiento, o que aparece durante la descongelación, produce un grado de lesión proporcional al tamaño de los cristales de hielo. Los cristales de hielo pueden causar la destrucción mecánica de la estructura de la membrana.

Finalmente se encuentran los efectos extracelulares del hielo, en cuyo caso la lesión de la células es causada por la fuerza física surgida por la expansión del hielo.

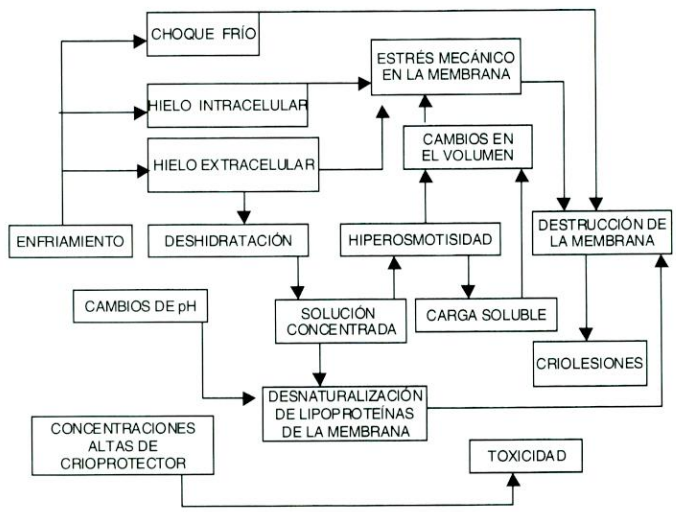


FIGURA 4. Interrelación de criolesiones durante el congelamiento y adición de crioprotectores. (Tomado de Jamieson, 1990)

4. CRIOPROTECTORES

Para compensar la formación de hielo se utiliza una crioprotección intra y extracelular; tanto el crioprotector intracelular como su concentración deben ser los adecuados para desplazar el agua y bajar el punto de congelación sin efectos tóxicos sobre la célula. El crioprotector extracelular debe envolver la célula y estabilizar la membrana y al igual que el intracelular, debe ser removible fácilmente después del proceso de congelación-descongelación.

Un buen diluyente debe tener las siguientes funciones: 1) proporcionar nutrientes como fuente de energía, 2) proteger contra los efectos dañinos del enfriamiento rápido, 3) proporcionar un medio amortiguador (buffer) para prevenir los cambios dañinos de pH tal como la formación de ácido láctico, 4) mantener la presión osmótica adecuada y el equilibrio electrolítico, 5) inhibir el crecimiento bacteriano, 6)aumentar el volumen de semen de tal manera que puedan utilizarse para inseminaciones múltiples y 7) proteger las células espermáticas durante el congelamiento (Hafez, 1986).

Los crioprotectores son sustancia químicas que ayudan a minimizar daños de la célula asociados a la formación de hielo. El crioprotector ideal debe ser de bajo peso molecular, altamente soluble en solución acuosa de electrolitos, penetrar en la célula y no ser tóxico a altas concentraciones.

Los crioprotectores pueden dividirse en dos grupos: los permeables a la membrana de la célula y los no permeables. Los crioprotectores permeables permiten reducir la tasa de difusión del agua de la célula a los cristales de hielo, reducir los cambios del volumen de la célula-concentración salina, bajar la temperatura de nucleación homogénea, reducir la tasa de crecimiento de cristales de hielo y aumentar la temperatura de transformación de cristales.

Los crioprotectores permeables comúnmente utilizados son: DMSO (Dimetisulfoxido), glicerol, metanol y 1,2 propadiol. De estos, el glicerol es el menos tóxico para la mayoría del material biológico, pero también el menos permeable a la membrana de la célula y por tanto toma más tiempo en adquirir el equilibrio osmótico. La gran diferencia entre la permeabilidad del agua y del glicerol causa efectos en el volumen durante la introducción y remoción del crioprotector (Schneider y Mazur, 1984). El metanol, por otra parte, es altamente permeable a la membrana de la célula pero es generalmente considerado más tóxico y ha sido utilizado en espermatozoides de peces (Harvey, 1983), células aisladas de mamíferos (Ashwood-Smith y Lough, 1975) yeritrocitos (Meryman, 1968). El DMSO es bastante permeable a la membrana, pero tóxico, intermedio entre el glicerol y el metanol, esta toxicidad puede ser disminuida reduciendo la temperatura; el glicerol también es utilizado como un agente radioprotector (Ashwood-Smith, 1967).

Experimentos utilizando crioprotectores radiomarcados muestran que el grado de penetración del metanol, DMSO y glicerol es inversamente proporcional al peso molecular del compuesto; el glicerol no penetra el huevo, en tanto que el metanol penetra con gran rapidez (Harvey y Ashwood-Smith, 1982).

A diferencia del glicerol, la permeabilidad del DMSO no es afectada marcadamente por la disminución de la temperatura. Por estas razones, el DMSO es el crioprotector permeable mas utilizado. Recientemente, se comenzó a utilizar el 1,2 propadiol (propanilo glicol), posiblemente es mejor que el DMSO (Boutron y Kaufman, 1979; Renard y Babinet, 1984; Renard *et al.*, 1984), debido, al menos, a la alta tendencia de formación de cristales por parte del glicerol y del DMSO (Renard y Babinet, 1984).

Los crioprotectores no permeables incluyen azucares (sucrosa, glucosa), polímeros (destrona, hidroxietil almidón, polivinilpirolidol) y proteínas (yema de huevo, suero, leche descremada y proteínas anticongelantes encontradas en peces polares e insectos (Ashwood-Smith *et al.*, 1972; Connor y Ashwood-Smith, 1973; Ashwood-Smith, 1975; Knight y Duman, 1986). Estos compuestos no penetran en la célula y su capacidad de crioprotección esta relacionada con su capacidad de reducir el punto de congelación y aumentar la temperatura de cristalización en la solución extracelular.

Específicamente los lípidos, con su potencial de disminuir la temperatura de la fase de transición de la membrana, son utilizados para minimizar los daños de la membrana durante el inicio del enfriamiento (Shock frío) y congelación (Graham y Foote, 1987).

Para la preparación de los crioprotectores con los cuales se ha trabajado en los proyectos UJTL- INPA se han utilizado las siguientes formulas reportados para peces tropicales por Alderson y Macneil (1984); Harvey y Kelley (1988); Bemal y Uribe (1993); González (1994); Caleño (1995) y IFGB (1996):

Crioprotector 1

DMSO (Dimetil sulfoxido) 5-15%
Glucosa o NaCl 0.9%
Yema de huevo 5-15%
Agua destilada

DMSO: Dimetil sulfoxido $(CH_3)_2SO$.
Glucosa: Dextrosa Anhydrous $(HOCH_2CH(CHOH)_40)$.
Yema de huevo fresco y sin centrifugar.
Agua destilada

Crioprotector 2

Metanol	5-10%
Leche en polvo	5-15%

El diluyente se prepara en frascos plásticos estériles.

La proporción de dilución para las diferentes especies de peces varía desde 1:1, 1:3, 1:5, 1:8, 1:10, de semen: diluyente. La mezcla se puede hacer en bolsas plásticas, a temperatura ambiente o manteniendo el crioprotector refrigerado a 4°C.

5. EVALUACIÓN SEMINAL

Para la criopreservación es indispensable contar con semen de buena calidad, para ello se hace necesario realizar la caracterización de este, ya que cada especie tiene características seminales específicas y es necesario conocerlas para determinar sus rangos óptimos, antes de empezar el proceso de criopreservación.

La caracterización seminal de una especie constituye un elemento fundamental para la evaluación de gametos, siendo un instrumento valioso tanto para la reproducción como para la identificación de líneas genéticas deseadas en acuicultura.

5.1 TOMA DE MUESTRA

Luego de ser capturados los machos pueden ser anestesiados, por ejemplo con quinaldina, en una concentración de 0.5 ml /20 litros. Una vez que los peces empiezan a perder el equilibrio, se retiran del recipiente y para facilitar su manipulación se sujetan con la ayuda de una toalla por la aleta caudal y se les cubren los ojos para mantenerlos más tranquilos. O se pueden trabajar sin anestésico, teniendo cuidado de mantener los ojos bien cubiertos para evitar estresar al animal. El reproductor se puede colocar en una espuma húmeda en ángulo de 45° para mantenerlo más tranquilo, luego se seca completamente la parte ventral con toallas de papel para evitar el riesgo de activación del semen con agua (Alderson y Macneil, 1984 y Steyn *et al.*, 1989).

Para la recolección de la muestra generalmente se hace un suave masaje y extrusión antero- posterior a la altura de las gónadas hasta el poro genital, tal como lo recomienda Rodríguez (1992), aunque en algunas especies como el Mapurito (*Callophysus macropterus)* este procedimiento se puede presentar altamente complicado por la ubicación de las gónadas, el semen se recolecta en una jeringa estéril de 1 ó 5 ml, con este sistema se evita la contaminación del semen, pues al caer orina, heces fecales o sangre, estas pueden ser fácilmente desechadas sin necesidad de eliminar la porción de la muestra ya recolectada (González, 1994).

Una vez obtenida la muestra, se determina la talla y el peso del pez para llevar un registro morfométrico de cada individuo y el reproductor puede ser entonces devuelto al estanque o al río. Se recomienda realizar la evaluación de las características macroscópicas y microscópicas del semen, dentro de los 5 minutos siguientes a la recolección, aunque las muestras recolectadas se pueden mantener en temperaturas bajas (4° C), durante algunas horas, pero se debe tener cuidado de evitar el contacto con agua, porque el semen se activa y ya no sirve para criópreservar.

5.2 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

Dentro de las características fisicoquímicas a tener en cuenta se encuentran:

El volumen que se mide con jeringas desechables de 1 y 5 ml (dependiendo de la cantidad de semen que se pueda recolectar de la especie) y una vez recolectado se deposita en bolsas plásticas estériles para continuar con su análisis.

El color del semen que indica si ha ocurrido contaminación en la toma de la muestra, ya que el semen puede salir mezclado con sangre (tonalidades de rosado a rojo) o con orina (se ve aguado y con tonalidades amarillentas). El color se determina por observación directa. El semen de algunas especies presenta color blanco como es el caso de cachama blanca *(Piaractus brachypomus)* y otras crema como el bagre rayado (González y Fresneda, 2000) y el capitán de la sabana (González, 2001).

El pH se puede medir agregando una gota de semen sobre papel indicador anotando la correspondiente variación de color observada en el papel, o con un potenciómetro digital de alta sensibilidad, colocando el sensor en el fluido

seminal. Generalmente el pH del semen en peces es neutro 7 ó muy cercano a él, sin embargo hay especies como el capitán de la sabana que presenta un amplio rango en su pH (entre 6 y 8.5) sin que se afecte, esta variación está dada por las condiciones del medio en el que se encuentra (González, 2001).

El aspecto del material seminal se describe como: cremoso, lechoso o acuoso, en relación con la concentración de espermatozoides y se determina por observación directa.

5.3 Características Microscópicas

Esta serie de parámetros se evalúan con la ayuda de un microscopio de luz directa y dentro de ellas se encuentran:

La Motilidad en porcentaje de células vivas que se deslizan en cualquier dirección, sin importar la velocidad a que lo hagan (Sorensen, 1982), se coloca una gota de semen sin diluir sobre una lámina porta-objetos, se realiza un extendido y se observa al microscopio para verificar, en primera instancia, la inactividad del esperma. Se agrega una gota de agua para activarlo y se observa inmediatamente, asignando una calificación en porcentaje.

Si los porcentajes de motilidad superan el 80%, se realizan pruebas para la Motilidad en tiempo para lo cual, con la ayuda de un cronómetro se procede a medir el tiempo desde el momento de la activación con agua o solución salina hasta que la mayoría de espermatozoides cesan sus movimientos o presentan un leve temblor. Se reconocen básicamente tres movimientos: uno rápido y vibrante con el mayor poder fecundante, un segundo en que la vibración generalmente decae y un tercero en el que cesa todo movimiento (Rodríguez, 1992). El tiempo de motilidad varia de acuerdo con la especie y al activador que se utilice, soluciones salinas como cloruro de sodio y bicarbonato de sodio a bajas concentraciones prolongan por algunos minutos la motilidad en peces de agua dulce.

La prueba de Vitalidad para determinar el número de espermatozoides vivos y muertos se hace por coloración selectiva Nigrosina-Eosina para espermatograma (Cecolfes, 1988), preparando las soluciones, así :

Solución de Eosina:

0.4 g de eosina amarilla en 50 ml de solución buffer fosfato pH 7

Solución de Nigrosina:

5 g de nigrosina en 100 ml de agua destilada

La mezcla final contiene 14 m l de solución de eosina y 50 ml de solución de nigrosina. Con una proporción 1:1 (semen: colorante) se realiza un extendido sobre un porta-objetos, se deja secar a temperatura ambiente y se observa en microscopio, haciendo un conteo para obtener el porcentaje de células vivas. Los espermatozoides vivos no absorben el colorante, mientras que los espermatozoides muertos se colorean de rojo y son en apariencia más grandes y redondos.

Otra técnica empleada para observar la vitalidad en peces es tinción vital CFDA, la cual se observa por microscopia de epifluorescencia, donde las células viables fluorescen (Wheeler y Thorgaard, 1992).

La concentración de espermatozoides indica la cantidad de células espermáticas maduras por unidad de volumen. Debido al elevado número de espermatozoides que presentan los peces, para el conteo se hace indispensable realizar una dilución, para la cual se puede utilizar la recomendada por Kavamoto (1986) de 1:5000 ó 1:2000 del semen con respecto al diluyente que puede ser la solución diluyente de Coffin (bicarbonato de sodio 5 g, formol 1 cc, agua destilada 100 cc) o solución ringer formol al 10 % (Cecolfes, 1988) con las que se hidratan los espermatozoides y se observan mejor. Luego de la dilución se obtiene una muestra homogénea y con la ayuda de una pipeta se llenan los canales de la cámara de Neubauer, a la cual se le ha colocado el porta-objeto; se deja decantar durante 10 minutos contando por duplicado cada muestra y se saca el promedio y se calcula el número de espermatozoides por mililitro (ml) con la siguiente fórmula:

$$N = \frac{Y}{A \times B \times C} \times 1000$$

N = Espermatozoides / ml
Y = Espermatozides contados
A= Superficie contada (mm^2)
B= Profundidad de la cámara (mm)
C= Dilución
1000 = Factor de transformación de mm^3 a cm^3

La Morfología es descrita generalmente con ayuda de la técnica de Coffin (Rodríguez, 1992):

Método

1. Preparar un frotis delgado sobre un porta-objetos.
2. Fijar por aire y calor.
3. Agregar cloramina al 1% dejando por varios minutos para extraer el moco.
4. Lavar con agua y a continuación con alcohol al 95%.
5. Secar con papel secante.
6. Teñir de 2 a 5 minutos con colorante preparado con fucsina fenólica de Ziehl Nielsen, dos partes; solución alcohólica concentrada de eosina, una parte y el alcohol al 95.
7. Lavar con agua.
8. Teñir para contraste con azul de metileno de Loeffle por el lapso de unos segundos.
9. Lavar con agua y observar al microscopio.
10. Observar al microscopio

Las cabeza de los espermatozoides se tiñen de púrpura, las colas y porciones intermedias, en rosa o rojo. El examen es importante debido a que las muestras que presentan un porcentaje elevado de formas anormales tienden a ser de baja fertilización.

Se puede observar la morfología de los espermatozoides por microscopia electrónica por medio de tinción negativa y microscopia de transmisión donde se pueden hacer cortes de las cabezas y colas de los espermatozoides, para observar las estructuras internas con la metodología descrita por Dykstra (1992).

Así mismo, se han venido realizando ensayos para evaluar la posibilidad de estandarización de métodos de análisis de semen asistido por computación en especies de peces, con lo cual se elimine la subjetividad asociada con el observador. Se han hecho pruebas con el programa IVOS de Hamilton Thorne y hasta el momento aunque se obtuvieron resultados prometedores se ha encontrado como principal obstáculo el pequeño tamaño de los espermatozoides de las especies trabajadas *(Piaractus brachypomus, Pseudoplatystoma fasciatum)* (González, 2000).

6. CONGELACIÓN

Las proporciones de dilución semen: diluyente varían comúnmente de 1:1 a 1:10, la temperatura de congelación más utilizada es aquélla que se obtiene con nitrógeno líquido (-196°C) (IFGB, 1996) y la descongelación puede ser gradual (Ritar y Campet, 1995; Wayman *et al.*, 1996 y Gwo, 1994) o en un solo paso (IFGB, 1996).

El semen se coloca en pajillas especiales plásticas, marcadas y selladas en uno de sus extremos, se pueden utilizar pajillas de 0.25 ml, 0.5 ml, 1 ml, es importante establecer un sistema de marcaje y codificación de las muestras.

Existen varias formas para disminuir la temperatura del semen-diluyente desde temperatura ambiente hasta -196°C (nitrógeno líquido). Se puede utilizar un termo seco de 4 litros (mantiene un descenso de temperatura gradual) (IFGB, 1996) por algunos minutos. También se pueden realizar diferentes curvas de congelación desde temperatura ambiente pasando por hielo (algunos minutos), nevera a -4 grados, hielo seco, vapores de nitrógeno líquido. O se

pueden utilizar mecanismos con termómetros digitales en vapor de nitrógeno líquido, así también existen mecanismos totalmente computarizados que van informando el descenso de la temperatura grado por grado.

7. ALMACENAMIENTO

Existen termos especialmente diseñados para mantener nitrógeno líquido, hay termos portátiles de hasta 35 litros, el tiempo que un termo puede mantener su temperatura de -196°C varía según el tamaño del termo y su diseño. También se pueden encontrar termos secos en los cuales el nitrógeno líquido es absorbido en un material poroso, ideal para el transporte.

8. DESCONGELACIÓN

Para retornar las muestras de semen criopreservado a valores de temperatura normal, adecuados para fertilizar los huevos recién obtenidos existen diferentes métodos, como el propuesto por: Alderson y Macneil (1984); Ritar y Campet (1995); Wayman *et al.* (1996) y Gwo (1994), sumergiendo la pajilla en agua precalentada de 40 a 60 grados centígrados durante varios segundos o el de IFGB (1996), pulverizando la pajilla y adicionando inmediatamente a los huevos.

9. PRUEBAS DE EFECTIVIDAD

Una prueba es el porcentaje de motilidad post-descongelación, para lo cual es ideal poder medir la osmolaridad de las pajillas, para obtener el valor de la concentración de sales en la mezcla semen crioprotector, con la que se puede preparar la solución activadora y lograr los mayores porcentaje de fertilización. Sin esta medida sería necesario realizar una serie de pruebas con diferentes concentraciones del activador para identificar la concentración que proporciona los mayores porcentajes de motilidad post-descongelación.

La otra es la prueba de fertilización, para la que se necesitan huevos de hembras maduras previamente seleccionadas, se colocan en cajas de petri, en número de 100 a 1000 unidades por muestra, realizando pruebas para identificar la proporción ideal huevo/semen. Se tiene una muestra control, la cual se fertiliza con el semen fresco de un macho maduro, con el fin de obtener un parámetro de comparación sobre la calidad de los huevos. Las muestras restantes se fertilizan con el semen criopreservado.

Por lo general se requiere de una solución activadora para el esperma congelado que sirva de medio adecuado para la supervivencia del semen luego del proceso y ayude a inducir o iniciar la motilidad. Estas soluciones corresponden a sales como $NaHCO_3$ o NaCl. Con la ayuda de una pluma se realiza una mezcla homogénea de huevos y esperma, después de 10 minutos, se agrega agua hasta cubrirlos, dejando 10 minutos más en reposo, tiempo en que se inicia la hidratación y se cierra el micropilo; finalmente se procede al lavado y se deja en agua limpia durante media hora para que se hidraten completamente, antes de proceder a ubicarlos en las respectivas incubadoras, la cual se adelanta de acuerdo con la especie a trabajar; se hará conteo en fase de alevinaje, observando características fenotípicas para buscar anormalidades.

10. CRIOPRESERVACIÓN DE ESPERMA DE PECES EN COLOMBIA

Específicamente en Colombia los trabajos sobre el particular son escasos y en el momento se cuenta principalmente con evaluaciones seminales, como la de Piñeros (1990); caracterización, congelación y pruebas de fertilización de semen de cachama blanca, *Piaractus brachypomus* (Neira, 1991; Caleño, 1995 y González *et al.*, 1998); caracterización del semen de bocachico, *Prochilodus reticulatus* (Bernal y Uribe, 1993); refrigeración y criopreservación de esperma de trucha arcoiris, *Oncorhynchus mykiss* (González, 1994) y caracterización y congelación de semen de bagre rayado, *Pseudoplatystoma fasciatum* (Brand, 1996).

El Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA) y la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano están realizando una serie de investigaciones tendientes a estandarizar la técnica de criopreservación de semen de especies tropicales como la cachama blanca y el bagre rayado (González *et al.*, 1998; González y Fresneda, 2000 y González, 2001). También se está realizando la criopreservación del semen de Capitán de la Sabana con el propósito de conservar esta especie (González, 2001). El instituto de acuicultura de la Universidad de los Llanos está adelantando investigaciones en la criopreservación del semen de yamú (Cruz *et al.*, 2001 y Lombo *et al.*, 2001).

Hasta el momento se han obtenidos los siguientes resultados con *Piaractus brachypomus, Pseudoplatystoma fasciatum* y *Eremophilus mutisii:* 1) una metodología rápida y efectiva para la toma de muestras, 2) unos procedimientos estandarizados para la caracterización fisicoquímica y microscópica del semen, 3) medidas morfométricas e identificación de estructuras internas por microscopía electrónica de los espermatozoides, 4) la identificación de diluyente, concentración y dilución que proporcionan los mayores porcentajes de motilidad post-descongelamiento, 5) porcentajes de eclosión del 25 % para cachama y del 16.6 % para bagre rayado y por último se tiene un banco experimental de semen de cachama blanca, bagre rayado y capitán de la Sabana.

Si bien las bondades de la técnica utilizada bajo criterios claros y bien fundamentados son evidentes, su aplicabilidad a especies tropicales está aun en fase experimental y el desarrollo de programas de investigación para su estandarización se presenta como un gran aporte a las necesidades de autonomía en el manejo de herramientas de protección del patrimonio genético y su incidencia en el aprovechamiento económico y preservación de los recursos pesqueros del país.

BIBLIOGRAFÍA

ADELMAN, M. y E. CAHILL. 1989. Atlas of Sperm Morfhology. ASCP press. Chicago.123 p.

ALDERSON, R. y A. J. MACNEIL. 1984. Preliminary investigations of cryopreservation of milt of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) and is application to commerical farming. Aquaculture, 43: 351-354.

ASHWOOD-SMITH, M.J. 1967. Radioprotective and cryoprotective properties of dimethyl sulfoxide in cellular systems. Annals of the New York Academy of Sciences, 141: 45-62.

ASHWOOD-SMITH, M.J. y P. LOUGH. 1975. Cryoprotection of mamamlian cells in tissue culture with methanol. Cryobiology, 12: 517-518.

ASHWOOD-SMITH, M.J.; C. WARBY; K.W. CONNOR y G. BECKER. 1972. Low-temperature preservation of mammalian celtas in tissue culture with polyvinylpyrrolidone (PVP), dextrans and hydroxyethyl starch (HES). Cryobiology, 9: 441- 449.

BERNAL, W. y M. URIBE. 1993. Caracterización del semen de bocachico *(Prochilodus reticulatus* Steindachner, 1878) y evaluación de la motilidad después de la conservación en frió. Tesis Facultad Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 131p.

BOUTRON, P. y A.. KAUFMANN. 1979. Stability of the amorphous state in the system water -1,2 propanediol. Cryobiology, 16: 557-568.

BRAND, O. 1996. Caracterización y preservación del semen del bagre rayado *(Pseudoplatystoma fasciatum* Linnaeus, 1766). Tesis Facultad Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 131 p.

CALEÑO, 0. 1995. Pruebas de fertilidad con semen de cachama blanca *(Piaractus brachypomus,* Cuvier, 1818) criopreservado mediante dos extendidos diferentes. Tesis Facultad Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 131p.

CECOLFES, 1988. Espermograma. Laboratorio de Andrología. Centro Colombiano de Fertilidad y Esterilidad. Bogotá. 13 p.

CONNOR, W. y M.J. ASHWOOD-SMITH. 1973. Cryoprotection of mammalian celts in tissue culture with polymers; possible mechanisms. Cryobiology, 10: 488-496.

CRUZ, P.; S. PARDO; J. ARIAS; J. PARDO y D. LOMBO. 2001. Fertilidad de semen de yamú *(Brycon siebenthalae)* criopreservado con DMSO y activado con bicarbonato de sodio. Memorias de la segunda reunión Red Nacional de Acuicultura. Cartagena 2001.

DYKSTRA, M. J. 1992. Biological Electron Microscopy. Plenum Press New York and London. 360 p.

GONZÁLEZ, O. E. 1994. Refrigeración y Criopreservación de esperma de trucha arcoiris *(Onchorynchus mykiss)* a corto y largo plazo. Tesis de grado. Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano.

GONZÁLEZ, 0. E. 2001. Criopreservación de semen de Capitán de la Sabana y pruebas de fertilización con semen de cachama blanca *(Piaractus brachypomus)*. Informe de Investigación III Fase. Proyecto CICAM UJTL INPA.

GONZÁLEZ, O.E; J. DíAZ y R. LARA. 1998. Criopreservación de semen de cachama blanca *(Piaractus brachypomus)* en el río Meta (Orinoquia Colombiana). Informe de Investigación I Fase. Proyecto del CIC- UJTL- INPA. Informe de Investigación.

GONZALÉZ, O.E. y A. FRESNEDA. 2000. Criopreservación de semen de bagre rayado *(Pseudoplatystoma fasciatum)* y pruebas de fertilización con semen criopreservado de cachama *(Piaractus brachypomus)*. Informe de Investigación, II Fase. Proyecto CIC- UJTL - INPA.

GRAHAM, J.K. y R.H. FOOTE. 1987. Effect of severallipids, fatty acyl chain length, and degree of unsaturation on the motility of bull spermatozoa after cold shock freezing. Cryobiology, 24: 42-52.

GWO, J. 1994. Criopreservation of yellowfin seabream *(Acanthopagrus latus)* spermatozoa (teleost, perciforme, Sparidae). Theriogenology, 41 (5): 989-1004.

HAFEZ, E. S. E., 1986. Reproducción e inseminación artificial en animales. Cuarta edición. Interamericana S. A. México. 253 p.

HARVEY, B. 1983. Cryopreservation of *Sarotherodon mossambicus* spermatozoa. Aquaculture, 32: 313-320.

HARVEY, B. y M.J. ASHWOOD-SMITH. 1982. Cryoprotectant penetrartion and supercooling in the eggs of salmonid fishes. Cryobiology, 19: 29-40.

HARVEY, B. J. y R. N. KELLEY. 1988. Practical methods for chilled and frozen storage of tilapia spermatozoa. The second internation el symposium on Tilapia in Aquaculture. Department of Fisheries, Bangkok, Thailand and Intemational Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines. 187-189 p.

INTERNATIONAL FISHERIES GENE BANK (IFG8). 1996. Conservación gen ética de peces. Manual de entrenamiento. Victoria. BC. Canadá.

JAMIESON, B. 1990. Fish Evolution and Systematics: Evidence from Spermatozoa. Cambridge University Press. Cambridge. 319p.

KAVAMOTO, E.T. 1986. Avalicao macro e microcopica do semen do truta arco iris *Salmo irideus gibbons*. Bull. Inst. Pesca Sao Paulo, 13 :1.

KNIGHT, C.A. y J.C. DUMAN. 1986. Inhibition of recrystallization of ice by insect thermal hysteresis proteins: a possible cryoprotective role. Cryobiology, 23: 256-262.

LOMBO, D.; J. PARDO y P. CRUZ. 2001. Primeras larvas de yamú *(Brycon siebenthalae)* de semen criopreservado en la Universidad de los Llanos Memorias de la segunda reunión Red Nacional de Acuicultura. Cartagena 2001.

MERYMAN, H.T. 1968. Modified model for the mechanisms of freezing injury of erythrocytes. Nature, 218: 333-336.

NEIRA, J. 1991. Caracterización y Congelación de semen de Cachama Blanca *(Piaractus brachypomum)*, Tesis Universidad Tecnológica de los Llanos, Villavicencio. 110 p.

PIÑEROS, P. R. 1990. Evaluación de esperma de trucha arcoiris *Oncorhynchus mykiss* en la selección de machos reproductores. Tesis Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia. 63 p.

RENARD, J. P. y C. BABINET. 1984. High survival of mouse embryos after rapid freezing and thawing in side plastic straws sith 1,2 -propanediol as cryoprotectant. Journal of Experimental Zoology, 230: 443-448.

RENARD, J.; B. NGUYEN y V. GARNIER. 1984. Two-step freezing of two-cell rabbit embryos after partial dehydration at room temperature. Journal of Reproduction and Fertility, 71: 573-580.

RITAR, A. y M. CAMPET. 1995. Cryopreservation of sperm from striped trumpeter *Latris lineata*. Proceedings of the fifth intemational simposium on the reproductive physiology of fish the University of Texas at Austin 2-8 july.

RODRÍGUEZ, G. M. 1992. Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces. A.G.T. Editores, S.A. México. 79 p.

SCHNEIDER, U. y P. MAZUR. 1984. Osmotic consequences of cryoprotectant permeability and its relation to the survival of frozen-thawed embryos. Theriogenology, 21: 68- 79.

SORENSE, A. 1982. Reproducción animal Mc. Graw, México. 315 p.

STEYN, G.; J. VAN VUREN y E. GROBLER. 1989. A new sperm diluent for the artificial insemination of rainbowtrout *(Salmo gairdneri)*. Aquaculture, 83: 367-374.

WAYMAN, W.; R. THOMAS y T. TIERSCH. 1996. Cryopreservation of sperm of spotted seatrout *(Cynoscionnebulosus)*. Gulf Res. Rep., 9(3): 183-188.

WHEELER, P. y G. THORGMRD. 1992. Measurement of quality factors affecting fertility of cryopreserved rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) semen. 233-244 p. Aquaculture- 92 Growing Toward the 21 St Century. 21-25 mayo de 1992.

Capítulo XII. CULTIVO DE CAMARÓN DE AGUA DULCE (*Macrobrachium rosembergii*)

Luis E. Martínez Silva[1]
Martha J. Torres Virviescas[2]

1. DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

El cuerpo del camarón, como todos los artrópodos, está revestido por un exoesqueleto llamado caparazón. Este revestimiento cuticular está constituido principalmente por un componente llamado quitina y en los crustáceos esta película está endurecida por el Carbonato de Calcio.

Su cuerpo se divide en tres partes distintas: Cefalotorax, abdomen y telson. Los dos primeros están formados en total por 19 segmentos (13 en el cefalotorax y 6 en el abdomen), a cada uno de estos corresponde un par de apéndices o estructuras denominadas anténula, antena, mandíbula, primera y segunda maxila; primero, segundo y tercer maxilípedo, quela, patas caminadoras o pereiópodos y pleópodos o apéndices natatorios. Las anteriores estructuras cumplen funciones bien distintas, unas como órganos sensitivos, otras como aprensores, trituradores de alimentos, locomoción, actividades sexuales, defensa y órganos natatorios (Fig. 1).

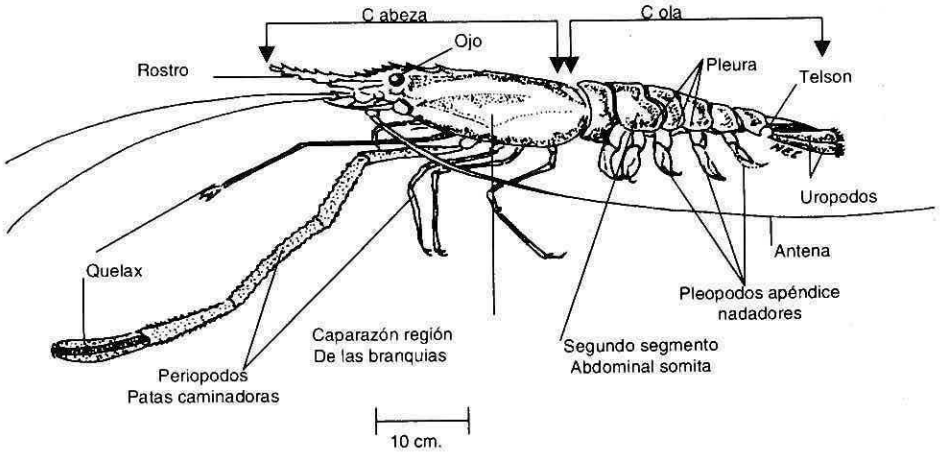


FIGURA 1. Algunas partes del cuerpo del camarón de agua dulce

2. ASPECTOS GENERALES DE SU BIOLOGÍA

En el medio natural cuando los animales van a desovar, bajan con la corriente de los ríos hasta las desembocaduras próximas al mar y allí nacen las larvas, las cuales requieren de agua salada para sobrevivir (en un rango entre 12 y 17 partes por mil de salinidad). Luego, cuando disminuye la corriente en los ríos, las postlarvas y juveniles ascienden por el cauce de éstos y penetran en el agua dulce propiamente dicha para llegar a la madurez sexual (Fig. 2).

---

[1] Biólogo marino, Gerente técnico laboratorio de producción de semilla Rancho Chico, Cartagena.

[2] Bióloga marina, Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, INPA. Cartagena.

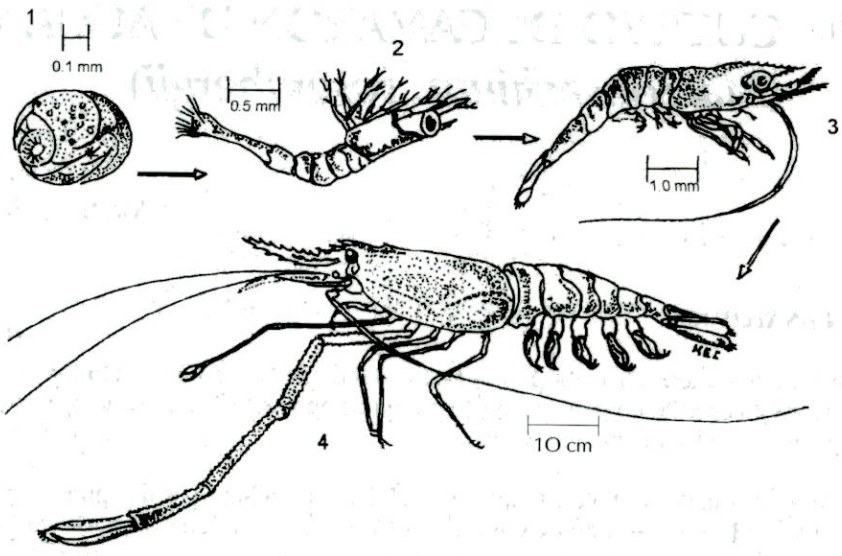


FIGURA 2. Ciclo de vida del camarón de agua dulce. 1. Huevo, 2. Larva, 3. Post-larva, 4. Adulto

2.1 Hábitos alimenticios

Son de régimen omnívoro, comen frecuentemente y de manera voraz material animal y vegetal. Los alimentos principalmente consisten en trozos de carne, vísceras de peces, pequeños moluscos y crustáceos; insectos acuáticos y larvas de insectos; semillas, granos, pulpa de frutas. Además, en cautiverio aceptan alimento balanceado para camarones, aves y peces. Cuando estos alimentos no están disponibles se nutren de algas, así como de hojas y tallos tiernos de plantas acuáticas.

Bajo condiciones de cultivo cuando la cantidad de alimento que se les proporciona no es suficiente y debido a su voracidad, se convierten en caníbales; esta tendencia no ha sido observada en las hembras.

2.2 Muda y desarrollo

Al igual que todos los artrópodos, el cuerpo entero del camarón, incluyendo sus apéndices, está cubierto por un caparazón fuerte y duro que impide la expansión del cuerpo del animal. Por esta razón la muda es un proceso necesario que facilita el aumento de su tamaño.

Cuando el camarón ha acumulado la suficiente cantidad de tejido para el crecimiento, un nuevo caparazón delgado, suave y elástico se desarrolla gradualmente debajo de la cutícula vieja. Una vez que está completamente desarrollado, el camarón busca un lugar protegido para mudar. Esto se realiza en forma rápida y generalmente se completa en 5 minutos. El nuevo exoesqueleto tarda de 3 a 6 horas en volverse lo suficientemente duro.

La frecuencia de la muda depende de la edad del ejemplar, de la cantidad y calidad del alimento ingerido. Todas las hembras sexualmente maduras mudan antes de que el apareamiento y desove tengan lugar.

2.3 Reproducción

2.3.1 Características de machos y hembras adultos

Los machos son considerablemente más grandes que las hembras, con el segundo par de extremidades torácicas o quelas muy largas y gruesas, cabeza de gran tamaño, abdomen compacto y órganos genitales localizados en la base de la quinta extremidad torácica.

Las hembras son más pequeñas, el segundo par de extremidades o quelas más cortas y delgadas, con un cámara de incubación debajo del abdomen formada por la prolongación de la pleura abdominal y los pleópodos; los órganos genitales están localizados en la base de la tercera extremidad torácica (Fig. 3).

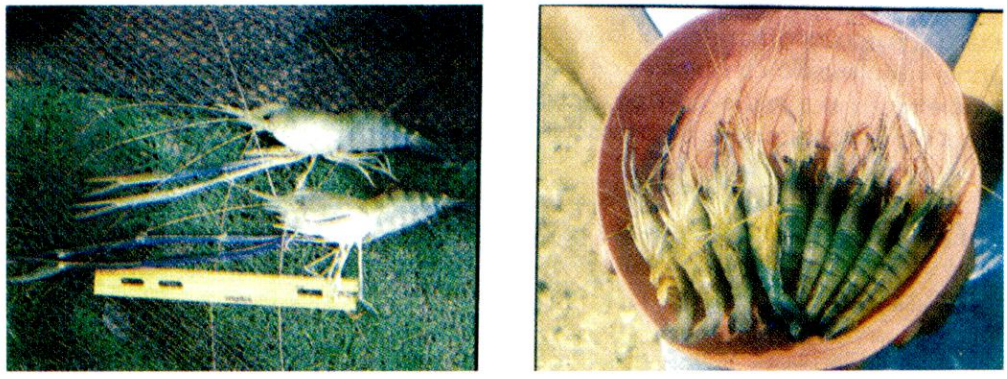


Figura 3. Ejemplares de camarón de agua dulce

2.3.2 Apareamiento y desove

El macho inicia el cortejo y se continúa durante 10 a 30 minutos rodeando a la hembra con sus extremidades más largas y al mismo tiempo limpiándole la región ventral del toráx con otros apéndices; seguidamente ocurre la cópula, que dura unos pocos segundos. Durante el apareamiento el macho transfiere a la hembra una masa gelatinosa blanca, que contiene los espermatozoides, la cual se adhiere a la región ventral del tórax de la hembra.

El proceso de desove se presenta aproximadamente entre 6 a 20 horas después del apareamiento. Durante la puesta de los huevos, el cuerpo de la hembra se encorva hacia adelante lo suficiente para tener un íntimo contacto con la porción ventral de la región torácica; los huevos descienden de los ovarios a través de los oviductos y son expulsados por los poros genitales que se encuentran en la base del tercer par de pereiópodos a la cámara de incubación, ubicada entre el cuarto y primer par de pleópodos. Los huevos se adhieren a las cerdas de éstos por medio de una sustancia membranosa elástica, donde son mantenidos aireados por vigorosos movimientos de los apéndices natatorios.

2.4 INCUBACIÓN

Una hembra de *Macrobrachium rosembergii* puede dar de 5000 a 100000 huevos, desovando tres a cuatro veces al año en condiciones naturales y en laboratorio dos veces en 5 meses.

Los huevos recién puestos son de color naranja brillante y ligeramente ovalados, de un diámetro de 0.6 a 0.7 mm. Luego van cambiando de color gradualmente en la medida que avanza el desarrollo embrionario hasta un gris aceituno, que es cuando la larva completa su formación dentro del huevo.

Después del desove, se inicia la incubación que dura de 18-20 días, dependiendo de la temperatura. La hembra efectúa diariamente la limpieza de los huevos con ayuda del primer par de quelas y reacomodando las masas de aquellos que se desprenden.

2.5 DESARROLLO EMBRIONARIO

Después de fertilizados los huevos, ocurre la primera división del núcleo a las 4 horas, las subsiguientes a intervalos de 1.5 a 2 horas, completándose este proceso a las 24 horas. Al segundo día se forma la placa ventral, los

rudimentos de las diferentes regiones del embrión aparecen al tercer día. En el cuarto día se forman las vesículas o apéndices. Las vesículas ópticas se desarrollan durante el séptimo día y el pigmento de los ojos al finalizar el octavo. Al décimo día aparecen los cromatóforos y se forma el corazón el cual empieza a latir. El embrión está bien formado al doceavo día, alcanzando su desarrollo total entre los 18-20 días.

3. DESARROLLO LARVAL

3.1 Generalidades

Las larvas son estuarinas, en todos sus estadíos son voraces, comen continuamente el alimento disponible. Su alimento natural es el zooplancton y pequeñas partículas de material vegetal y orgánico. En el laboratorio se alimentan con nauplius de artemia y un flan de huevo, levadura, leche, pescado, etc.

Durante su desarrollo pasan por 11 estadíos, después sufren una metamorfosis pasando a postlarva, la cual presenta todas las características de un camarón adulto. Del primero al quinto estadío, cada muda resulta en un nuevo estadío; del sexto a postlarva, dos mudas entre dos estados morfológicamente consecutivos.

Las larvas son planctónicas y nadan activamente en forma invertida, con el telson hacia arriba y el cefalotórax hacia abajo; para desplazarse realizan movimientos en espiral. Son atraídas por la luz, pero evitan la iluminación fuerte y brillante. Al parecer las postlarvas se invierten y nadan en dirección contraria a la corriente buscando el fondo.

3.2 Características diferenciales de los estados larvales

Con el propósito de suministrar una idea general para diferenciar los 11 estadíos larvales, se anotan a continuación los rasgos morfológicos más importantes que sirven para identificar cada uno (Figs. 4, 5 y 6).

ZOEA I: Ojos sésiles; telson carente de urópodos con 7 pares de espinas; seis somites abdominales, tres pares de apéndices torácicos. Edad en días: 0-1.

ZOEA II: Ojos pedunculados; espina supraorbital prominente; telson con 8 pares de espinas; en un estado más avanzado presenta señales rudimentarias de los futuros urópodos. Están presentes 5 pares de apéndices torácicos. Edad en días: 3.

ZOEA III: El rostro con 2 dientes dorsales, aparecen las espinas branquiostegales; urópodos birrámeos, endopodito rudimentario, exopodito presenta 6 plumas con setas. Edad en días: 5.

ZOEA IV: Los dos dientes del rostro están claramente definidos; telson rectangular, con cinco pares de espinas posteriores y tres pares laterales, el exopodito de los urópodos tiene más o menos 8 plumas y una pequeña espina lateral, endopodito desarrollado con plumas setosas. Edad en días: 7.

ZOEA V: Telson más largo y estrecho posteriormente, presenta 3 pares de espinas laterales y 5 pares posteriores de las cuales, un par es más largo, 3 pares pequeños y un par diminuto; en los urópodos el número de plumas aumenta en relación al estado anterior. Edad en días: 9.

ZOEA VI: Telson más alargado y angosto, el primer par de espinas posteriores muy desarrolladas; urópodos más alargados que en zoea V aumentando el número de plumas. Edad en días: 12.

ZOEA VII: Pleópodos muy pequeños; telson más alargado y angosto; exópodo de los urópodos con una espina incipiente. Edad en días: 16.

ZOEA VIII: Pleópodos más desarrollados (birrámeos); el exopodito de los urópodos presenta en el margen externo además de las plumas, una espina seguida de cuatro setas y sobre el margen medio interior la presencia de 5 estructuras a manera de pequeñas espinas dispuestas en líneas. Edad en días: 20.

ZOEA IX: Se inicia la formación de quelas, claramente visibles en los pereiópodos I y II; pleópodos con setas en los exopoditos; aumenta la formación de estructuras en los exopoditos de los urópodos. Edad en días: 24.

ZOEA X: Pereiópodos I y II con quelas claramente visibles; pleópodos con setas en los endo y exopoditos; el primer par de espinas laterales se observan dorsalmente sobre el telson. Edad en días: 27.

ZOEA XI: Los pleópodos están más desarrollados; el rostro presenta dorsalmente formaciones dentales incipientes; la estructura setosa de los urópodos aumenta considerablemente. Edad en días: 30.

POST-LARVA: Pleópodos completamente desarrollados; el rostro dentado completamente ventral y dorsalmente; en el telson se observan 2 pares de espinas en posición dorsal; el exopodito de los urópodos presenta una división horizontal a la altura de la espina lateral. Edad en días: 33.

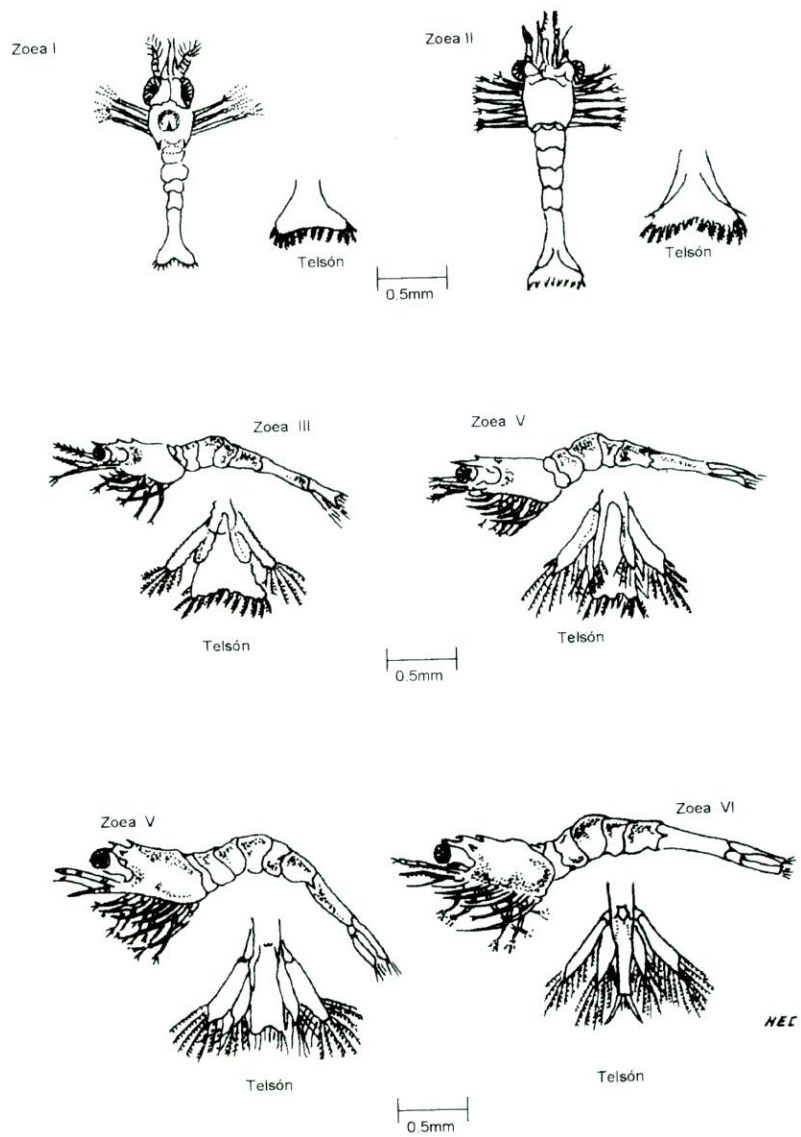


FIGURA 4. Esquemas del desarrollo larval (zoeas) del camarón de agua dulce del género *Machrobrachium* (zoeas I a VI, vista dorso-lateral)

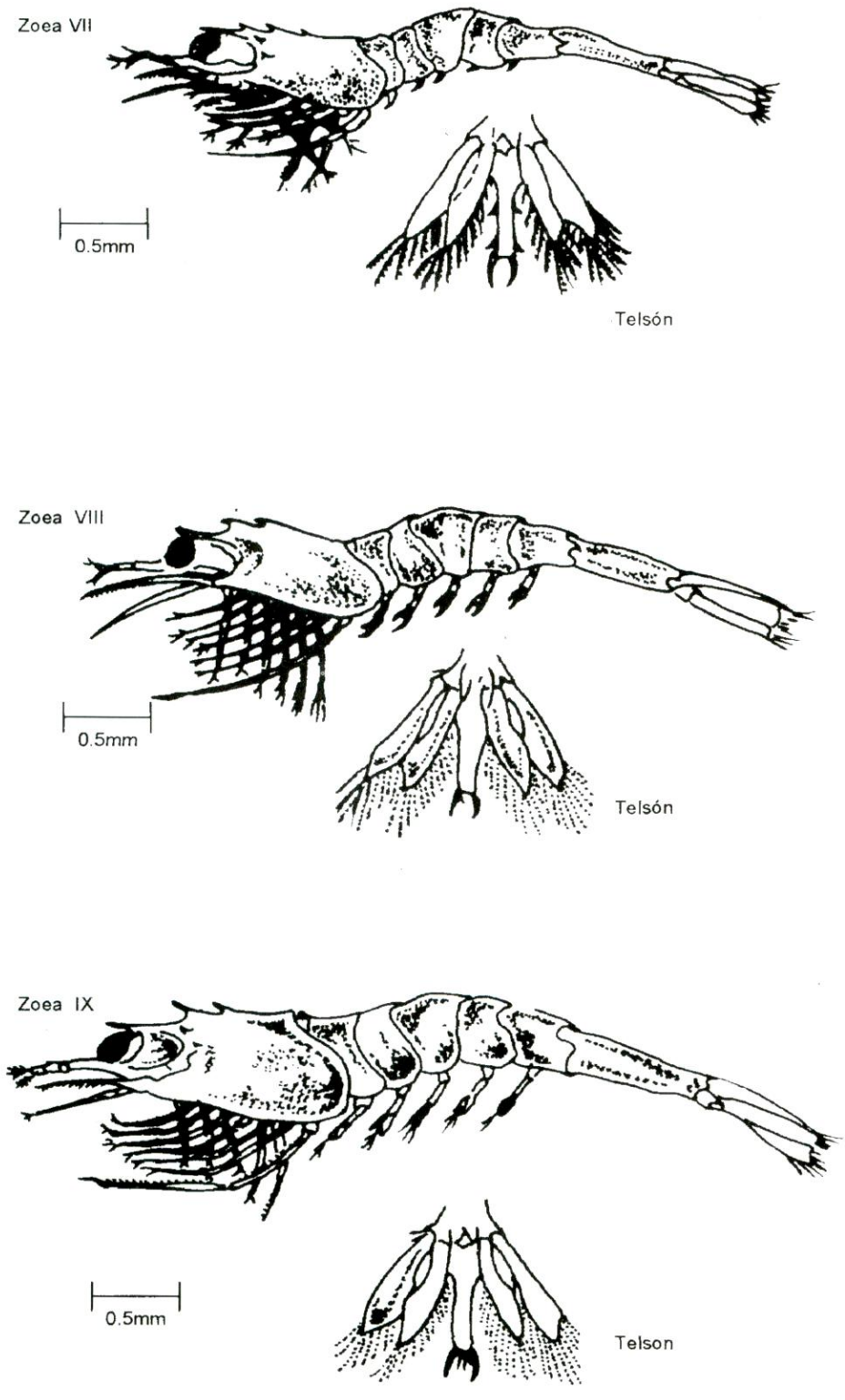


FIGURA 5. Esquemas del desarrollo larval (zoeas) del camarón de agua dulce del género *Machrobrachium* (zoeas VII a IX, vista lateral)

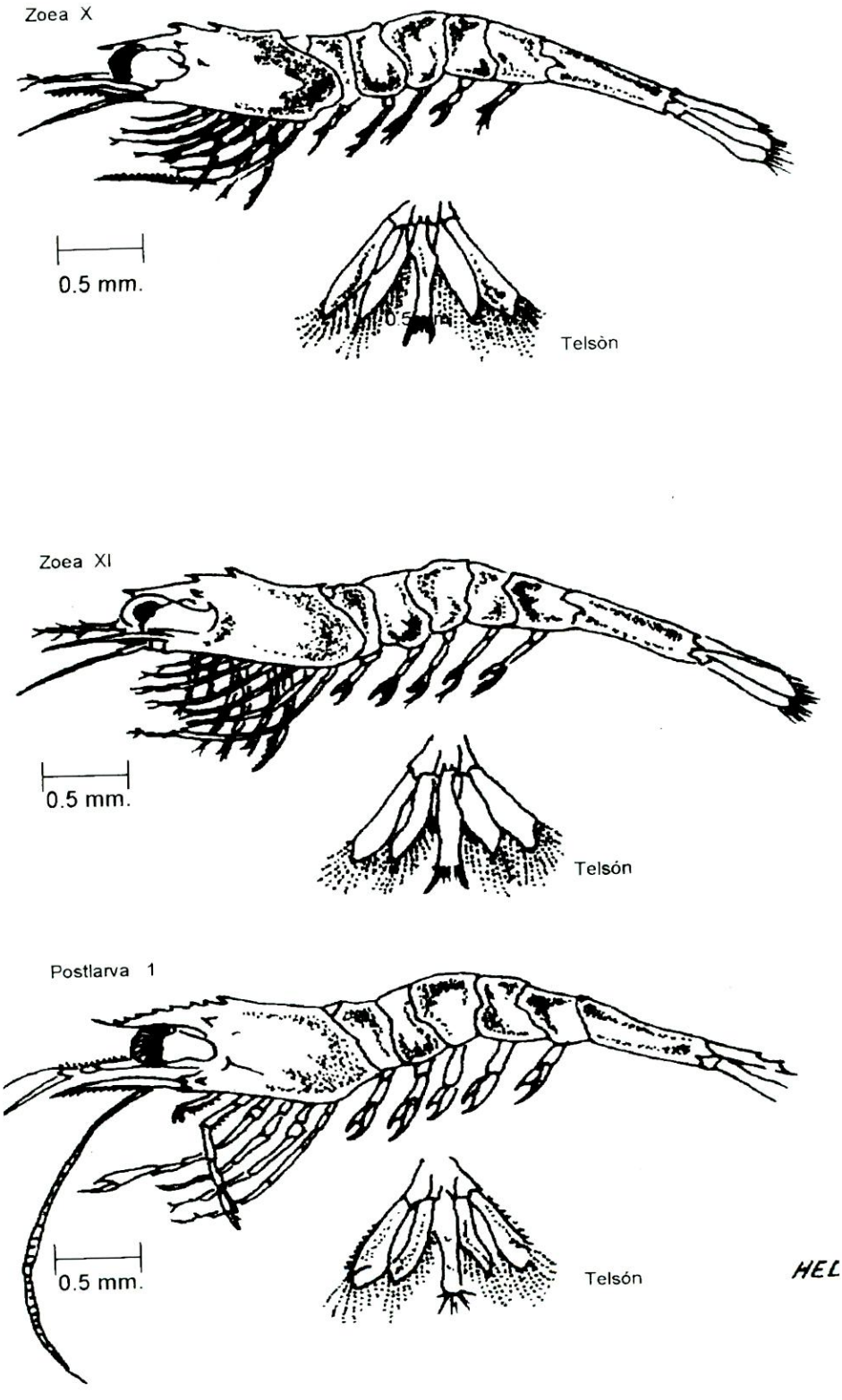


FIGURA 6. Esquemas del desarrollo larval (zoeas) del camarón de agua dulce del género *Machrobrachium* (zoeas X a XI, vista lateral)

4. JUVENILES

La diferencia de este estadío con respecto a las post-larvas está dado por el tamaño del animal y se considera que en un período de 60 días los ejemplares ya se denominan juveniles, los cuales son transparentes, haciéndose difícil observarlos rápidamente, pero en la noche su presencia es fácilmente detectada con la luz de una linterna. Su alimentación está constituida básicamente por pequeños crustáceos, larvas de insectos y una gran variedad de partículas de material orgánico (vegetal y animal). Se desarrollan de una manera muy rápida mudando entre el 5º y 10º día.

En condiciones naturales permanecen en áreas de aguas salobres por 1 ó 2 semanas para migrar luego en contra de la corriente a aguas dulces.

5. CRIA Y CULTIVO

Los camarones de agua dulce del género *Macrobrachium* presentan características apropiadas para cultivo. Los ejemplares adultos son relativamente fáciles de mantener en cautiverio, se pueden reproducir bajo condiciones sencillas de laboratorio y se adaptan fácilmente a amplios rangos de temperaturas.

De los reproductores que se obtengan del medio natural o de una cosecha, se seleccionan machos y hembras que presenten las mejores características morfológicas para formar el pie de cría, los cuales se transportan en recipientes adecuados (tanques transportadores) que contengan agua limpia hasta un nivel de un 50 % de su capacidad, con aireación permanente.

También pueden ser llevados a distancias más largas en bolsas dobles de plástico transparentes que contengan agua filtrada y oxígeno, (Fig. 7). Para evitar que las bolsas sean perforadas por el rostrum, quelas y/o el telson de los



FIGURA 7. Transporte de postlarvas de camarón de agua dulce

animales, éstas se recubren con un tubito de caucho; la temperatura del agua de transporte puede ser disminuida hasta 20°C, haciendo uso de cubos de hielo. La proporción de los reproductores en el tanque debe ser de 1 macho por cada 3 hembras. La temperatura del agua debe ser mantenida entre 27 y 30°C y una salinidad entre 0 y 5 %, asegurando una buena aireación mediante el uso de un compresor. El número de camarones a utilizar dependerá del tamaño del estanque, recomendando por cada metro cúbico la proporción anteriormente anotada.

Es necesario proveer en estos estanques medios de protección para los camarones que muden, como pedazos de tubos de plástico, ladrillos con huecos, tejas de barro, etc., con el fin de proporcionar refugios y evitar canibalismo.

Una vez ocurrida la cópula, se drena parcialmente el estanque para que por medio de una red de mano se recolecten las hembras grávidas (portadoras de huevos) que se depositan en tanques especiales de desove.

Los reproductores se alimentan diariamente con dos raciones de carne de calamar, espinacas, trocitos de pescado, en proporción equivalente al 3 % del peso de su cuerpo.

El pie de cría o reproductores debe ser reemplazado oportunamente para evitar el deterioro genético, y por consiguiente la fecundidad de las hembras. Es recomendable reponerlas después de cada segundo desove y a los machos cada 4 meses.

El período de incubación de los huevos es de aproximadamente 19 días. Aunque el nacimiento de las larvas puede efectuarse en agua dulce o salobre, la salinidad recomendable es la de 5 %.

Una vez han nacido las larvas o zoeas, las hembras son retiradas de los tanques de eclosión. Si el desove es total y para colectar las larvas, se sitúan mallas colectoras en forma de copo que quedan suspendidas de los bordes internos del tanque y equipadas con un sistema de circulación del agua denominado «**Air Lift**», que permite mover el agua en una sola dirección y del fondo hacia arriba, que además de capturar las larvas mediante su absorción, las depositan en dichos copos (Fig. 8).

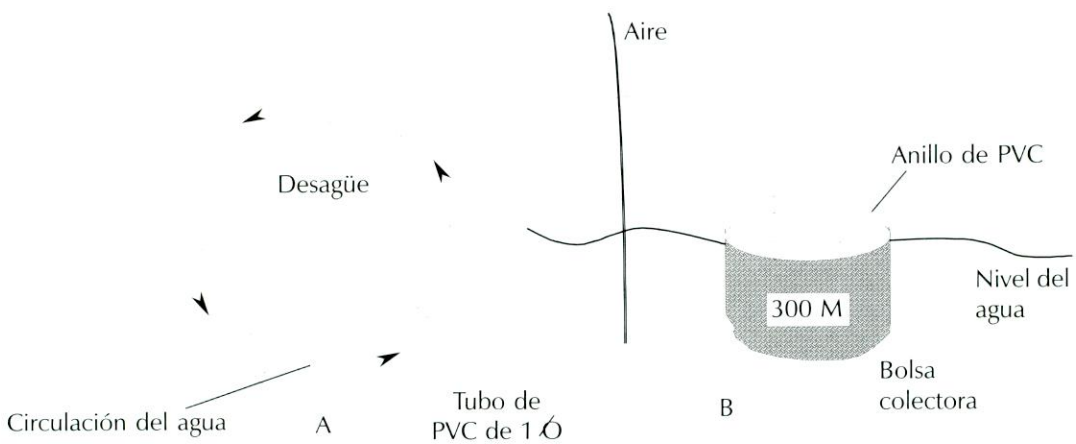


FIGURA 8. A. Diagrama del sistema colector de larvas del tanque de eclosión. B. Detalle de la instalación del sistema Air lift

La revisión de estas mallas colectoras, se debe realizar dos veces al día con el fin de retirar las zoeas, contarlas y colocarlas en el tanque de cría. Las larvas recién nacidas son altamente eurihalinas (toleran amplio rango de salinidad) y se adaptan rápidamente al incremento de una mayor salinidad. Para nuestro caso la salinidad óptima de desarrollo es de 13 %, a la cual se debe llegar lentamente en un tiempo no mayor de 2 horas.

5.1 RECIPIENTES UTILIZADOS PARA LA CRIA DE LARVAS

Los tanques empleados en la reproducción del camarón de agua dulce varían mucho de acuerdo a la tecnología que se tenga, haciendo un tanto difícil efectuar comparaciones del manejo de cada uno de ellos; en éstos, se incluyen recipientes de diversas formas como cilíndricas, de fondo plano, cónicas, rectangulares, cuadradas y de gran de variedad de materiales: fibra de vidrio, concreto, ladrillo, plástico, materiales acrílicos, etc.

Los construidos en cemento, recubiertos con granito blanco, de forma circular y fondo plano, de volúmenes no mayores a 1000 l, son económicos y eficientes. Estos tanques de cría estarán debidamente equipados con aireadores

(piedras aireadoras), colocadas a una distancia de 30 cm que permiten la oxigenación del agua proveniente de un aireador o compresor; además de tubería plástica de llenado de 2 pulgadas y drenajes mediante un sifón de 3 pulgadas de diámetro, previa utilización de un sistema de filtro para evitar el escape de las larvas (Fig. 9).

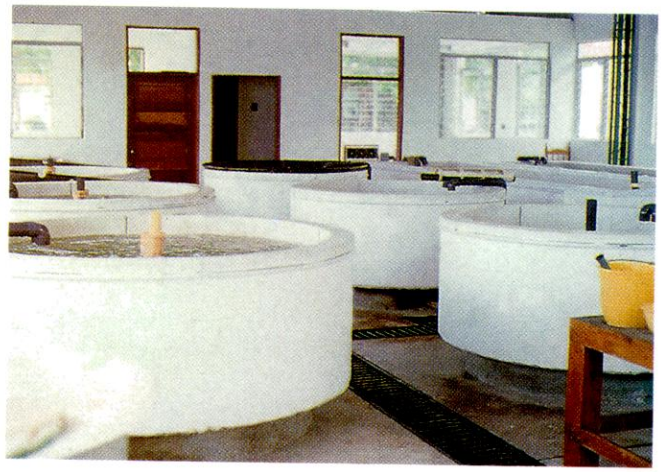


FIGURA 9. Tanques circulares en cemento para producción de larvas en laboratorio.

5.2 Tipos de agua empleadas en larvicultura

Diferentes clases de aguas son utilizadas en la cría de las larvas: agua de mar, agua dulce, agua salobre y agua de mar artificial.

El agua de mar es tomada directamente, almacenada y decantada en un tanque abierto para ser utilizada al día siguiente, previo filtrado a través de un filtro biológico y/o mallas de tela de fieltro de 1 micra para evitar el ingreso de organismos planctónicos.

El agua dulce obtenida de los ríos, arroyos y/o lagos, requiere de una filtración previa mediante telas filtro de diferentes micras antes de su uso. El agua potable que usualmente tiene cierta cantidad de cloro debe ser envejecida y aireada por 24 - 48 horas en recipientes abiertos.

El agua salobre es el producto de combinar a voluntad el agua de ar con agua dulce al grado de salinidad requerido (Tabla 1).

El agua de mar artificial se puede preparar en aquellos lugares distantes del mar con las principales sales que componen la de origen natural, pero presenta el inconveniente de su alto costo en los cultivos de gran escala (Tabla 2).

5.3 Alimentación durante el estado larval

Las partículas de alimento muy finas y disueltas no son utilizadas por las larvas y si pueden contaminar el agua. Aquellas lo suficientemente ligeras para permanecer suspendidas, o las que se hunden lentamente son las que más atraen a las zoeas.

Por el contrario las que tienen un mayor tamaño tienden a arrastrar las larvas al fondo, causando mortalidad, por lo tanto es conveniente que las partículas de alimento tengan un tamaño aproximado al de la región torácica del animal que va a ser alimentado. La dosificación del alimento preparado se da en 4 raciones por día y en cantidades que estarán de acuerdo con el número de animales.

TABLA 1. Preparación de mezclas de agua dulce y agua de mar

% de agua dulce	% de agua de mar	salinidad (%)
0	100	34.0
10	90	30.6
20	80	27.2
30	70	23.8
40	60	20.4
50	50	17.0
60	40	13.6
70	30	10.2
80	20	6.8
90	10	3.4
100	0	0.0

TABLA 2. Preparación de agua de mar artificial (fórmula 1 y 2)

(Fórmula 1)			
NaCl	10000 g	KBr	20 g
$MgSO_4$ $6H_2O$	3000 g	H_3BO_3	120 g
$CaCl_2$	360 g	AGUA	1000 kg
KCl	180 g	—	—
(Fórmula 2)			
NaCl	10000 g	$Na_2S_2O_3.5H_2O$	0.4 g
$MgSO_4.H_2O$	3000 g	KBr	9.7 g
$CaCl_2$	500 g	Na_2 $MgO_4.2H_2O$	0.4 g
KCl	200 g	Al_2 $(SO_4)_3.18$ H_2O	0.3 g
$NaHCO_3$	70 g	RbCl	0.05 g
$SrCl_2.6H_2O$	7.2 g	$ZnSO_4.7H_2O$	0.04 g
H_3BO_3	120 g	KI	0.03 g
$MnSO_4.H_2O$	1.4 g	$CuSO_4.5H_2O$	0.04 g
NaH_2PO_4 $7H_2O$	1.4 g	AGUA	1000 kg

5.3.1 Alimento natural

Lo constituyen diminutos organismos planctónicos, siendo uno de los más importantes un microcrustáceo llamado artemia, el cual ha demostrado ser un alimento de un alto valor nutricional.

Las zoeas deben ser alimentadas con larvas recién nacidas de artemia (nauplios) en una concentración constante de 5 a 10 por mililitro de agua, por lo menos durante los primeros 10 días de desarrollo. Posteriormente la dosificación de artemia puede ser disminuida y la cantidad de alimento preparado se incrementa gradualmente.

La artemia se puede obtener en el mercado como un producto enlatado, ya que son muchas las firmas que así la ofrecen. Su presentación es en forma de quistes o huevos secos que al contacto con el agua de mar y buena aireación nacen entre 24 y 36 horas, dependiendo de la temperatura del agua.

5.3.2 Alimento suplementario

Este alimento en lo posible debe ser de origen animal, ya que garantiza un mayor desarrollo y crecimiento. Entre los diferentes alimentos a utilizar podemos citar: carne de pescado cocida, molida y tamizada, huevo de gallina, gónadas de pescado, leche en polvo, levadura y harina de soya. Estos deben ser mezclados y cocinados al baño María para obtener un flan, el cual es tamizado al tamaño deseado para ser dado en raciones adecuadas a las larvas (Tabla 3).

TABLA 3. Tipos de dietas que pueden ser utilizadas como alimento suplementario en la cria larval del camarón de agua dulce

DIETA No. 1		DIETA No. 2		DIETA No. 3	
HARINA DE PESCADO	100 G	HARINA DE CALAMAR	27.6%	CARNE DE PESCADO	200 g
LECHE EN POLVO	250 G	HARINA DE CAMARON	27.6%	LECHE EN POLVO	30 g
HUEVOS DE PATO	10 UND	HUEVOS DE PESCADO	6.9%	YEMA DE HUEVO	2 UND.
HARINA DE TRIGO	250 G	HUEVOS DE GALLINA	6.9%	HUEVOS DE GALLINA	6 UND.
VITAMINA C	5 TABL	ACEITE DE PESCADO	14.0%	LEVADURA	30 g
COMPLEJO VITAMINA B	5 TABL	VITAMINAS	1%	HARINA DE SOYA	30 g
TETRACICLINA	5 CAP.	SALES MINERALES	1%	AGUA DULCE	500 ml
CALCIDOL	10 ml	ALGINATO	15.0%		
AGUA DULCE	250 ml	AGUA DULCE	250 ml		
ANÁLISIS BROMATOLÓGICO %		**ANÁLISIS BROMATOLÓGICO %**		**ANÁLISIS BROMATÓLOGICO %**	
PROTEÍNAS	22.8	PROTEÍNAS	54.9	PROTEÍNAS	30.5
GRASAS	4.5	LÍPIDOS	19.7	LÍPIDOS	10.7
CARBOHIDRATOS	49.0	CARBOHIDRATOS	8.0	CARBOHIDRATOS	52.5
CENIZAS	3.3	CENIZAS	7.7	CENIZAS	4.8

5.4 Calidad de agua y su mantenimiento

El agua a utilizar en la reproducción de agua dulce debe ser de buena calidad y mantener ciertas condiciones fisico-químicas tales como: la temperatura debe fluctuar entre los 26 y 32 °C; salinidad con valores promedio de 13 %; oxígeno disuelto, alrededor de 6 mg/l, que dependerá su concentración a varios factores entre los cuales podemos citar, la temperatura, salinidad y material en suspensión. El pH, que varía en un rango entre 7.5 y 8.5; el amoníaco y los nitritos en niveles no superiores a 0.5 y 0.1 ppm, respectivamente.

Para el mantenimiento de estas variables se requiere de la optimización de los recambios diarios de agua de los tanques, cuyo porcentaje variará entre un 20-60 %, dependiendo del estadío y densidad de población. Así mismo, se deben retirar del fondo por medio de sifoneo los restos de alimento preparado y no consumido por las zoeas, suspendiendo la aireación por unos pocos minutos y devolviendo posteriormente al tanque las larvas que salgan durante esta operación.

5.5 Densidad poblacional

En los estadíos iniciales de zoea (I-V) se puede trabajar con una densidad larval hasta de 100 animales/l, pero a partir del estadío VI es necesario reducirla a 40-50 zoeas/l, pues de lo contrario el porcentaje de supervivencia se hace significativamente muy bajo, pues aumenta el canibalismo y la presencia de enfermedades.

El conteo de larvas se hace por volumetría, aumentando la aireación y por consiguiente la distribución de las larvas; luego se toman 10 alicuotas en diferentes partes del tanque, se cuentan los animales y una vez obtenido el promedio por muestra se pondera este valor al volumen total del tanque.

5.6 SEPARACIÓN DE POSTLARVAS Y ACLIMATACIÓN

No todas las larvas en el Estadío XI llegan a postlarvas, su aparición es gradual. Cuando se observa una buena cantidad de postlarvas en el tanque, se suspende la aireación por unos pocos minutos, las zoeas forman grupos en la superficie y las postlarvas nadan activamente alrededor del tanque.

Con una nasa de mano se colectan el mayor número de postlarvas, pero también se capturan zoeas, entonces se colocan en un tanque separador de forma circular, basado en un fenómeno de corrientes producidas dentro de éste. Esta práctica se hace apoyada en la característica natural de las postlarvas de migrar contra la corriente buscando las orillas de los ríos y arroyos (Fig. 10).

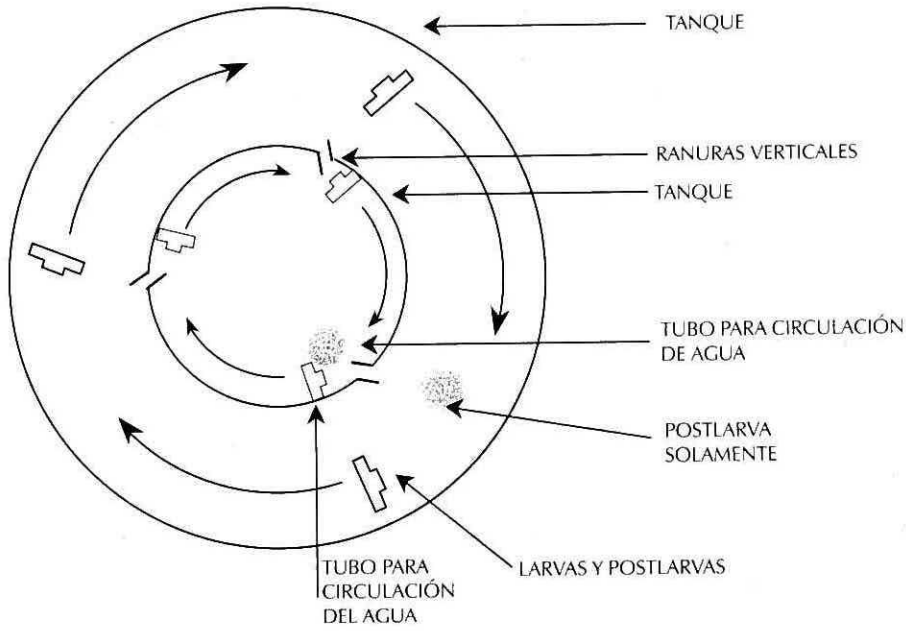


FIGURA 10. Diagrama del tanque separador de larvas-postlarvas de *Machrobrachium*, cultivadas en laboratorio (Tomado de Martínez Silva, 1977)

La zoeas se devuelven al tanque de larvicultura y las postlarvas se colocan en otro tanque para iniciar su aclimatación al agua dulce. En el tanque se depositan sustratos como hojas de palma, anjeo, tejas, etc., que aumentan las superficies de fijación reduciendo el canibalismo.

El proceso de aclimatación se lleva a cabo en 48 horas normalmente, pero se puede realizar en 8-10 horas. La adición de agua dulce es gradual hasta que llegue la salinidad a cero. Las postlarvas pueden ser alimentadas con concentrado para camarones, carne de pescado molida, artemia y flan de huevo. En esta etapa se pueden mantener hasta por 20 días a una densidad de 5.000 post-larvas por metro cuadrado.

5.7 COSECHA Y TRANSPORTE DE POSTLARVAS

La colecta de postlarvas se efectúa 3 horas antes del transporte, preferiblemente en la madrugada para evitar el stress por alta temperatura. Inicialmente se reduce el volumen del tanque y en la boca del drenaje se coloca una caja de malla (cosechadora) a donde se reciben las postlarvas, luego se pescan con una nasa de mano y se colocan en tanques de 80-100 litros para su conteo, que se realiza de la misma manera que en el conteo de larvas por alicuotas. Los tanques deben estar provistos de buena aireación y alimento.

El transporte se realiza en cajas de icopor que contienen bolsas dobles de plástico con 12 l de agua con oxígeno, a una densidad entre 1000 y 2000 post-larvas por litro, de acuerdo al tamaño de los ejemplares y el tiempo de transporte, para distancias mayores se reduce la temperatura hasta 21°C, colocando hielo entre la bolsa y la caja de icopor.

6. CULTIVO EN ESTANQUES

Las instalaciones, sistemas y manejo del cultivo del camarón de agua dulce están basados en los principios de la piscicultura.

6.1 Condiciones necesarias para el cultivo

La facilidad para distribución del alimento, control del estanque, recambio de agua y cosecha, dependen de la forma y el tamaño del estanque.

El tamaño de un estanque para cultivo de camarón de agua dulce más conveniente, es de un área entre 1000 y 5000 mt^2. Cuando un estanque es demasiado grande, se presenta dificultad en su manejo, erosión en los diques a causa de las olas formadas por las fuertes brisas y difícil cosecha total o parcial. El nivel adecuado del agua oscila alrededor de 1.2 y 2 mt de profundidad. Cuando el nivel está bajo, se reduce su superficie real, se hace fácil la predación de los camarones por aves, se incrementa la temperatura causando problemas de stress y alterando su crecimiento normal. Al contrario, cuando su nivel es muy alto se disminuye su área de uso real, se presenta estratificación de las masas de agua y es mucho más frecuente encontrar valores de oxígeno bajos. El fondo debe ser plano y bien compacto con una pendiente hacia el drenaje del orden de 0.5 %.

Es necesario sembrar vegetación rastrera en los diques para evitar la erosión, pues estas plantas ayudan para el crecimiento de insectos que sirven de alimento a los camarones y a la vez protege durante la muda a juveniles y adultos; se debe evitar que se extienda dentro del estanque.

Las estructuras de entrada y salida del agua deben ser preferiblemente en concreto, que permitan una fácil regulación del nivel del agua y un mínimo mantenimiento. El ingreso del agua se hace en el extremo menos profundo y la salida en el diagonalmente opuesto.

Es necesario colocar mallas metálicas o plásticas de 1 mm. de ojo a la entrada y salida del agua, para controlar la presencia de predadores y evitar la salida de los camarones del estanque.

Los estanques ya construidos serán sometidos a un proceso previo de preparación. Diez o quince días antes de la siembra se drena toda el agua retenida y se deja secar al sol de 5 a 8 días. Es necesario la adición de cal (Oxido de Calcio) la cual ayuda a elevar el pH del agua y elimina animales perjudiciales. Dos días antes de sembrar las postlarvas, el estanque se llena con agua filtrada por una malla de 450 micras y se aplican los fertilizantes que pueden ser de naturaleza orgánica o inorgánica. La fertilización es importante porque estimula el desarrollo de la fauna béntica y el plancton que se constituyen en el alimento natural para las postlarvas. Normalmente se utiliza como abono orgánico el estiércol de gallina (gallinaza) o de cerdo (porquinaza) en una proporción de 1.000 a 2.000 Kg/Ha. La fertilización química puede ser con Urea 20 lb/Ha/semana y fósforo 5 lb/Ha/semana. La productividad primaria en la práctica puede ser medida a través de la transparencia del agua por medio del disco Secchi y también por los valores del ortofosfato soluble y el nitrógeno que se deben mantener en 0.5 mg/l y 2 mg/l, respectivamente.

Para el control del nivel del agua, cada 2 días se examina y para ello se marcan líneas de nivel en los desagües; si baja es necesario reponer el agua perdida.

Los parámetros físico-químicos requeridos para el desarrollo normal de un cultivo son los siguientes: temperatura del agua 26-32°C, pH 7-8, Oxígeno disuelto 5-8 mg/l y transparencia del agua 30-50 cm.

Cuando los niveles de oxígeno disuelto son muy bajos, disminuye la transparencia o es elevado el pH, se hace necesario efectuar un recambio de agua.

La renovación parcial del agua dependerá de las condiciones físico-químicas de ésta y de su color; generalmente será suficiente en el día con un flujo continuo de 480 m^3/ha.

Es indispensable tener un estricto control de los competidores, predadores y hurto, éste último puede ser atenuado con medidas de vigilancia.

El uso de la rotenona, saponina, barbasco, etc., da muy buen resultado como control a los peces no deseados, sin afectar a los camarones (2 ppm o sea 2 kg/ha de rotenona al 5 %). Los odonatos o larvas de libélulas son grandes predadores de postlarvas, este fenómeno se pude minimizar sembrando los animales máximo a los 2 días de llenado el estanque, colocando hojas de palma diseminadas a lo largo de este y eliminado cualquier vegetación que sobresalga fuera del agua. En la mañana y en la tarde como regla general, todos los días se hará un examen al estanque observando el color del agua, el cual debe ser ligeramente verde, presencia de camarones en la superficie, nivel del agua, etc., además se tomarán y registrarán los parámetros físico-químicos señalados.

6.2 Densidad de siembra

Las postlarvas se siembran en poco volumen de agua, a la semana se aumentará en 10 cm. el nivel y se continuará hasta alcanzar en 30 días el volumen máximo del estanque.

En caso general para un monocultivo de larga duración, del tipo anual, se pueden sembrar postlarvas a una densidad de 15 a 18 por m^2.

En cultivos de corta duración (4-6 meses) de cosecha total final, la densidad recomendada a utilizar es de 7-10 camarones por m^2.

En policultivos con peces, se emplearán densidades mucho menores, de 3-5 camarones por m^2, dependiendo del número y especies a utilizar.

6.3 Alimentación

En los cultivos semi-intensivos con densidades por encima de 5 camarones/m^2, es necesario suministrar concentrado como complemento a la oferta de alimento natural del estanque. El alimento para las postlarvas debe tener inicialmente un 35 % de proteína y terminar en un 25 %. El diámetro de la partícula del concentrado es factor fundamental en la alimentación; desde la siembra hasta el día 15 se debe suministrar en polvo y a partir de este día y hasta el final debe tener 2 mm de diámetro.

La tasa de alimentación diaria dependerá del número, tamaño de los camarones y de la productividad primaria, iniciando con un 10 % de la biomasa y finalizando con 2 %. El alimento se suministra a lo largo del estanque, repartido en 2 raciones, una en la mañana y otra en la tarde.

6.4 Crecimiento y supervivencia

La tasa de crecimiento y supervivencia depende de factores como la densidad, alimentación, temperatura, calidad del agua, predación, etc. En general es aceptable una tasa media de crecimiento en peso entre 0.17-0.35 gr/día. El crecimiento en estos camarones es muy heterogéneo, con una gran disparidad de tallas, más marcada en los machos.

En cuanto a la supervivencia se puede obtener en promedio un 60 % entre el período de siembra y cosecha. En los sistemas de cultivo contínuo este valor es difícil de evaluarse. Los camarones cultivados en los estanques que tengan una buena calidad de agua y alimento adecuado tendrán un desarrollo normal de juveniles a adultos (Tabla 4).

6.5 Cosecha y producción

La pesca debe iniciarse en la noche o en las primeras horas de la mañana para evitar la elevación de la temperatura del agua. El producto se debe lavar con agua limpia que contenga 5 ppm de Cloro. Posteriormente la cosecha se transporta en neveras con hielo a la planta de proceso.

TABLA 4. Crecimiento promedio del camarón de agua dulce

TIEMPO EN EL ESTANQUE	LONGITUD PROMEDIO (mm) EXTREMO DEL ROSTRO AL EXTREMO DEL TELSON	EXTREMO DE LA ESCAMA ANTENA AL EXTREMO DEL TELSON	PESO PROMEDIO (g)
1er DÍA (Muestreo)	55	50	2.0
1 MES	76	65	4.5
2 MESES	110	95	10.0
3 MESES	140	125	25.0
4 MESES	180	165	60.0
5 MESES	210	195	100.0
6 MESES	225	205	125.0

La producción en los estanques varía por diferentes factores como: densidad de siembra, supervivencia, crecimiento, tipo de cosecha y la calidad puntual de la tierra. Para obtener una máxima producción es necesario sacar los ejemplares más grandes, pues éstos retardan el crecimiento de los más pequeños. En términos generales los rangos de producción normales oscilan entre 2000-4000 kg/ha/año.

7. ALGUNAS ENFERMEDADES QUE AFECTAN EL CAMARÓN DE AGUA DULCE

Las enfermedades de los camarones de agua dulce pueden ser causadas por agentes bióticos y abióticos. Los bióticos son aquellos que comprenden bacterias, hongos, virus y parásitos (protozoos y gusanos). Los abióticos corresponden a efectos producidos por bajo nivel de oxígeno, alta concentración de amoníaco, baja temperatura, limites extremos de dureza, contaminación y fenómenos naturales no predecibles.

El manejo inadecuado del cultivo, como falta de asepsia, calidad de la semilla y de los insumos, ineficiencia en los recambios de agua, etc, inducen al desarrollo y proliferación de anomalías y enfermedades.

Los protozoarios son la causa más común de las enfermedades de los camarones, y generalmente están representados por *Epystilis, Zoothamiun* y en menor escala la *Vorticella*. Todos ellos atacan la superficies del cuerpo y las branquias, especialmente cuando mudan de caparazón, afectándolos en sus movimientos para desplazarse o alimentarse. La fijación de estos individuos y proliferación impiden el proceso normal de la muda.

Otra agente bien importante que origina enfermedades en los camarones son las bacterias. Normalmente las del tipo «**Quitinolíticas**» atacan el caparazón del animal causándole agrietamiento y produciendo la denominada «**mancha negra**». A diferencia de las anteriores existen las del tipo «**filamentoso**» que afectan el sistema respiratorio o branquial del animal impidiendo su respiración.

La presencia de este tipo de bacterias en los camarones es una puerta abierta para el ingreso de otros bacterias que afectan seriamente la salud del animal como *Aeromonas, Pseudomonas Acinetobacter* y *Vibrio*.

Cuando la higiene de los tanques de cría larval es muy deficiente se presentan los hongos, que al proliferar causan grandes mortalidades. Atacan frecuentemente estructuras como la cola o el telson, patas caminadoras y los pleópodos impidiendo su movilidad y busca de alimento. De los más conocidos podemos señalar *Aphanomyces* y *Fusarium*.

Se han reportado ciertos problemas de una variedad de hidrozoarios, la cual en su estado de medusa es un depredador activo de artemia y larvas de camarón.

Por los bajos niveles de oxígeno que se presentan algunas veces en los estanques, se produce una alteración a nivel muscular de los camarones, la cual se reconoce por una coloración blanquecina y opaca; manifestándose físicamente por inmovilizar parte del abdomen; en la mayoría de los casos se vuelve letal.

La acumulación de lodos ricos en materia orgánica en las piscinas de cultivo, debido a la adición de alimentos, produce la proliferación de **«ectocomensales protozoarios»**, que son parásitos que atacan la superficie del cuerpo y branquias de los camarones. En la tabla 5 se mencionan algunos tratamientos utilizados para el control de las enfermedades producidas por hongos y protozoarios.

TABLA 5. Tratamientos para controlar las enfermedades producidas por hongos y protozoarios en los diferentes estados larvales

ORGANISMO CONSTANTE DE LA ENFERMEDAD	ESTADO LARVAL PRINCIPALMENTE AFECTADO	TRATAMIENTO	TIEMPO DE DURACIÓN DEL TRATAMIENTO	DOSIFICACIÓN
Zoothamnium ...	**II - V**	**SULFATO DE COBRE**	**6 - 12 HRS.**	**0.4 ppm**
HONGOS NO IDENTIFICADOS	**IV - VIII**	**VERDE DE MALAQUITA FORMAL**	**0.5 HR / DIA**	**0.2 - 200.0**
PROTOZOARIOS INTERNOS	**VI - VIII**	**SULFATO DE COBRE**	**3 - 6 HR/DÍA**	**0.6 ppm**
Aeromonas y OTRAS BACTERIAS (ESPECIALMENTE LAS QUE SE PRODUCEN CUANDO SE UTILIZAN ALIMENTOS PREPARADOS)	**I - VIII**	**PENICILINA g (2200 UNIDADES /mg) CLOROMICETINA ESTREPTOMICINA**	**24 HRS**	**2.0 DOBLE DOSIS 5.0 PARA LOS ESTADOS VI A VIII**

BIBLIOGRAFÍA

BARRETO, C.; LOURINALDO, E. de S. CORREIA y E. A. CORDEIRO. 1986. Camarao. Manual de cultivo de *Macrobrachium rosembergii*. Aquaconsult. Recife. 142 p.

CENDES. 1981. Cultivo del camarón de agua dulce *Macrobrachium rosembergii*. Centro de Desarrollo Industrial del Camarón. UEAT. Ecuador. 152 p.

GRUPO ACUICULTURA MARINA. 1982. Producción masiva de postlarvas del camarón gigante malasiano *Macrobrachium rosembergii* (De Man) y la influencia de la densidad poblacional. Centro Investigaciones Pesqueras-INDERENA, Cartagena.

GRUPO ACUICULTURA MARINA. 1983. Descripción de la metodología empleada para la obtención masiva de postlarvas de camarón de agua dulce *Macrobrachium acanthurus* (Weigman, 1936) en el laboratorio. Centro Investigaciones Pesqueras-INDERENA, Cartagena.

GRUPO ACUICULTURA MARINA. 1985. Análisis de la interacción del camarón gigante malasiano *Macrobrachium rosembergii* (De Man) con relación a la especie nativa *Macrobrachium acanthurus* (Weigman) en estanques en tierra. Centro Investigaciones Pesqueras -INDERENA, Cartagena. 12 p.

GRUPO COLOMBO-CHINO. 1978 Obtención de estados larvales y postlarvales del camarón de agua dulce *Macrobrachium carcinus*_(Linnaeus) en el laboratorio. Proyecto para el Desarrollo de la Acuicultura Marina. INDERENA-República de China (Taiwan). Vol. II, Nº1. 25 p.

GRUPO COLOMBO-CHINO. 1987 Técnica de reproducción del camarón de agua dulce *Macrobrachium rosembergii*. Centro Investigaciones Pesqueras -INDERENA. Cartagena.

GRUPO COLOMBO-CHINO. 1988 Cultivo intensivo del camarón de agua dulce *Macrobrachium rosembergii* (De Man). Trianea. Act. Cientif. INDERENA 1:45(55).

JOHNSON,S.K. 1984. Crawfish and fish water shrimp diseases." Texas A. & M. University. Sea Grant College Program. 30 p.

MARTÍNEZ, L. E. 1975. Biología del camarón de agua dulce *Macrobrachium acanthurus* (Wiegman, 1936) (Crustácea Palemonidae) de la Ciénaga de el «Totumo» y su cultivo experimental en estanques. Divulgación Pesquera. INDERENA, Vol. IX, Nº 3. 73 p.

MARTÍNEZ, L. E. 1977. Desarrollo embrional y larval del camarón de agua dulce *Macrobrachium acanthurus* (Weigman, 1936), bajo condiciones de laboratorio. Divulgación Pesquera. INDERENA. Vol. XVII, Nº 3. 16p.

MARTÍNEZ, L. E.; M. PEDINI y M. NEW. 1977. Cultivo experimental del camarón de agua dulce *Macrobrachium acanthurus* en la costa Atlántica, Colombia.» Proc. Wor. Maricult. Soc. Costa Rica.

NEW, M. B. 1982. Freshwater prawn farming. A manual for the culture of *Macrobrachium rosembergii*». FAO Fisheries Technical paper. Nº 225. 116 p.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

Capítulo XIII. CULTIVO DE LAS TILAPIAS ROJA (*Oreochromis* spp.) Y PLATEADA (*Oreochromis niloticus*)

Carlos Espejo González[1]
Enrique Torres Quevedo[2]

INTRODUCCIÓN

Las tilapias comúnmente conocidas en Colombia como mojarra roja y mojarra plateada pertenecen a una gran familia de peces conocida como Cichlidae, caracterizadas por tener el cuerpo oblongo con aletas dorsales largas que tienen entre 23 a 31 espinas y rayos (Hepher y Pruginin, 1988).

Es un pez originario de África considerado bíblico (Saint Peter´s fish), muy apreciado a nivel mundial por la calidad de su carne y las bondades que presenta para cultivo. En países como Filipinas e Indonesia ha sido adoptado como pez nativo. En 1995 China fue el primer país productor de tilapia en el mundo, con 160 000 toneladas métricas por año, seguido de Filipinas con 63 000 toneladas métricas, en la actualidad es uno de los peces de cultivo más importantes en Latinoamérica (Costa-Pierce y Doyle, 1997).

Las tilapias (Fig. 1) son peces de aguas cálidas tropicales, el rango óptimo de temperatura para obtener un mayor rendimiento en términos de crecimiento está entre 25 a 30 °C, su crecimiento se ve afectado cuando la temperatura desciende por debajo de los 15 °C y si ésta se acerca a los 9 °C, su muerte es inminente.

En Estados Unidos su carne es muy apreciada en todas las presentaciones, pero especialmente en forma de filete. Dentro de los productos pesqueros es el tercer producto de importación, después del camarón marino y del salmón del Atlántico. Las estadísticas del Departamento de Comercio de ese país muestran que las importaciones de esta especie pasaron de 3389 toneladas métricas en 1992 a 27 820 toneladas métricas en 1998, lo que en valor equivale a un incremento de US 6 016 115 a US 52 740 016 (Jory *et al.*, 1999).

El cultivo y consumo ha ido creciendo aceleradamente en los países latinoamericanos. En los países Centroamericanos como Costa Rica la tilapia ocupa uno de los primeros lugares en el renglón de las exportaciones, de igual forma en Honduras éste cultivo crece cada día más e igualmente se sabe que Méjico esta en proceso de industrialización de este cultivo en donde los esquemas de producción se llevan a cabo bajo el sistema intensivo.

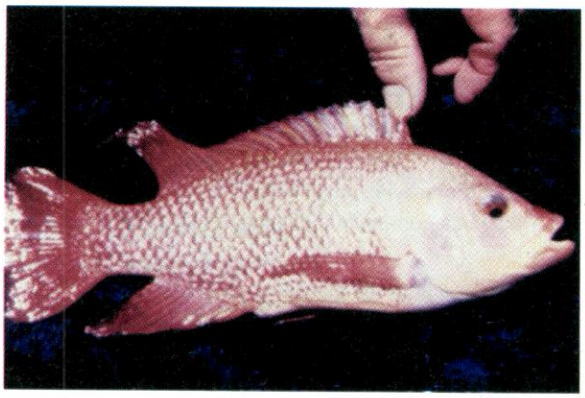
En la producción en Suramérica se destacan Colombia, Ecuador, Perú, Brasil y Venezuela. En el Ecuador la industria de la tilapia ha adquirido gran importancia debido a la crisis por la que atraviesa la producción del camarón, en donde la producción de tilapia roja (*Oreochromis* spp.) se hace con densidades no superiores a 0.4 ó 0.5 peces por metro cuadrado, es decir, los cultivos son extensivos. El mayor productor en cuanto a calidad y cantidad es Colombia con 19842 toneladas cultivadas en el año 1998, de acuerdo con el Boletín Estadístico (INPA, 2000).

1. ASPECTOS REPRODUCTIVOS

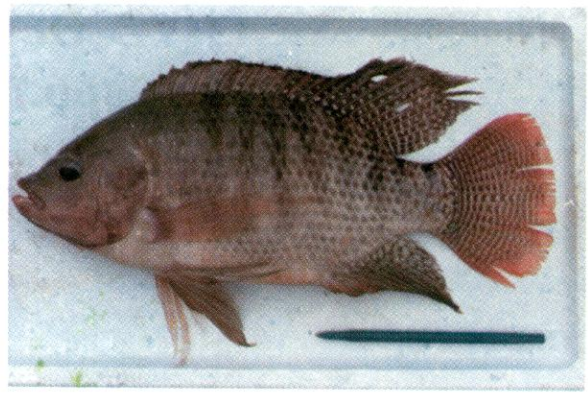
A diferencia de otras especies, las tilapias son consideradas como prolíficas, debido a que se pueden reproducir a edad temprana (3 a 6 meses) y esta condición ha hecho que se busquen alternativas de manejo para contrarrestar los efectos sobre el cultivo que conlleva esa alta reproducción (Hepher y Pruginin, 1988).

[1] Médico Veterinario zootecnista, Magister producción piscícola, Universidad Nacional de Colombia, Consultor en acuicultura Asociación Americana de Soya. Pereira (Risaralda). E-mail: cespejo85@hotmail.com

[2] Biólogo Marino, Asesor técnico en acuicultura, Proyecto piscícola Potreritos. Villavicencio (Meta). E-mail: etorres@villavicencio.cetcol.net.co



A)



B)

FIGURA 1. A. Ejemplar adulto de tilapia roja (*Oreochromis* spp.) B. Ejemplar de *Oreochromis niloticus*

Conteos realizados a larvas de hembras de 200 gramos de tilapia nilotica (*Oreohcromis niloticus*) han permitido establecer 370 larvas eclosionadas en la boca, esto indica que por cada gramo de hembra se pueden esperar 1.8 larvas (Tabla 1). La viabilidad de estas es baja si las condiciones medioambientales del estanque no son favorables. Para efectos prácticos de planificación de la empresa piscícola se estima que una hembra de 200 g puede producir aproximadamente 0.5 larvas viables por gramo de peso (Popma y Green, 1990).

TABLA 1. Estimativos en la producción de larvas de tilapia por gramo de peso vivo de la hembra

Fuente	Peso promedio (g)	No. larvas en boca	No. larvas por gramo
Espejo (2001)	200	370	1.8
Popma y Green (1990)	200	Sin reporte	0.5

Tanto la tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*) como la tilapia roja (*Oreochromis* spp.) son especies incubadoras bucales, es decir, que las hembras guardan los huevos fertilizados en su cavidad bucal y ésta característica hace que la sobrevivencia de las larvas sea mayor, entre 85 y 90 %.

1.1 Manejo de reproductores

Para el cálculo de una producción final de animales, o kilogramos de peces por unidad de volumen o área a producir, es necesario estimar acertadamente la cantidad de reproductores, huevos, larvas y alevinos a obtener y finalmente juveniles a sembrar. Lo anterior indica, en últimas el número más cercano a la producción proyectada y para hacerlo es muy importante tener unos registros históricos confiables de mortalidad y eficiencia en cada una de estas etapas, preferiblemente de la misma granja o una similar en dimensión y manejo, pues esto varía de acuerdo con la especie, el nivel de producción deseado y los sistemas utilizados en la producción, bien sean canales, jaulas o estanques en tierra.

Experiencias de campo realizadas por uno de los autores (Espejo, 2001) han podido establecer que el tamaño ideal de los reproductores en donde se alcanza el mayor pico de producción se encuentra entre los 160 y 300 g, a partir de esta talla la motilidad espermática en el macho se ve fuertemente afectada y en las hembras se presenta taponamiento del oviducto, lo que hace que no puedan llevar a cabo su función de oviposición.

En general los grupos de reproductores que excedan los 300 gramos como peso promedio presentan inconvenientes de manejo y de fisiología reproductiva, se constituyen en peces más delicados para las faenas de traslado, pesaje, muestreos y en términos generales para todas las tareas que se requieren cuando se lleva a cabo una producción intensiva de alevinos.

En toda granja piscícola que posea planta de producción de alevinos se debe contar con un plantel permanente de reposición de reproductores ése grupo deber ser del 25 % del total de peces que se esté trabajando en reproducción, es decir, si el plantel de reproductores es de 1000 peces entre machos y hembras, en el grupo de reposición debe haber por lo menos 250 reproductores en la talla de 150 a 200 g para reponer cualquier faltante del grupo principal de reproductores.

El grupo de reposición debe permanecer separado por sexos y cuando el pez haya llegado a la talla de reproducción el alimento balanceado a suministrárseles debe contener un nivel superior al 30 % de proteína cruda a una ración del 2% de la biomasa de peces en el estanque.

No se ha investigado mucho acerca de los requerimientos nutricionales de los reproductores de tilapia, la experiencia en el campo indica que la relación energía - proteína debe mantenerse entre 9 y 10, es decir, que un alimento que garantice 30 % de proteína debe igualmente contener entre 2800 y 3000 Kcal por kilo de alimento balanceado, con esta relación se busca que el padrote no se engorde o no deposite excesivo tejido graso alrededor de sus órganos reproductivos.

1.1.1 Producción y selección de reproductores

En el cultivo de las tilapias es apropiado hablar de animales comerciales y de animales de selección, los comerciales son los que se cultivan en los estanques de producción y que llegan al consumidor final, sobre estos peces es apropiado mantener un proceso de selección que permita identificar las mejores características de producción en términos de ganancia de peso y así mismo en términos de características externas como color y conformación corporal.

Se recomienda que periódicamente se separe un grupo de larvas a las cuales no se les somete a reversión sexual con el fin de evaluar su potencial como futuros reproductores mediante el registro de crecimiento, conversión de alimento y sobrevivencia. Los peces separados deben ser tratados como futuros reproductores, es decir, el manejo conlleva una alimentación que mantenga la relación energía-proteína no inferior a 9 , los niveles de proteína deben manejarse según la fase de desarrollo, de acuerdo con lo sugerido en la tabla 2.

TABLA 2. Niveles de proteína sugeridos para la alimentación de reproductores en levante

Peso promedio (g)	Nivel de proteína (%)
1 – 10	38
10 – 50	32
50 – 150	28
150 – 200	25

Los peces seleccionados deben ir a estanques que garanticen la no mezcla con otras "líneas" o con peces de otros orígenes, además estos animales deben ser seleccionados por sexo tan pronto como sus papilas permitan la identificación.

La densidad sugerida para el manejo de estos futuros reproductores es de dos animales por metro cuadrado. El manejo anteriormente descrito debe estar acompañado de excelentes registros que dejen conocer los individuos mas adelantados en parámetros zootécnicos. De otro lado, con los animales de selección se debe llevar a cabo el mismo manejo en la alimentación y en las densidades de siembra pero sobre ellos se deberá hacer un manejo más riguroso.

En lo que respecta a la tilapia roja (*Oreochromis* spp.) los animales considerados como de selección deben ser manejados como animales cruzantes, es decir, como peces <con los que se pueden mejorar ciertas características indeseables en los llamados peces comerciales.

Estos cruces de peces deben ser llevados a cabo en estanques pequeños, preferiblemente en material duro (cemento) para poder de esta forma tener la seguridad que los alevinos allí encontrados son el producto de los cruces preestablecidos. Una vez obtenida la reproducción se separan los alevinos de los padres para someterlos a crecimiento y evaluar sí se presenta mejoría en la característica deseada.

1.2 Producción de alevinos

El número de padrotes necesarios para producir una determinada cantidad de alevinos de mojarra es directamente proporcional a la cantidad neta de alevinos de 15 g a producir. Se habla de ese peso porque a partir de éste se puede garantizar una buena supervivencia en las siguientes etapas, se obtiene el tamaño adecuado para diferenciar el sexo y además es posible revisar la eficiencia del proceso de **reversión sexual** (producción de poblaciones sólo-macho con ayuda de hormona) antes de ir a la etapa de pre-engorde.

Una buena estimación del número de padrotes a utilizar es importante para determinar la cantidad de alevinos a producir por cualquier método (hibridación o reversión sexual). Sin embargo en el primer caso se recomienda reforzar con un 30% el número de reproductores estimado, debido a que en los cruces interespecíficos las hembras pierden fecundidad o son menos eficientes en el apareo.

La producción comercial de alevinos de tilapia se considera de relativa facilidad por la ya referida precocidad de los reproductores en lo referente a la madurez sexual y al número de alevinos obtenidos por hembra.

Los reproductores se pueden confinar en estanques de cemento, jaulas flotantes o estanques en tierra. Cada sistema tiene su manejo especial y de éste depende el éxito en la producción de semilla. Lo más aconsejable es mantenerlos en estanques en tierra de máximo 1.5 m de profundidad en la parte más honda, con dimensiones que van de acuerdo con la dimensión del proyecto y que pueden ser hasta de 500 m^2 . De todas formas esto depende de la granja y del tipo de manejo que se emplee.

Los reproductores se pueden mantener a una densidad de tres a cinco animales por m^2, en una proporción de tres hembras por cada macho. Comienzan a reproducirse a los 4 meses de edad aproximadamente y tienen alrededor de cinco a ocho reproducciones durante el año. Se estima que la reproducción se puede permitir a partir de los 60 gr, aunque esto podría ocasionar problemas óseos en los padrotes y los mejores resultados se obtienen con reproductores cuyo peso es superior a los 120 g; sin embargo, esto depende de la temperatura y la densidad de siembra. Si se separan tempranamente de la progenie se contribuye a aumentar la frecuencia de reproducción y es recomendable que la hembra no sea mayor en tamaño que el macho, aunque se puede dar lo opuesto, pero es ideal que los reproductores sean del mismo peso.

Teniendo en cuenta que los reproductores están sometidos a un intenso manipuleo es normal que se presente una alta mortalidad (10 -15 % al año), por lo tanto es necesario hacer siempre un inventario de animales cada vez que se vaya a efectuar una reproducción y tratar de manipularlos de la mejor manera.

Antes de la siembra de los reproductores para iniciar cada ciclo, el estanque debe estar seco y desinfectado con cal viva, posteriormente se debe abonar con abono orgánico, químico o ambos.

En la tilapia la cantidad de **alevinos efectivos** por hembra varía según el tamaño de éstas, pero se mantiene en un rango de 30 a 50 individuos por postura. Sin embargo, la literatura reporta producciones más altas y algunos técnicos aplican la fórmula citada por Jensen (1979), la cual dice que: «la longitud de la hembra al cuadrado es igual al número de alevinos que es capaz de producir». Esto difiere de las cifras reportadas anteriormente, seguramente debido al manejo a que se ven sometidos los reproductores en una explotación comercial y a las mortalidades que afectan cada etapa del proceso productivo (larva, postlarva, alevino reversado, levante).

Una vez sembrados los reproductores en los estanques de reproducción, que no deben exceder los 500 m^2 , se pueden colectar las larvas al cabo de 10 días después de la siembra de los reproductores, éstas se recolectan en las orillas por cuanto los peces toman de allí gran cantidad de alimento como fitoplancton y zooplancton.

El numero total de larvas cosechadas aumenta al incrementar la frecuencia de recolección, si se siembran 5000 reproductores / ha, y se recolecta cada 7 días la cosecha será de 104100+/- 17644, pero si la cosecha se lleva a cabo cada 25 días la recolección es de 49000 +/-9037 (Green *et al.*, 2000).

Las larvas deben ser pasadas por tamices para lograr que sólo las de menos de 10 mm sean las que pasen por la malla y las que logren pasar son sometidas al tratamiento de reversión sexual con la hormona andrógena, debido a que hasta este tamaño los peces están indiferenciados sexualmente y por consiguiente el andrógeno podrá actuar sobre las células sexuales induciendo a estas a la masculinización.

La producción de alevinos de mojarra tiene como objetivo conseguir una población monosexo, específicamente masculina, toda vez que los machos son los que presentan mayor crecimiento, mejor conformación corporal, mayor rendimiento y menor riesgo al momento de verse contaminada la población con animales del otro sexo.

1.2.1 Obtención de poblaciones monosexo

Para conseguir una población monosexo de tilapia se pueden utilizar los siguientes métodos:

Sexaje manual

Con el fin de obtener una población 100% machos se recomienda llevar a cabo el método de sexaje manual, el cual únicamente se puede realizar en ejemplares que hayan alcanzado el desarrollo de características externas en sus órganos, los que se pueden observar en animales de talla superior a 10 cm. Este método consiste en separar los machos de las hembras por medio de la diferenciación de las papilas genitales, las cuales se resaltan mediante la aplicación en ellas de algún colorante como el azul de metileno, verde de malaquita o tinta china con un copo de algodón. La efectividad de este método depende principalmente de la destreza de la persona que adelante ésta práctica. En la figura 2 se presenta la diferenciación de sexos.

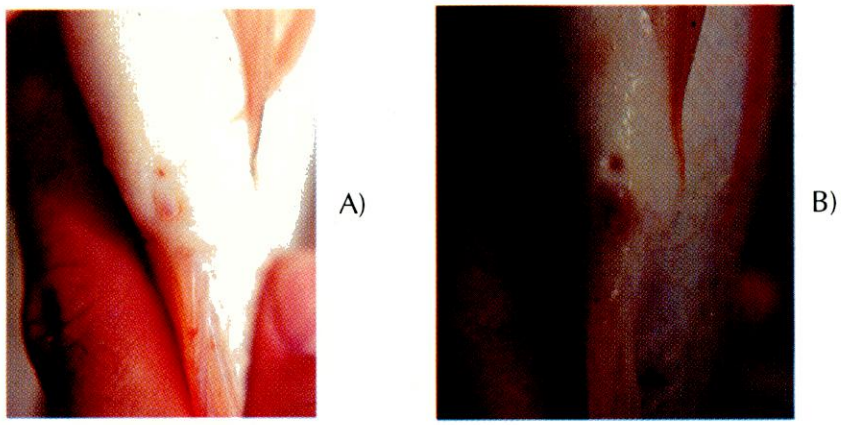


FIGURA 2. Papila genital en tilapia roja. A. Macho, obsérvese el ano y el conducto urogenital. B. Hembra, obsérvese el ano, el oviducto y el conducto urinario.

Hibridación

La hibridación de la mojarra es el cruce de dos especies diferentes afines etológica y genéticamente, con el fin de obtener individuos monosexo y un mejoramiento en sus características fenotípicas.

Como condición especial para que este sistema funcione se necesita contar con cepas absolutamente puras de las dos especies seleccionadas.

El cruce más utilizado en tilapicultura es el de machos de *Oreochromis aureus* por hembras de *Oreochromis niloticus,* que garantiza una descendencia 100% de machos de excelentes condiciones y características, resistente a bajas temperaturas, buen rendimiento en filete y acelerado crecimiento (Buddle,1984).

Existe otro híbrido que es el resultado del cruce entre *Oreochromis urolepis hornorum* macho y *O. niloticus* hembra, que también puede producir una descendencia del 80 al 100% machos según la pureza de la cepa, con el inconveniente de que hasta el 25% de la prole queda con características fenotípicas inclinadas hacia *O. urolepis hornorum*, cuya presentación como producto en el mercado no es muy atractiva para el consumidor por el color oscuro de su piel.

En el esquema siguiente se presenta la composición genética de algunas especies de este género, lo cual ilustra el porqué de la producción de poblaciones monosexo machos (Tabla 3).

TABLA 3. Composición genética de algunas especies del género *Oreochromis*

Especie	Hembras	Machos	
Oreochromis mossambicus	XX	XY	**Hembras**
Oreochromis niloticus	XX	XY	Homogaméticas
Oreochromis aureus	WZ	ZZ	**Machos**
Oreochromis urolepis hornorum	WZ	ZZ	Homogaméticos

En la determinación del número de reproductores a utilizar para conseguir la cantidad de alevinos híbridos necesarios es importante mencionar que en este proceso la producción de alevinos disminuye en por lo menos un 50% comparándolo con un cruce intraespecífico (entre miembros de una misma especie).

Con relación a la tilapia roja se concibió inicialmente como un híbrido que accidentalmente tuvo su origen en Taiwán en 1968. A partir de ese momento en Filipinas, Israel y Estados Unidos se dedicaron a mejorar y purificar el fenotipo por medio de cruces interespecíficos.

Se cree que los primeros ejemplares aparecieron debido al cruce de animales albinos de *Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*; sin embargo, esto no se confirmó hasta que estudios hechos en la Universidad de Sterling y Swansea determinaron que se trataba de «mutantes» de color, principalmente de *Oreochromis niloticus* y *Oreochromis mossambicus* en poblaciones naturales puras (Tave, 1991).

En la actualidad se utilizan reproductores híbridos rojos (dihíbridos, trihíbridos o tetrahíbridos) de las especies anteriormente citadas, donde cada una de ellas aporta una característica deseable para el individuo, como se indicó anteriormente.

Al mantener los reproductores es importante contar como mínimo con dos líneas genéticas, con el fin de tener siempre buena calidad y cantidad de reproducciones, ya que al tener sólo una, los sucesivos cruces entre hermanos terminarán por separar los parentales y se perderán las características adquiridas durante los cruces iniciales.

En todo lo que tenga que ver con la reproducción de las mojarras o las tilapias es importante tener en cuenta que se trata de animales sumamente prolíficos y de gran resistencia a las condiciones adversas, por lo que es muy fácil que se contaminen las líneas parentales (grupos especiales de reproductores). Para evitar esta situación es aconsejable cubrir con malla los estanques de reproducción para evitar la predación por aves, que en muchos casos sueltan la presa en otro estanque y mezclan los diferentes grupos. En el mejor de los casos los reproductores se deben situar en lugares de fácil acceso y oportuna vigilancia.

A finales de la década del noventa se introdujo al país la línea roja denominada Stirling que consiste en la especie *O. niloticus*, pero es de color rojo.

Reversión sexual

La reversión sexual tiene como fin, al igual que la hibridación, producir poblaciones monosexo; es un proceso que se realiza durante el primer mes de vida del animal una vez reabsorbido el saco vitelino, utilizando hormonas.

La hormona utilizada para producir machos hasta el 100% en alevinos recién nacidos de mojarra (tilapia) es la 17 α metil testosterona, en una proporción que varía según la metodología e infraestructura a utilizar. La reversión puede realizarse en jaulas, estanques de cemento, canaletas o estanques de tierra. Cada sistema tiene sus ventajas y desventajas.

La cantidad de hormona a utilizar varía de acuerdo con el tratamiento, para su incorporación al alimento concentrado pulverizado de alto valor proteico (45%) ésta se disuelve en etanol al 95% y se mezcla en una proporción de 1 litro de solución por cada kilo de concentrado. La mezcla de hormona-etanol-concentrado se seca en un horno a 60°C durante una hora o se seca a la sombra. Algunos autores aconsejan por cada kilogramo de alimento, adicionar los siguientes ingredientes:

- Complejo vitamínico 15 ml
- Aceite de hígado de bacalao 30 ml
- Aceite de cocina 30 ml
- Terramicina 1.4 g

El alimento con el andrógeno 17 α metil testosterona debe ser suministrado a las larvas por lo menos 12 veces al día y sobre la base de 10 % de la biomasa, este tratamiento se debe llevar a cabo en estanques de tierra pequeños, no más de 400 m^2 o en jaulas pequeñas de ojo de malla mosquitero que se ubican en un estanque a poca profundidad, no superior a 40 cm, o en canaletas de 2 metros de largo por 40 cm de ancho.

Se tiene en claro que si la reversión se lleva a cabo en estanques en tierra los alevinos terminaran el tratamiento con cerca de 1 g como peso promedio, si se hace en los otros dos sistemas entonces la talla final será de 0.6 a 0.7 gramos; esa diferencia en la talla final se debe al alimento adicional que los peces reciben por la productividad primaria en los estanque de tierra.

El tratamiento de reversión debe durar por lo menos 21 días y máximo 28 días, durante este proceso es frecuente la presencia de afecciones por el protozoario conocido como *Trichodina,* que producen no sólo epizootias entre los peces de agua dulce sino que son los más frecuentes en los peces de aguas marinas (Roberts, 1981).

Reversión sexual en jaulas

Debe utilizarse para su construcción un angeo plástico o de PVC de 1 mm de ojo rígido, que no permita deformaciones ni ampliación del ojo de malla con la limpieza. El tamaño recomendado debe ser hasta de 3 m^2 de área por 1 m de profundidad, con una estructura flotante que puede ser de tubos de PVC de 1.5 pulgadas, que le sirve además de marco. Deben situarse en un estanque no muy abonado que presente un recambio constante de agua del fondo, con el fin de que exista una corriente de agua que oxigene permanentemente las jaulas; éstas deben quedar ancladas y estar cubiertas para evitar la predación por aves.

Las mallas se deben limpiar periódicamente de las algas que se fijan con el fin de mantener abierto el ojo de éstas, permitiendo una libre circulación del agua. Esto es muy importante, ya que al taponarse el angeo los animales pueden morir rápidamente por anoxia o sufrir un ataque bacterial y micótico, debido al deterioro de la calidad del agua en este recinto ocasionado por la acumulación de heces y alimento no consumido.

Según el adecuado recambio y la calidad de agua que exista en el sitio donde se encuentran las jaulas se puede trabajar con densidades de 500 a 3000 alevinos por m^3 o más.

La cantidad de hormona a utilizar puede ser de 60 mg/kg de alimento, lográndose un porcentaje de reversión del 80 al 95%, dependiendo de los cuidados en la preparación del alimento, el suministro y el acceso a otras fuentes de alimento como los de origen natural. Una adecuada oferta de alimento natural es importante para la nutrición de los alevinos, puesto que contribuye a la disminución de la mortalidad a causa de enfermedades nutricionales. Es importante garantizar el consumo de la hormona incorporada al concentrado para poder obtener un buen porcentaje de reversión.

Reversión sexual en estanques de cemento

En este tipo de infraestructura la reversión es generalmente más eficiente debido a que existe más control sobre la población, pero a diferencia de las jaulas se presenta un mayor riesgo de mortalidades masivas por infestación de hongos, bacterias y ciliados. Por lo anterior es de suma importancia establecer un manejo que contemple la limpieza diaria, el retiro de restos de comida y si es posible el traslado periódico de la población a otro estanque limpio y desinfectado. Las mortalidades comienzan a presentarse entre el día 12 y 14 del tratamiento, especialmente en estanques que previamente a la siembra no han sido debidamente lavados y desinfectados (Fig. 3). En estanques recién construidos generalmente no se presentan mortalidades. Las densidades a las cuales se pueden trabajar con éxito son de 500 a 2000 alevinos por m^2 o más, dependiendo de las condiciones del agua, oxígeno disuelto, recambios de agua y aseo entre otros. Se recomienda trabajar con una dosis hormonal de 30 a 45 mg/kg de alimento, con lo cual se logra un porcentaje de reversión del 93 al 97%.

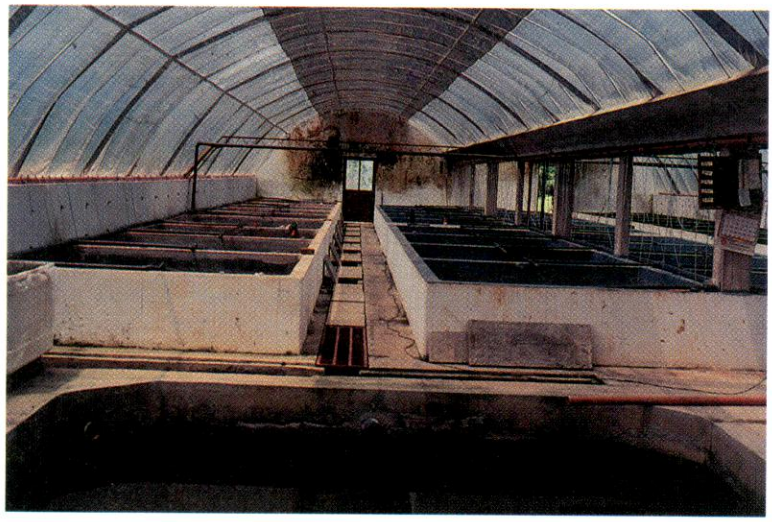


FIGURA 3. Estanques de cemento utilizados para la reversión sexual de la tilapia.

Reversión sexual en canaletas

Es un sistema tan eficiente como el anterior, pero de menor capacidad y más complicado de manejar. Si se efectúa aseo adecuado y diario, se puede trabajar con 500 a 3700 alevinos por m^3, aunque es posible mantener densidades más altas que en los sistemas anteriores, el bajo volumen de las canaletas hace que se necesiten más unidades de estas para obtener una producción significativa y por consiguiente se incrementan los costos de instalación y de mano de obra en la operación. Sin embargo, se pueden lograr porcentajes de reversión del orden del 95 al 97 %, con alimento preparado en una proporción de 30 a 45 mg/kg de hormona.

Reversión sexual en estanques en tierra

Este sistema presenta la ventaja de alcanzar una alta supervivencia, poca demanda de mano de obra y bajo costo de instalación, pero a su vez las densidades de siembra son menores que en los sistemas anteriores. Se manejan densidades de 200 a 500 alevinos por m^2. Se obtienen menores porcentajes de reversión en razón a que las larvas consumen alimento del medio natural por lo que es necesario aumentar la cantidad y la frecuencia de suministro de alimento.

La reversión puede estar entre el 75 y el 95%, según el manejo. Se utilizan dosis más altas de hormona, del orden de 60 a 100 mg/kg, para compensar los problemas anteriormente mencionados.

En general, el éxito de los tratamientos de reversión sexual tiene que ver más con el tiempo de ingestión de la hormona (21 a 60 días), la talla inicial del tratamiento (9 a 11 mm) y un adecuado suministro de alimento en cuanto a calidad, cantidad y frecuencia (mientras mayor sean las veces que se les suministre mejor), que con otros factores, como el porcentaje de proteína en el alimento, la temperatura (una temperatura alta aumenta el consumo) y la presencia de plancton.

2. DIFERENTES FORMAS DE CULTIVO DE TILAPIA UTILIZADAS EN COLOMBIA

Se están utilizando básicamente tres modelos de producción en la fase de ceba para estos cíclidos:

a. En jaulas ubicadas en represas de generación eléctrica y en reservorios para riego.
b. En canales, de cemento o en tierra.
c. En estanques de tierra

2.1 CULTIVO EN JAULAS

Esta una forma de cultivo superintensivo y se tienen reportes en Colombia, Brasil, y Panamá donde se está trabajando hasta 400 peces por metro cúbico, esto quiere decir que si el peso final es de 300 gramos, entonces la biomasa obtenida por metro cúbico es de 120 kilos.

Las recomendaciones de orden técnico es que para esta tecnología se debe implementar el uso de jaulas pequeñas, cuyas medidas son de 1.5 m de ancho, 1.5 m de largo y 1 m de alto, con estas medidas se obtienen 2.25 m^3 (Fig. 4), donde se siembran hasta 1000 peces de 15 g cada uno.

Por recomendaciones técnicas de la Asociación Americana de Soya (ASA), estas jaulas deben tener por lo menos cinco recambios de agua por minuto, ésta condición hace que la ubicación de las jaulas dentro del cuerpo de agua se seleccione muy bien con el fin de garantizar buenos resultados.

Es necesario que entre jaulas exista por lo menos 3 metros de distancia, de esta forma se garantiza el mejor recambio dentro de la unidad de producción, de igual forma el fondo de las jaulas debe estar a una buena distancia del fondo del cuerpo de agua, con el fin de poder obtener una buena dispersión de los desechos metabólicos y los desperdicios de alimento. Se sugiere que cada jaula tenga su propio alimentador, cuyo diseño corresponde a una caneca de 55 galones cortada exactamente a la mitad, este alimentador no permite la salida del concentrado extrudizado del interior de la jaula. Cada unidad de producción de estas debe estar cubierta con una fina malla oscura que no permita índices elevados de estrés en los peces confinados (Fig. 5).

Estos cultivos se pueden adelantar como una actividad secundaria en represas de generación eléctrica o en reservas de agua para el riego agrícola, en cuyo caso se tienen experiencias prometedoras de poder cultivarse hasta 100 jaulas de la dimensiones descritas anteriormente en una cuerpo de agua de tan solo 0.8 hectáreas. Es condición indispensable que para esta alta tecnología se mantenga un programa permanente de limpieza de fondos (en los reservorios) y de recambios de agua del fondo de los mismos, sólo así se podrá movilizar los metabolitos producidos por los peces.

En este modelo de producción se adquieren mejores ganancias diarias, del orden de hasta 4 g día, esto se debe fundamentalmente a que en el confinamiento del pez el gasto energético y de proteínas se hace menor, lo que trae mejores rendimientos zootécnicos.

Este modelo de piscicultura intensiva ha hecho que la industria genere rentabilidades cercanas a 35 % y gran rotación del capital invertido, por cuanto se reducen los costos operativos y se acortan los tiempos de cultivo.

Los datos de producción de este modelo se resumen en la tabla 4.



FIGURA 4. Estructura de una jaula

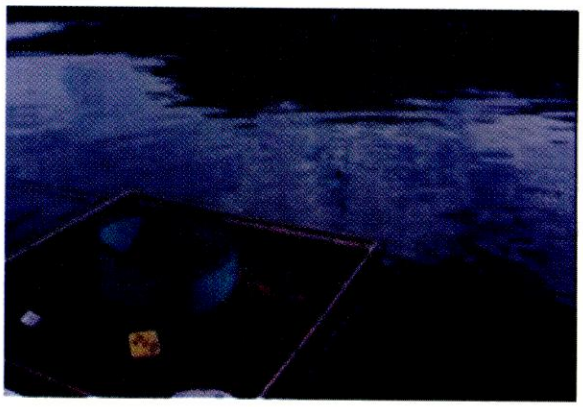


FIGURA 5. Alimentador elaborado con caneca plástica ubicado dentro de la jaula. Se observa el momento en que se dispone el alimento dentro de este.

TABLA 4. Parámetros de producción de tilapia en jaulas

Tiempo de cultivo (días)	91
No. Inicial de peces por jaula	650
Supervivencia %	82
Peso inicial (g)	60
Peso final (g)	350
Ganancia de peso (g)	290
Ganancia gramos /día	**3.18**
Biomasa inicial por jaula (kg)	39.12
Biomasa inicial Kg/m^3	13.48
Biomasa final por jaula (Kg)	187.45
Biomasa final Kg/m^3	**64.63**
Aumento biomasa jaula (Kg)	148.33
Aumento biomasa Kg/m^3	51.14
Consumo alimento en Kg	327.15
Conversión alimenticia	2.21

Fuente: Piraquive y Vélez (2000)

2.2 PRODUCCIÓN DE TILAPIAS EN CANALES DE CEMENTO O EN TIERRA

Este tipo de cultivo se ha desarrollado fundamentalmente en Costa Rica a partir de una compañía privada que dispone de grandes volúmenes de agua de recambio. La producción mensual es de 350 toneladas para un total de 4200 toneladas anuales. El tamaño del pez para el mercado es de 900 gramos en promedio lo que permite producir filetes de 150 g o más (Berman, 1997).

A nivel de latinoamérica, conjuntamente con Honduras, son los únicos países que trabajan la producción de tilapia a nivel superintensivo en canales. Estas producciones se hacen en canales que en muchos de los casos les revisten las paredes en cemento para evitar su deterioro por la acción de la corriente, la movilización de agua puede ser del orden de 8 a 12 m^3 por segundo, los estanques tienen áreas comprendidas entre 100 y 1000 m^2. Los alevinos son sembrados de 50 g y allí se tienen hasta los 900 g finales. En la primera etapa los peces son sembrados a densidades de 300 alevinos por m^2 y después de 4 ó 5 meses, cuando los animales han alcanzado los 300 g, la densidad desciende a 100 peces por m^2 (Berman, 1997).

En estos sistemas de producción la alimentación se sustenta totalmente bajo el alimento balanceado, debido a que este alto recambio de agua no permite que en el estanque se mantenga una oferta de alimento natural.

Para los casos de alto recambio, en donde la participación del fitoplancton y del zooplancton es pobre, se requiere de alimentos con más alto índice de proteína, en estas situaciones se debe utilizar alimentos de hasta el 32 % de proteína en la fase de ceba, de igual forma es necesario mantener constante la relación energía–proteína (Espejo, 1997) (tabla 5).

TABLA 5. Parámetros de producción de tilapia en canales

Fase	Peso (g)	Ganancia g/día	Días/fase	Densidad/m^2	Mortalidad %	Prot. %	ICA	Alimento/ Biomasa %
Alevinaje	1-50	0.2-0.4	130	10-60	30-40	35	1.5	10-5
Engorde 1	50-300	1.5-1.7	140	150-300	5-15	30	1.7	5-2
Engorde 2	300-900	3.5-3.9	145	80-125	1-5	30	1.9	2-1

Fuente: Berman (1997).

Es importante tener en cuenta que la tilapia es muy resistente a condiciones ambientales adversas, pero al igual que otras especies de peces si el medio en que habitan es favorable sus rendimientos productivos o zootécnicos serán mejores. Lo anterior hace referencia a parámetros de calidad y cantidad de agua acorde con las necesidades del animal, es decir, la tilapia puede sobrevivir en aguas con niveles de 0.5 % de oxígeno disuelto, pero su rendimiento en términos de transformación de proteína en músculo no va a ser la mejor, de igual forma sucede con metabolitos tóxicos como el amoniaco no ionizado NH_3, la especie resiste hasta 1 ppm, pero si la exposición a este metabolito es constante el rendimiento productivo se ve afectado.

2.3 PRODUCCIÓN EN ESTANQUES EN TIERRA

Esta producción se hace en estanques especialmente diseñados de forma que se puedan realizar los recambios de agua del fondo para que sea más eficiente la eliminación de todos los metabolitos tóxicos que se encuentren depositados como producto de la degradación de los nutrientes contenidos en los alimentos o de los desechos metabólicos.

Los estanques deben ser construidos con fondos y taludes en tierra, estos últimos deben conservar una pendiente de 3:1, de esta forma se garantiza que las paredes del estanque no se deterioren cuando el macho realice el nido para la ovoposición de la hembra.

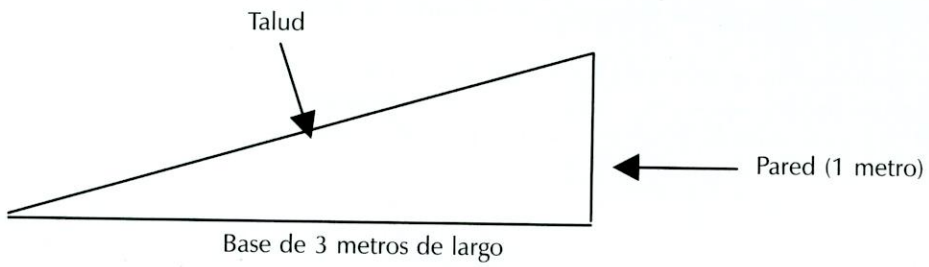


FIGURA 7. Pendiente recomendada en las paredes o taludes de los estanques

En la figura 6 se muestra la pendiente recomendada en las paredes o taludes de los estanques. Esta condición en la construcción de los estanques pocas veces se cumple, lo que ocasiona posteriores inversiones en reconstrucción de los mismos en detrimento de la rentabilidad del proyecto.

2.3.1 Bajo el modelo de piscicultura semi-intensiva

La densidad de siembra de este modelo es de 10 a 15 peces por metro cuadrado, el peso de siembra oscila entre 5 a 10 g, en algunos casos puede ser menor en la medida en que la tasa de crecimiento sea muy acelerada, así mismo se recomienda mantener un recambio permanente de agua entre 10 a 50 litros por segundo.

En países como Ecuador, Perú y Colombia los estanques tienden a ser de áreas superiores a 1000 ó 2000 metros cuadrados, en Ecuador los estanques tienen dimensiones superiores a 5 hectáreas, con profundidades no mayores a 1 metro, de esta forma la productividad primaria se ve aumentada por la penetración de los rayos solares (ultravioleta). Los datos de producción para este esquema se compilan en la tabla 6.

Tabla 6. PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DE TILAPIA EN ESTANQUES EN TIERRA

Parámetro	Unidades
Densidad de siembra	12 peces / m^2
Peso promedio de siembra	10 g
Mortalidad	20%
Duración del ciclo	210 días
Peso promedio de cosecha	357 g
Ganancia promedio/día	1.7 g
Conversión alimenticia	1.8

3. CULTIVO POR MEDIO DEL SISTEMA EN FASES

Con el fin de maximizar el uso del área, dar un mejor manejo y hacer seguimiento y detectar la presencia de hembras se recomienda adelantar el cultivo en tres etapas de crecimiento: levante, pre-engorde y engorde.

3.1 LEVANTE

En un cultivo intensivo la etapa de levante consiste en el confinamiento de animales de 1 g o menos, a una densidad máxima de 30 alevinos/m^2, hasta el momento en que alcanzan 15 g. A este peso se les distingue el sexo fácilmente a los animales, mediante la tinción de la papila genital con azul de metileno o tinta china. En esta etapa se utiliza la siguiente tabla de alimentación:

Rango de peso (g)	Cantidad de alimento (% de biomasa)
1.0 – 10	8.0
10.1 – 15	5.0
15.1 – 20	4.5
20.1 – 30	4.0

Durante el levante es muy importante el abonamiento de las aguas para aumentar la productividad natural. Esta práctica ayudará a obtener una buena conversión alimenticia durante esta etapa. la cual puede oscilar entre 0.5-1 : 1. El tiempo que dura el levante varía de 55 a 75 días, período requerido para llegar alrededor de los 20 g, dependiendo del manejo y de la temperatura.

En los cultivos superintensivos el levante se hace a densidades de 50 a 100 peces/m^2 (según la disponibilidad de flujo de agua constante y/o aireación), empezando con alevinos de 1 g hasta los 15-20 g. Bajo esta modalidad de cultivo el levante puede durar 45 días y es necesario suministrarles alimento de alto contenido proteínico, con el fin de suplir la falta de alimento del medio natural. Se puede presentar una mortalidad entre el 15 y 30%.

3.2 PRE-ENGORDE

En cultivos intensivos también se acostumbra realizar una etapa de **pre-engorde** a una densidad de 12 alevinos/m^2, antes de pasarlos a los estanques de engorde propiamente dichos. En esta etapa se levantan los animales de 20 g hasta 150 g y se utiliza la siguiente guía de alimentación.

Rango de peso (g)	Cantidad de alimento (% de la biomasa)
20 – 50	4.0
51 – 150	3.5

En la etapa de pre-engorde la conversión puede llegar a 1.5:1, mientras que el tiempo de cultivo se prolonga a 3.5 meses, dependiendo de la productividad del agua, la temperatura y el tipo y calidad de alimento.

En cultivos superintensivos, el pre-engorde se realiza con 25-40 peces/m^2 a partir de los 12 g hasta los 120 g en un período de 4 meses, aproximadamente. Finalmente, el segundo pre-engorde se hace desde los 120 g hasta los 300 g en 3.5 meses, a una densidad de 10 a 20 peces/m^2 . Aquí la conversión puede ascender hasta 1.8:1.

Hay que hacer énfasis en que los rangos de peso anteriores varían según el manejo integral que se haga en la explotación, los controles sobre la calidad del agua, los muestreos periódicos (cada 15 días), y la calidad, método y frecuencia con que se alimente.

Referente a esto último, en los cultivos intensivos y superintensivos es sumamente importante incrementar la frecuencia de alimentación. En el levante y pre-engorde de los cultivos intensivos se puede alimentar cuatro veces al día (6 am, 11 am, 2 pm y 5 pm), mientras que en los de los superintensivos, la frecuencia puede ir hasta 6 a 8 veces al día.

3.3 ENGORDE

En los cultivos intensivos la densidad en la etapa de engorde puede ir desde 1.5 hasta 3 y 5 animales/m^2 , dependiendo, entre otros factores, de la disponibilidad del agua para hacer recambios y el tipo de alimento, como se ha indicado anteriormente. Aquí se pueden esperar conversiones de 1.4-2 : 1. El tiempo de duración de la etapa, desde los 150 g de preengorde hasta el tamaño final de 350 g para la venta, puede estar entre 2 y 3.5 meses.

La guía de alimentación puede ajustarse así:

Rango de peso (g)	Cantidad de alimento % de la biomasa
150 – 280	3
280 – 350	2

Si es necesario dejar los animales en el estanque unos días antes del sacrificio se les suministrará alimento a razón del 1% de la biomasa por día lo que evitará pérdida de peso.

En los cultivos superintensivos la etapa última o de engorde consiste en llevar los animales desde los 300 hasta los 500 g o más, según los intereses del productor y la finalidad del cultivo, bien sea producción de filetes, eviscerado, etc. Se pueden mantener a una densidad de 15 a 25 animales/m^2 La conversión puede llegar a 1.8-2.2:1 o menos, dependiendo de los factores que se han expuesto.

Esta etapa puede durar de 3 a 3.5 meses y la guía de alimentación puede ser la siguiente:

Rango de peso (g)	Cantidad de alimento % de la biomasa
300 – 400	2.8
400 – 500	2.1
500 – 600	1.7
600 – 750	1.4

En la figura 7 se presenta la curva de crecimiento de la tilapia.

4. TIPOS DE CULTIVO

La tilapia roja es un pez que por sus hábitos alimenticios naturales y el nicho ecológico que ocupa es susceptible de cultivarse, ya sea en monocultivo, es decir, sólo esta especie en confinamiento, o en policultivo, en combinación con otras especies que no interfieren o compitan por espacio, oxígeno y alimento.

Las especies que se cultivan con la mojarra roja y con buenos resultados son: la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), la carpa espejo (*Cyprinus carpio*) y el camarón de agua dulce (*Macrobrachium rosembergii*). Obviamente existen diferente combinaciones, proporciones y densidades a las cuales se puede establecer el policultivo, dependiendo igualmente del nivel de producción a emplear: super-intensivo, intensivo, semi-intensivo o extensivo.

El monocultivo permite utilizar densidades más altas que el policultivo (hasta 50 animales/m^2 en etapa de engorde), mientras el policultivo tiene ventajas de aprovechar mejor el espacio en cultivos intensivos y semi-intensivos, diversificando así producción y mejorando la conversión alimenticia.

En policultivo se pueden utilizar con éxito las siguientes densidades: cachama 0.5/m^2 ; mojarra 1/m^2 ; carpa 1/15 m^2 y camarón 2/m^2 . Con buena productividad del agua se puede esperar a los 6 meses de cultivo una producción por encima de las 18 ton/ha/año, con conversiones alimenticias del orden de 1.2:1 (Torres, 1989).

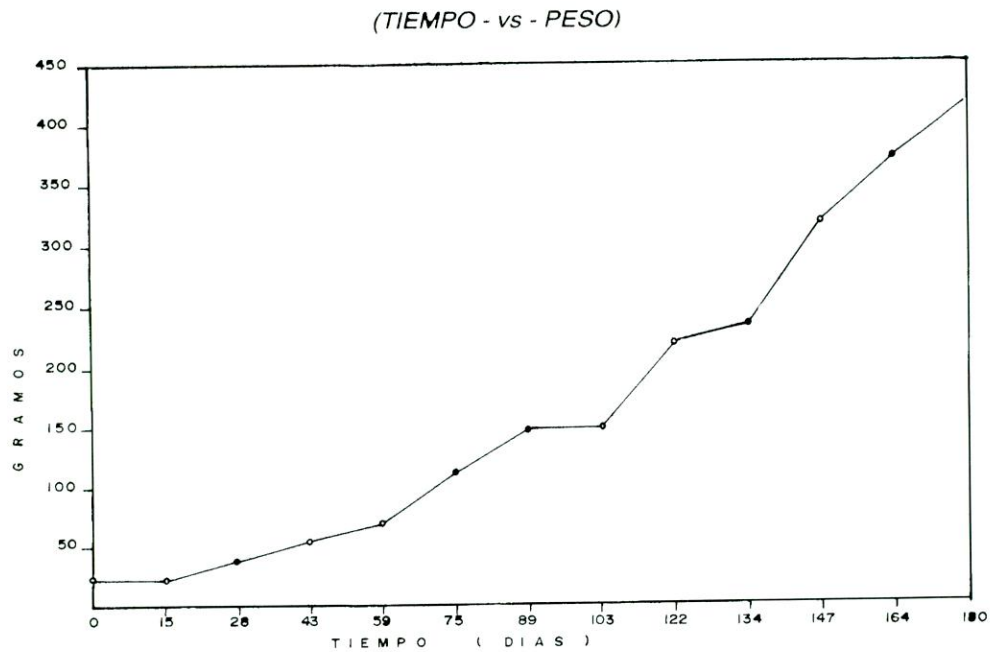


FIGURA 7. Curva de crecimiento de la tilapia roja en la Hacienda Potreritos (Llanos Orientales)

5. MANEJO DE LOS ESTANQUES

El manejo adecuado de los estanques determinará el éxito o el fracaso de la explotación acuícola. Especialmente con la mojarra es indispensable que el estanque, luego de cada cosecha, sea desinfectado con cal viva (CaO) al voleo, teniendo especial cuidado en aplicar a los charcos donde puedan quedar animales vivos que no se pudieron recoger. Esto es importante hacerlo con los estanques donde se ha presentado reproducción para que no se contamine la nueva población que se va a sembrar.

La medición de los parámetros fisicoquímicos del agua es necesaria y se debe evaluar periódicamente para garantizar el comportamiento normal y la calidad en el proceso productivo.

Así mismo, se debe observar que ningún tipo de pesticida llegue al estanque con la fuente de agua. Se han reportado concentraciones bajas que han llegado a ser tóxicas y acumulativas, tanto en el pescado como en el consumidor.

Según el nivel de producción se hace necesario monitorear periódicamente el oxígeno; concentraciones menores de 4 ppm producen bajos rendimientos en los cultivos de mojarra roja. Esta es menos resistente que la mojarra plateada a las bajas intempestivas de la concentración del oxígeno disuelto y por lo tanto es deseable que la concentración de este parámetro esté por encima de 6 ppm., especialmente durante la noche.

Cuando la alcalinidad del agua de un estanque o de la fuente está por debajo de 20 ppm, como es usual encontrar en los Llanos orientales es necesario encalar, es decir, aplicar cal agrícola ($CaCO_3$) en una proporción de 2000 a 3000 kg/ha. Generalmente sólo se necesita una aplicación al año para aumentar la alcalinidad y la productividad de un estanque. La cal agrícola o dolomítica se aplica con el estanque semihúmedo para que sea atrapada por el piso del estanque. Posteriormente se deja secar durante varios días (3 ó 4) y a continuación se puede llenar.

El abonamiento garantiza un buen crecimiento de los peces especialmente en los primeros meses de vida, debido al incremento de la productividad natural del agua. Esto puede verificarse mediante la lectura del Disco Secchi que

debe ser mínimo de 30 cm. El abonar conlleva a mejorar la conversión alimenticia y por consiguiente a disminuir los costos en alimentación.

El abonamiento incrementa las poblaciones de algas y animales microscópicos que complementan la dieta del pez con vitaminas, elementos traza y aminoácidos que no siempre están disponibles en los alimentos concentrados que se le está suministrando o no se encuentran en la proporción necesaria.

Según la disponibilidad se podrán emplear abonos orgánicos en las siguientes cantidades:

Porquinaza:	60	g /m^2 /semana
Gallinaza:	17	g /m^2 /semana
Bovinaza:	70	g /m^2 /semana

O abonos químicos con las siguientes cantidades:

10:30:10	:	1.5-2.25	g /m^2 /semana
Úrea	:	1.5-2.0	g /m^2 /semana
Superfosfato	:	1.25-1.5	g /m^2 /semana
11:53:00	:	1.3	g /m^2 /semana
18:46:0	:	1.5	g /m^2 /semana

La aplicación siempre es mejor cuando se diluye el abono en agua, tanto orgánico como inorgánico y luego se riega en las orillas de los estanques.

6. COSECHA Y PROCESAMIENTO

La cosecha total debe hacerse bajando a 1/3 el nivel del agua en el estanque y con este volumen se hacen 2 ó 3 arrastres con la red para sacar la mayoría de la población; posteriormente se desocupa completamente el estanque para pescar el resto. Este método agilizará la cosecha y permitirá recuperar la mayoría del pescado sin barro y con menor estrés.

En el momento del sacrificio es importante tratar de hacer un corte ventral superficial para no romper el peritoneo, que limita en la parte dorsal con las vísceras, ya que esto le restaría valor al producto.

El beneficio debe hacerse con agua muy limpia y contemplar por lo menos tres lavados. Debe mantenerse suficiente hielo para conservar los peces mientras se empacan y almacenan en un cuarto frío, o para evitar esto se sitúa la mesa de evisceración lo más cerca posible del sitio de almacenamiento.

BIBLIOGRAFÍA

BERMAN, Y. 1997. Producción Intensiva de Tilapia en agua fluyente. 59-63p. IV Simposio Centroamericano de Acuacultura. Tegucigalpa, Honduras 22-24 de abril 1997.

BUDDLE, R. 1984. Monosex Tilapia fry production. ICLARM Newsletter. Center for living aquatic resources Management. Manila. 7(1):4-6.

CASTILLO, L. F. 1993. Genética e Ictiopatología. Seminario Aplicación de Nuevas Tecnologías para la producción del híbrido de tilapia roja. U.J.T.L., Bogotá, mimeo. 10 p.

COSTA-PIERCE, B. A. y R.W. DOYLE. 1997. Genetic identification and status of tilapia regional strains in southern California. 1-17 p. In: B. A. Costa-Pierce and J.E. Rakocy, (Ed). Tilapia aquaculture in the Americas, Vol. 1. Word Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States.

ESPEJO, C. 1997. La piscicultura en Colombia, tecnología de punta en el departamento del Valle del Cauca. IV Simposio Centroamericano de Acuicultura. Tegucigalpa, Honduras.

ESPEJO, C.. 2001. Manejo industrial de las tilapias. Curso Lance en Acuicultura. Monterrey, México. Marzo 2001.

ESPEJO, C.; J. BUITRAGO; F. KOGSON; G. ALVIS y L. LINCE. 1999. Evaluación de torta de soya, soya integral y harina de yuca en la alimentación de tilapia roja en jaulas. II congreso sur-americano de acuicultura. Puerto La Cruz, Venezuela. 198-205 p.

GREEN, W. B.; R. D.TEICHERT-CODDINGTON y R. T. HANSON. 2000. Desarrollo de tecnologías de acuacultura semi-intensiva en Honduras. Centro Internacional para la Acuacultura y Medio Ambientes Acuáticos. Series para la investigación y desarrollo número 45. Universidad de Auburn, Alabama 36849-5419 USA.

HEPHER, B. y Y. PRUGININ. 1988. Cultivo de peces comerciales. Editorial Limusa. 94-106 p.

INPA, 2000. Boletín Estadístico Pesquero. 1999. Grupo de estadísticas. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, INPA. Bogotá. 63 p + 29 tablas.

JORY, D. E.; C. ALCESTE y R. T. CABRERA. 1999. Mercado y comercialización de tilapia en los Estados Unidos de Norteamérica. II congreso Sur-americano de Acuicultura. Puerto La Cruz, Venezuela. 121p.

PIRAQUIVE, R. A. y R. J. M. VÉLEZ. 2000. Comparación de Parámetros de Producción, Costos y Análisis de Calidad de Agua Utilizando Dos Alimentos Balanceados en el Cultivo de Peces (tilapia roja) en Jaulas. Tesis de grado Universidad de la Salle, Facultad de Zootecnia. Santa Fe de Bogotá.

POPMA, J. T. y W. B. GREEN. 1990. Manual de producción acuícola, Reversión sexual en Lagunas de tierra. Auburn University, Alabama.

ROBERTS, R. 1981. Patología de los Peces. Ediciones Mundi-Prensa. 182 p.

SALAZAR, A. G. 1995. Consideraciones generales sobre la acuicultura. 1 - 19 p. En: Rodríguez, H.; G. Polo y G. Salazar (Eds.). Fundamentos de Acuicultura Continental. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Colombia. 286 p.

TAVE, D. 1991. Genetics of body color in tilapia. Aquaculture Magazine. U.S.A. 17 (2):76-79.

TORRES, E. 1989. Levante superintensivo de postlarvas de *Macrobrachium rosembergii* y engorde en policultivo con cachama blanca *Piaractus brachypomus* y Mojarra *Oreochromis niloticus*. Memorias III Reunión Red Nacional de Acuicultura INDERENA CIID COLCIENCIAS, 524p.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

Capítulo XIV. ASPECTOS BÁSICOS PARA EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCOIRIS

Rafael Rosado Puccini[1]
Andrés Erazo Keller[2]

INTRODUCCIÓN

La cría de truchas se constituye en un importante renglón de la actividad piscícola del país y tanto el nivel tecnológico como los procedimientos de manejo que actualmente se aplican corresponden a sistemas avanzados de operación. Los avances en los equipamientos y métodos de producción, una mayor preocupación en la eficiencia de uso del recurso hídrico, la proyección creciente a suplir mercados externos y el desarrollo de los concentrados y su manejo en cultivo son algunos de los indicadores más importantes de la evolución de la actividad en la última década.

Consecuentemente resulta evidente que son mayores también los requerimientos de información con la que se pueda dar soporte técnico a la industria y, especialmente, que complemente aquella disponible, por lo general elaborada con fundamento en resultados de sistemas externos, no siempre aplicables a la realidad nacional.

En tal sentido se ha abordado bajo una perspectiva de carácter más práctico, tratando de enfatizar en aquellos elementos que hacen parte del manejo cotidiano de la especie en cultivo. La información y los datos generales que contiene se han actualizado en la medida de lo posible, con resultados de experiencias adelantadas directamente en el país. La bibliografía que se relaciona es una contribución adicional para los productores interesados en disponer de referencias propias de la investigación realizada en el ámbito nacional, particularmente en la última década y que, por diferentes razones, no ha tenido la difusión suficiente.

1. CARACTERÍSTICAS Y DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

La trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss* Richardson, 1836) es un salmónido que se caracteriza por presentar cuerpo alargado, fusiforme y cabeza relativamente pequeña que termina en una boca grande puntiaguda, hendida hacia el nivel de los ojos y con una fila de dientes fuertes en cada una de las mandíbulas que le permiten aprisionar las presas capturadas.

Hacia la mitad del cuerpo se encuentra una primera aleta dorsal formada únicamente por radios blandos. Posteriormente a ésta aparece una pequeña aleta, de función desconocida y carácter adiposo. Opuesta a ésta y ventralmente se halla la aleta anal. Estas aletas tienen función de dirección actuando como timón en el desplazamiento.

Las aletas pares son las pectorales, ubicadas en la parte más anterior con una función estabilizadora y las pélvicas o ventrales, que actuan como remos y ubicadas en la sección mediaposterior del pez. El cuerpo remata posteriormente en una aleta caudal homocerca de función propulsora.

El nombre genérico *Oncorhynchus* significa nariz ganchuda, característica que se acentúa más en los machos en la época de reproducción, en los que se desarrolla en la mandíbula inferior un abultamiento o gancho (prognatismo).

El nombre común de arcoiris está dado por la presencia de numerosos puntos negros y una banda iridiscente en los flancos del pez. Esta coloración cambia ligeramente en las épocas de madurez, siendo notorio el obscurecimiento que se presenta en los machos.

[1] Biólogo Marino, especialista en cultivo de peces. E-mail: sanross@elsitio.net.co
[2] Biólogo Marino, especialista en cultivo de peces. E-mail: marpiso@bluemail.ch

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

1.1 Clasificación taxonómica

Phylum	:	Cordata
Subphylum	:	Vertebrata
Clase	:	Osteichthyes
Subclase	:	Actinopterygii
Superorden	:	Teleosteica
Orden	:	Clupeiformes
Familia	:	Salmonidae
Subfamilia	:	Salmoninae
Género	:	*Oncorhynchus*
Especie	:	*Oncorhynchus mykiss*
Nombre Común	:	Trucha arcoiris

2. PRODUCCIÓN DE SEMILLA

Según su procedencia, las opciones de abastecimiento de ovas y alevinos se conocen convencionalmente por los cultivadores del país como semilla nacional o importada. La nacional es aquella que se produce en el país a partir de reproductores mantenidos en cautiverio, sobre los cuales se adelantan procedimientos de manejo, selección y desove, además de la fertilización e incubación del material obtenido.

La mayoría de la producción de carne de trucha en el país depende de ovas importadas. Su aceptación radica principalmente en la garantía de poblaciones cercanas al 100% de hembras y por la certificación de ausencia de enfermedades.

2.1 Infraestructura

2.1.1 Estanques para reproductores

Pueden ser unidades con las mismas características de construcción que aquellas empleadas para el engorde de truchas. Por el contrario, las densidades de mantenimiento de reproductores son menores, recomendándose cargas inferiores a los 10 Kg/m^3, donde se mantienen separados las hembras de los machos; si se tiene espacio disponible las hembras deben distribuirse de acuerdo con su estado de madurez sexual.

2.1.2 Sala de incubación

Es un recinto cerrado protegido de la luz solar, cuyo tamaño depende de la cantidad de semilla a producir, dentro de este se encuentran las incubadoras y los canales para recibir las ovas embrionadas y/o las larvas recién eclosionadas. Se recomienda que el agua a utilizar sea previamente filtrada.

2.1.3 Filtro

El material en suspensión presente en el agua es particularmente nocivo tanto en incubación como para las larvas en reabsorción. Los desarenadores y filtros son necesarios sobre todo en los casos en los que la llegada de sólidos es normal y elevada en épocas de invierno. Por lo general se utiliza el filtro de grava a presión, cuya función es retener partículas en suspensión presentes en el agua, la cuales pueden causar grandes bajas en los lotes, puesto que los sólidos se depositan sobre las ovas ocasionando la muerte a los embriones por asfixia y favorecen además el desarrollo de hongos.

2.1.4 Incubadoras

Entre los sistemas de incubación hay dos tipos, los de flujo horizontal y los de flujo vertical. El más utilizado corresponde a la incubadora vertical de bandejas superpuestas (de 4 hasta 16) y las canaletas horizontales en las

que las ovas se ubican sobre canastillas. El uso de botellas de incubación también es común aunque requiere garantizar un flujo estable de agua. Variaciones bruscas causan golpes a las ovas lo que en los primeros estadios de desarrollo (ova verde) puede generar importantes pérdidas. En la etapa de ova embrionada el riesgo se reduce, pues en este estado de desarrollo la resistencia al manejo es superior.

Las de flujo horizontal básicamente son canales en donde van instalados bastidores en madera o plástico con varillas en aluminio, vidrio, plástico o fibra de 3 a 5 mm de diámetro con una separación entre varillas de 3 mm, que van a sostener las ovas. Los bastidores son colocados superficialmente (5 a 10 cm de profundidad), de tal forma que una película de agua los bañe continuamente. El agua penetra por uno de los extremos fluyendo a lo largo del canal y se evacua por el lado opuesto. El caudal debe encontrarse entre 10 y 20 litros por minuto (Fig. 1).

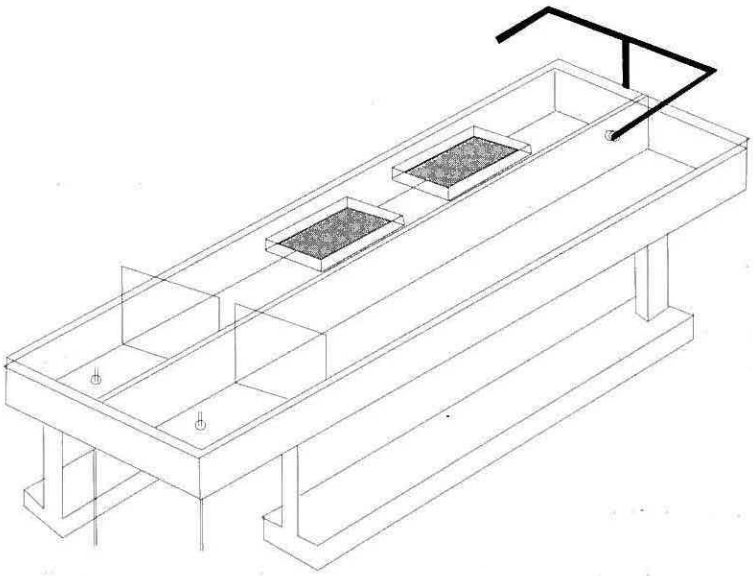


FIGURA 1. Detalle del canal utilizado para la incubación del tipo de flujo horizontal y/o mantenimiento de larvas (Tomado de Amaya y Anzola, 1988).

Las principales ventajas de este sistema están dadas por su facilidad de manejo y reducido costo. Las dimensiones de estos canales pueden encontrarse dentro de los siguientes rangos:

Longitud:	2.0 a 5.0 m.
Ancho:	0.3 a 0.8 m.
Profundidad:	0.2 a 0.4 m.

Deben colocarse a una altura del suelo de 1.0 - 1.2 metros para facilitar las labores de manejo.

En el sistema de flujo vertical existen dos tipos: las de **flujo vertical ascendente** y las de **flujo vertical descendente**.

Las primeras se conocen también como botellas de incubación en estas el agua penetra por la parte inferior manteniendo las ovas en suspensión y en constante movimiento. Las segundas constan de un soporte en aluminio que sostiene de 4 a 8 bandejas en fibra superpuestas. En este sistema el agua penetra por la parte superior pasando de bastidor a bastidor. Las ventajas de este sistema son: menor espacio, menor caudal e incuban mayor cantidad de huevos (Fig. 2).

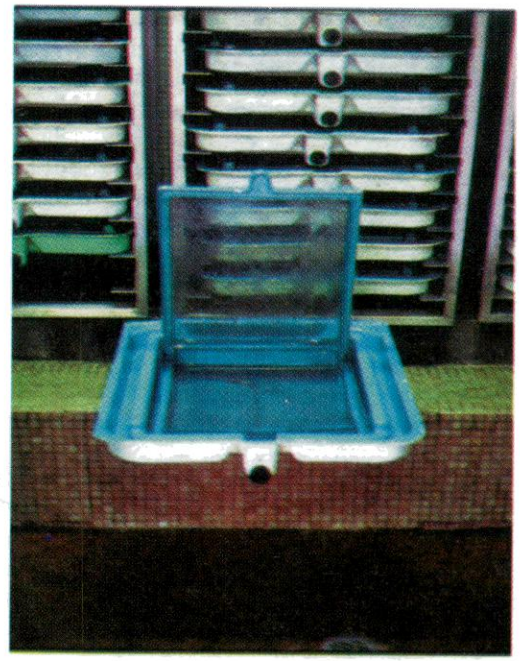


FIGURA 2. Incubadora de huevos tipo vertical

2.1.5 Canales para reabsorción de vesícula vitelina y alevinaje

La etapa de reabsorción del saco vitelino se puede considerar como una continuación de la incubación, por lo menos en los primeros días siguientes a la eclosión. A las larvas recién nacidas se les debe mantener igualmente en recintos protegidos de la luz. En las incubadoras verticales el diseño de las bandejas permite que las larvas puedan permanecer allí por algunos días después de haber nacido. Se debe tener precaución con las posibles fugas que se dan cuando las tapas no presentan un buen ajuste.

En los sistemas horizontales las larvas caen directamente del bastidor al canal, en donde se llevará a cabo la reabsorción. En este caso la permanencia de las larvas en el fondo exige que se establezca un control a los sedimentos que ingresan.

Estos canales son similares a los utilizados en el sistema de incubación de flujo horizontal. Los materiales en que se construyen van desde la madera hasta la fibra de vidrio. Últimamente se ha generalizado el uso de canaletas de asbesto-cemento (Canaleta 43).

2.2 Reproducción

2.2.1 Reproducción natural

Los peces de la familia Salmonidae son de carácter reofílico con respecto a la reproducción, lo que significa que remontan las corrientes para finalizar su ciclo reproductivo con cortejo y la emisión simultánea de los productos sexuales.

Cuando el pez se encuentra en las últimas etapas de su madurez permanece cerca de la desembocadura del curso de agua que va a remontar, que por lo general es el mismo en el cual nació. Luego inicia el remonte y en el trayecto completa su madurez. La hembra busca en los remansos un lugar que presente un substrato apropiado (grava fina, corriente suave) y una vez definido el sitio, por medio de fuertes coletazos, forma una o varias concavidades en el suelo y luego se inicia el cortejo con el macho finalizando con la emisión simultánea de sus productos sexuales y la

fertilización. Las ovas permanecen en ese substrato hasta la eclosión y reabsorción del saco vitelino. Luego los alevinos inician el trayecto corriente abajo.

2.2.2 Reproducción artificial

Implica adelantar todas las etapas que conciernen a los procesos de obtención de ovas, desde el mantenimiento y manejo del plantel de reproductores hasta el levante final de los alevinos logrados después de la incubación del material. La producción de semilla es una especialidad en la cría de truchas y un proceso exigente que requiere rigurosas condiciones de sitio, calidad de aguas y labores de manejo.

Selección y manejo de reproductores

En Colombia la producción de ovas es relativamente constante a lo largo del año, con picos en las épocas que corresponden a los meses de menor temperatura en el hemisferio norte, entre los meses de noviembre a marzo. La revisión de la madurez de los reproductores es entonces un procedimiento permanente en las fincas de producción. Las hembras desovadas deberán ser retiradas del grupo principal, al igual que aquellas cuyas características indiquen la proximidad de la ovulación. Aun cuando esta circunstancia requiere de instalaciones mayores para el manejo de lotes parciales, se facilita y mejora el control sobre los mismos.

La maduración de las hembras, en las condiciones relativamente constantes del trópico, se inicia a partir del decimoctavo mes de vida llegando a su madurez total alrededor del segundo año (Fig. 3).

Las características de una hembra madura son:

- Abdomen abultado y flácido
- Poro genital prominente y rojizo

Las hembras deben ser revisadas permanentemente, la frecuencia de está revisión depende de la temperatura del agua como del número de animales disponibles, a temperaturas más bajas el tiempo entre una revisión y la siguiente puede ser mayor, debido a que la ovulación y la subsecuente maduración toma más días y de esta manera se reduce el riesgo de perder puestas por sobremaduración y se evita una manipulación excesiva. Cuando el numero de padrotes es alto, las revisiones deben ser más frecuentes pues es mayor la probabilidad de encontrar hembras ovulando. Los porcentajes de fertilización máximos para una hembra se dan unos días después de que ha ocurrido la ovulación. A unos 10 °C los huevos sobremaduran en aproximadamente 8 días, lo que reduce la fertilización.

Por las condiciones tropicales del país el desove ocurre cada seis u ocho meses. La fecundidad de la especie es de 1500 a 2000 huevos por kilogramo de peso/ desove, lo que permite calcular el numero de ejemplares necesarios para una determinada producción. Si bien se han registrado casos de desove cada seis meses, es decir dos veces al año para una misma hembra, en las condiciones normales de manejo de la reproducción se puede considerar que el periodo entre desoves es cada ocho meses y generalmente el primer desove no se utiliza.

La vida útil de una hembra reproductora se estima en unos cuatro años contados desde que alcanza su primera madurez. Los machos son más precoces y logran la madurez alrededor de su primer año de vida, son utilizados como reproductores hasta que alcanzan los 5 años, debido a que con la edad se da cierta retención del esperma en el momento del ordeño.

El macho maduro se caracteriza por:

- Presentar un color de piel más oscuro y brillante.
- La extremidad de su maxilar inferior se acentúa hacia arriba tomando la forma de gancho, siendo más notorio en los adultos.
- La cabeza vista de perfil es más alargada.
- Haciendo una leve presión en el abdomen hay expulsión de semen.

Debido a que estos maduran quincenal o mensualmente no es necesario mantener una gran cantidad. Se recomienda un macho por cada tres hembras.

Las hembras deben mantenerse separadas de los machos, e igualmente por grupos dependiendo de su estado de madurez, el que se verifica semanalmente mediante una suave presión sobre el abdomen que ocasiona la salida de los huevos. Los que están muy maduros o pasados se distinguen en el momento de la extracción por ir acompañados de mucho fluido ovárico y se observan puntos blanquecinos opacos, estos huevos no deben ser utilizados.

El grado óptimo de madurez en los machos se distingue por los siguientes características:

- Calidad del semen que debe ser blanco y cremoso.
- Papila genital, aunque menor que la de la hembra, también se enrojece y se proyecta.
- Coloración externa del cuerpo que se acentúa en esta época.

2.3 Metodología del desove

Una vez los reproductores están maduros y listos para la extracción de sus productos sexuales son llevados a estanques especiales para su manejo. Se deben tener listos los elementos a utilizar en el desove (baldes, vasijas, plumas, etc.) debidamente desinfectados. Inicialmente se depositan las hembras en bañeras plásticas con agua a la que previamente se le agrega anestésico (MS 222, a una concentración de 75 ppm); al cabo de 2 minutos el pez comienza a perder el equilibrio, y es el momento cuando el operario retira la hembra del agua que contiene el tranquilizante y se introduce en agua fresca se lava bien y se seca suavemente para evitar que se humedezca el recipiente donde se van a recibir los huevos. El reproductor es apoyado lateralmente sobre el antebrazo derecho, con el poro genital en dirección al recipiente, sujetando con la mano izquierda la región caudal, de forma que la hembra permanece inclinada con la cabeza hacia arriba. Con el pulgar y el índice de la mano derecha se ejerce una ligera presión en la cavidad abdominal desde la parte anterior del tronco hacia el orificio genital; en los ejemplares completamente maduros los productos sexuales deberán fluir libremente (Fig 4).

El diámetro de las ovas de trucha oscila entre los 3 y los 6 mm, y existe relación entre el tamaño de la hembra con el de la ova que produce. A veces los huevos pueden salir acompañados con un poco de sangre, si esto sucede significa que las presiones han sido demasiado fuertes y hay ruptura de algún vaso sanguíneo. Normalmente estas pequeñas hemorragias no tienen importancia.

Una vez conseguidos los huevos de 4 a 5 hembras, se extrae el semen de los machos realizando la misma metodología descrita hasta que una película blanca los cubra completamente, indicando que la cantidad añadida es suficiente.

3. FECUNDACIÓN ARTIFICIAL

Existen dos métodos utilizados en la recolección de los huevos:

- El método húmedo.
- El método seco.

El método húmedo consiste en la recolección de los huevos en una vasija con agua a la cual posteriormente se le añade el semen. Si este proceso se efectúa con rapidez, se obtienen altos porcentajes de fecundación. Si se realiza lentamente, el porcentaje de fecundación puede ser bajo, debido a que la motilidad del espermatozoide en medio acuoso es de 30 a 90 segundos, por otro lado el huevo absorbe agua hidratándose y el micrópilo se cierra impidiendo la entrada del esperma. Por estas razones es **más utilizado el método seco**, con el cual se permite llegar a una fecundación prácticamente total de los huevos. En este sistema los huevos son recogidos en un recipiente completamente seco.

Estos procesos deben efectuarse en un lugar protegido, sin incidencia de luz solar directa.

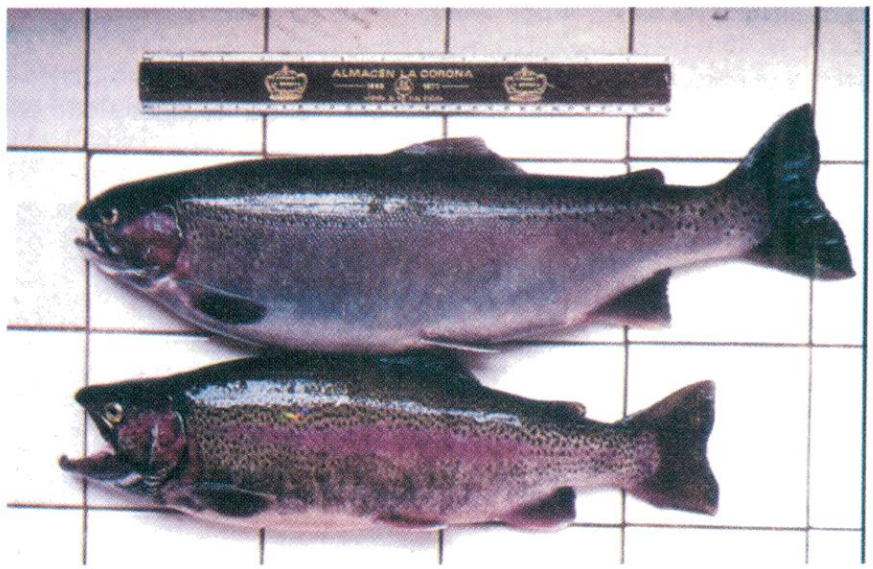


FIGURA 3. Reproductores de trucha arcoiris: hembra (arriba) y macho (abajo)

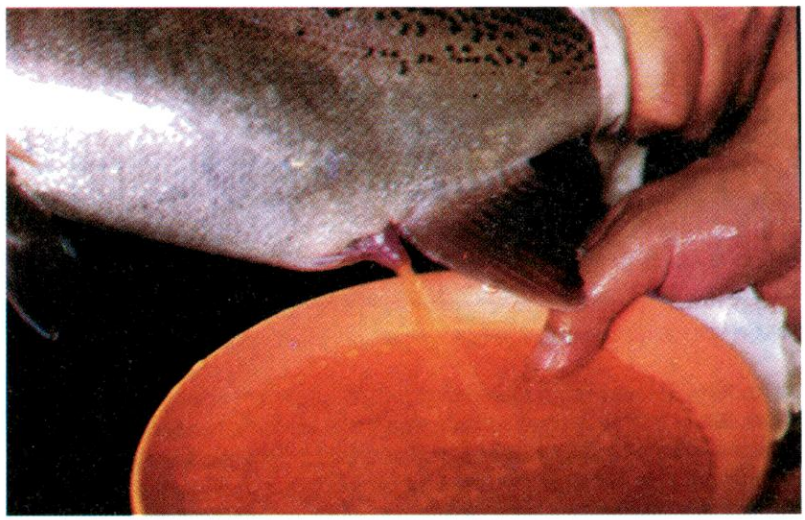


FIGURA 4. Proceso de obtención de huevos de trucha

3.1 FERTILIZACIÓN

La fertilización ocurre cuando el espermatozoide penetra en el óvulo por el micrópilo. Una vez extraídos los productos sexuales, tanto de la hembra como del macho, se mezclan homogéneamente con una pluma durante un minuto, luego se adiciona agua de tal manera que la totalidad de los huevos queden cubiertos y se continua con la mezcla, pasado un minuto, se añade agua para retirar restos espermáticos y materia fecal, hasta que quede completamente limpia y dejando el doble de agua que ocupa el volumen de los huevos, deben permanecer en reposo por un término mínimo de 60 minutos, tiempo en el cual ocurre la hidratación y endurecimiento de la membrana externa; luego se desinfectan con un producto a base de yodo.

Después de realizado un desove, el volumen obtenido debe ser cuantificado tanto para ajustar la cantidad a ubicar en cada unidad de incubación, como para lograr un estimado del numero de larvas y alevinos a obtener después del proceso.

Las ovas son contadas antes de iniciar el proceso de incubación; este procedimiento puede ser efectuado por volumetría, que consiste en determinar el volumen de agua que desplaza un número conocido de ovas, a partir del cual se puede calcular el número real de huevos con el que se cuenta, aplicando la siguiente formula:

$$\textbf{No. ovas} = \frac{N \times Vt}{Vn}$$

En donde:

N = Número de ovas de la muestra
Vn = Volumen de agua desplazado por N
Vt = Volumen de agua desplazado por la totalidad de las ovas

Otro método de conteo utilizado es el que se realiza mediante el calculo del peso de las ovas (método gravimétrico). Es un procedimiento similar al anterior con la diferencia de que la muestra es pesada y también el número total de ovas. La formula es la siguiente :

$$\textbf{No. ovas} = \frac{N \times Wt}{Wn}$$

Donde :

N = Número de ovas de la muestra
Wt = Peso total de las ovas
Wn = Peso de la muestra N

Como desventaja de este método está la pérdida de ovas por manipulación.

Un método más práctico consiste en la tara de un pequeño recipiente con el que se determina el número aproximado de ovas que puede contener. Todos estos métodos son aproximados y debe tenerse en cuenta que existe un porcentaje de error.

EL sistema más preciso y rápido es aquel en que se emplean contadores automáticos que presentan una celda fotoeléctrica y tiene una capacidad de conteo de 1000 a 1500 ovas por minuto. Es el adecuado para grandes productores, no se recomienda para pequeños productores por su elevado costo.

3.1.1 Pruebas de fertilización

No todas las ovas obtenidas son finalmente fertilizadas, aun cuando los procedimientos de manejo hayan sido realizados eficientemente. Esto se debe a varios factores, entre los cuales especial importancia tiene el que las hembras son trabajadas en diferentes días después de la ovulación, lo cual significa que existe un variable potencial entre las mismas para alcanzar elevados porcentajes de fertilización. La determinación del numero real de ovas con el que se cuenta es fundamental para lograr una adecuada planificación de la producción.

La prueba de fertilización se realiza, entre seis y ocho días de incubación dependiendo de la temperatura. Para el efecto se retira una muestra correspondiente al 1 a 2 % de las ovas presentes y se sumerge en una solución de metanol: ácido acético: agua (proporción 1:1:1). Trascurridos uno o dos minutos aparece en las ovas fertilizadas una línea blanca que corresponde al cordón neural del embrión en formación (Fig. 5). Los huevos no fertilizados se muestran traslúcidos.

El número real de ovas fertilizadas se encuentra por las siguientes formulas:

$$\textbf{Factor de fertilización (FF)} = \frac{\text{Número de ovas con embrión normal}}{\text{Número de ovas de la muestra}}$$

El resultado de ésta relación es un factor que varía entre 0 y 1, entre más alto sea el valor nos indica mayor número de ovas fertilizadas.

Número real de ovas fértiles = FF x Número total de ovas en incubación

El producto entre el factor fertilización (FF) y el número total de ovas en incubación muestra el número real de ovas fertilizadas en el desove.

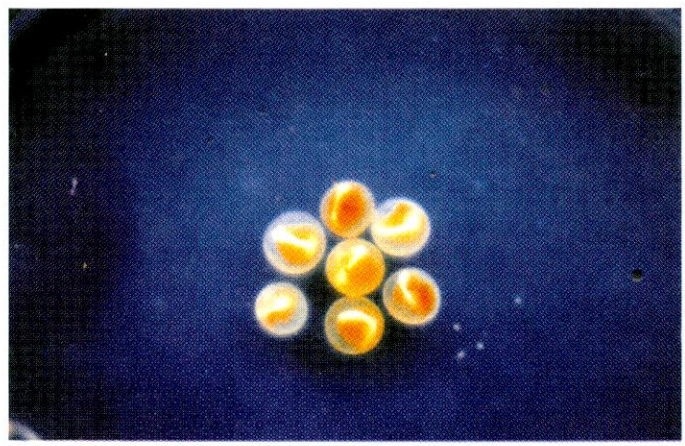


FIGURA 5. Ovas fertilizadas en las que aparece el cordón neural de un embrión con unos ocho días de desarrollo.

Lotes con un bajo valor de fertilización deben evaluarse permanentemente y en algunos casos su eliminación puede ser conveniente debido a que en este tipo de ovas originan pérdidas significativas en las etapas posteriores del cultivo.

Los registros siguientes durante la incubación corresponden a los datos sobre la mortalidad la cual debe ser retirada periódicamente. Al final de la fase y disponiendo tanto del número real inicial (ovas fertilizadas) como del número de larvas obtenidas, se calcula un Índice de Eficiencia con la fórmula siguiente:

$$\textbf{Índice de eficiencia} = \frac{\text{Número de larvas obtenidas}}{\text{Número real de ovas fértiles}}$$

El registro constante de estos parámetros (Factor de Fertilización, Índice de Eficiencia) permite establecer el rango normal de trabajo en cada sitio y, consecuentemente, facilita la rápida detección de problemas asociados al manejo de la producción, además del control a la operación del centro. Adicionalmente favorece la evaluación y comparación interna en programas de selección, grupos de reproductores, padrotes individuales, ciclos anuales o con otras granjas de producción.

3.2 INCUBACIÓN

Se entiende por incubación el período durante el cual el pez se desarrolla dentro del huevo y desde este momento hasta el nacimiento del alevín, se distinguen dos fases bien definidas:

- La primera denominada **ova verde** comprende desde la fecundación hasta la aparición de los ojos.
- La segunda denominada **ova embrionada** va desde la aparición de los ojos hasta el momento de la eclosión.

La duración de este período se expresa en grados día. Lo que indica el número de días que tarda el proceso de incubación de los huevos a la temperatura de un grado centígrado. Para la trucha arcoiris está definido en un rango de 290 a 330 grados/día.

La eclosión dura alrededor de 50 grados/día, esto quiere decir que las primeras larvas nacen a los 290 grado/día y las últimas a los 330, aproximadamente. Los mejores resultados en el proceso de incubación se obtienen con una temperatura del agua entre los 9 y 12 grados centígrados, el pH entre 7 - 8.5 y el oxígeno disuelto en 7 ppm.

3.2.1 Selección de ovas

Una práctica que mejora la calidad, especialmente cuando no se dispone de lotes homogéneos de reproductores, corresponde a la separación de los lotes de ovas en grupos de acuerdo con su diámetro. Se ha establecido que este manejo mejora la calidad de los alevinos.

Para llevar a cabo ésta selección se pasan las ovas a través de clasificadores con perforaciones de diferente diámetro. La ventaja de dividir los lotes en subgrupos estriba en que se incrementa la homogeneidad de los alevinos. Esta clasificación se puede efectuar tanto en ova verde, inmediatamente después de la fertilización, y antes de que las ovas ingresen a incubación, obteniéndose mejores resultados en ova embrionada.

La relación entre el tamaño de la ova y la talla de la larva es directa; es decir, las ovas de mayor diámetro dan origen a larvas de mayor tamaño y viceversa. Esto no significa que las larvas menores, por esta razón, tengan un menor potencial de rendimiento en cultivo. Cuando tal separación no se efectúa, las diferencias iniciales tienden a acentuarse, dando origen con el tiempo a una mayor proporción de animales pequeños, precisamente los que en cultivo se califican como "colas".

3.3 Desarrollo del embrión

Desde el momento del desove de la hembra, el huevo presenta las siguientes características estructurales:

La mayor parte del huevo está constituido por un líquido amarillento y viscoso denominado vitelo, sales neutras y corpúsculos oleaginosos. Este se encuentra protegido por una membrana protoplasmática denominada membrana vitelina que se ensancha en la parte cercana al micrópilo, formando el disco germinal, donde se encuentra el núcleo al que se fusionará el espermatozoide. Protegiendo el huevo se encuentra una cáscara porosa, con una abertura llamada micrópilo por donde penetra el espermatozoide. Entre la cáscara y la membrana vitelina se encuentra el espacio perivitelino (Fig. 6).

Durante todo el proceso el embrión se alimenta del vitelo, por lo que es importante manipular lo menos posible las ovas, puesto que si la membrana vitelina se rompe las sales salen al espacio perivitelino y muere el embrión; por lo tanto las ovas sólo deben manipularse entre las 48 horas siguientes a la fecundación y a partir de la fase de ova embrionada. A veces existen huevos no fecundados cuyo aspecto exterior da la apariencia de un huevo normal fecundado, por lo que es necesario en la etapa de ova embrionada efectuar un chequeo que a su vez ayuda a eliminar los embriones débiles o defectuosos. El chequeo consiste en succionar los huevos con la ayuda de una manguera desde la incubadora y lanzarlos a un balde con agua a una altura que oscila entre 20 ó 30 centímetros. Los huevos que tomen una coloración blanquecina después de efectuar este proceso deben ser retirados .

3.4 Eclosión

Cuando el nacimiento está próximo el huevo se vuelve ligeramente ovalado, su membrana exterior pierde consistencia y luego por acción de una enzima proteolítica (diataza) se disuelve, ayudando al nacimiento de la larva.

3.5 Larvas (Alevinos con saco o vesícula vitelina)

Este periodo comprende desde la eclosión hasta la reabsorción del saco vitelino. Los peces recién eclosionados presentan una gran bolsa en forma ovalada en su región ventral, la cual contiene un material de reserva que es

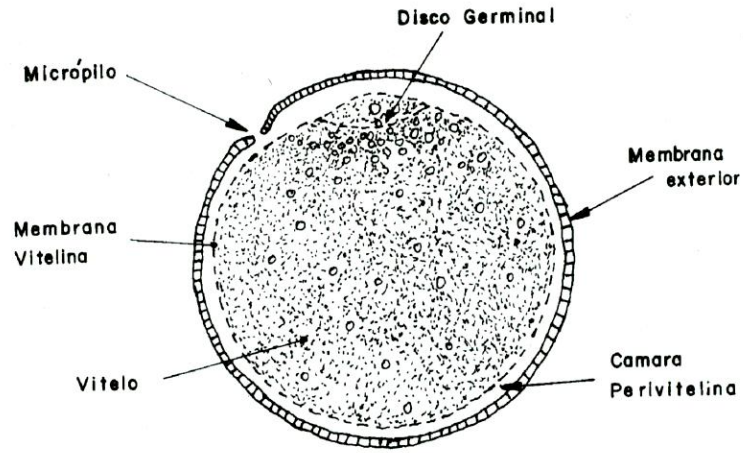


FIGURA 6. Corte transversal de un huevo de trucha (Tomado de Amaya y Anzola, 1988)

utilizado en la finalización de su desarrollo. Su talla inicial es de 15 milímetros aproximadamente y cuando termina esta fase su talla será de 20 milímetros (Fig.7)

Al igual que las ovas deben ser mantenidas en completa oscuridad y no se deben perturbar en lo posible. Es muy importante extraer los huevos cuya eclosión no se efectuó, igualmente se deben retirar diariamente las larvas muertas con el fin de evitar contaminación por bacterias y hongos.

La duración del proceso de la reabsorción de la vesícula depende de la temperatura y por lo general tiene una duración de 1 a 2 semanas (180 a 200 grados/día), hasta. que los alevinos empiecen a nadar y consumir alimento. El inicio de la alimentación es un momento clave para el futuro desarrollo de los peces. Un criterio práctico es el de suministrar el alimento cuando aproximadamente un 10% de la población empieza a nadar. Mientras más veces al día se alimente los resultados obtenidos en supervivencia, crecimiento y homogeneidad serán mejores. Si es posible, en estas primeras semanas de vida un suministro de comida cada 15 a 20 minutos es ideal. Al menos se debe asegurar entre 13 y 16 comidas diarias.

En caso de que el criadero no cuente con canaletas para mantener las larvas, estas pueden depositarse en canastillas cuya estructura sea de madera, fibra o fórmica forradas con angeo plástico tipo mosquitero con tapa, las cuales se instalan en los canales de alevinaje, separadas del fondo unos 10 a 15 centímetros, con el fin de evitar que los materiales en suspensión, que provienen del agua que alimenta el canal, afecten los pequeños peces.

3.6 SEMILLA IMPORTADA

Se refiere a la utilización de ovas adquiridas en centros extranjeros especializados en el manejo, producción y sistemas de distribución de ovas. Para este tipo de semilla, los productores adquieren directamente las ovas y finalizan con la incubación y las demás fases de reabsorción y alevinaje, lo cual es posible siempre y cuando se cuente con las necesarias condiciones de calidad de agua, siendo necesario llevar a cabo este proceso en el rango de temperatura adecuado.

Cuando estas condiciones no se dan, los alevinos provenientes de ovas importadas son adquiridos para continuar con ellos las fases restantes de la producción de carne. En algunos casos, si las características del sitio lo permiten, ciertos productores adquieren larvas en estado avanzado de reabsorción de saco vitelino, con lo que se reducen los costos.

De cualquier manera, la utilización de ovas importadas requiere adelantar la fase final del proceso de incubación, desde ova embrionada hasta eclosión, además de la reabsorción de saco vitelino, para lo cual se necesita disponer de infraestructura apropiada. Estas ovas son transportadas en empaques térmicos, en los que se mantienen a una

temperatura de 1 a 3 °C y permanentemente húmedas (Figs. 8 y 9). Las ovas se ubican en las canastillas superpuestas, colocando abundante hielo en la primera y en la última. Con un empaque adecuadamente realizado, el transporte en esta fase puede durar hasta 72 horas.

Finalizado el transporte se debe proceder con la aclimatación de las ovas de forma que se logre aumentar la temperatura de manera suave y constante hasta alcanzar la del agua en las incubadoras. La aclimatación se puede realizar ubicando las ovas directamente en agua que ha sido enfriada hasta la temperatura del empaque y el incremento se hace mediante la adición paulatina de agua a mayor temperatura.

En otro procedimiento, las ovas se dejan en las bandejas de empaque y se bañan constantemente (cada 10 – 15 minutos) con agua a una temperatura uno o dos grados superior. El incremento debe ser monitoreado permanentemente con un termómetro, con un ascenso de temperatura entre 2 y 4 °C por hora, hasta llegar al punto en el que se encuentra el agua en las incubadoras. El tiempo total de aclimatación puede estar entre las 2 y las 4 horas.

Finalizado el procedimiento se debe contar el número de ovas y proceder a su colocación en el sistema de incubación bien sea en incubadoras verticales de flujo descendente o en canastillas (tipo californiano) ubicadas en canales horizontales. El flujo aproximado en incubación es de 1.5 – 2.5 litros por minuto por cada 10000 ovas.

3.7 Control sanitario en ovas y larvas

Las canaletas, bastidores, baldes y demás elementos a utilizar deben estar previamente desinfectados, con un producto a base de yodo a una concentración de 250 ppm.

Las ovas verdes una vez hidratadas y con cáscara endurecida pueden ser sometidas a un baño corto en una solución de yodo a una concentración de 50 ppm.

Los huevos muertos o no fecundados son rápidamente atacados por hongos, generalmente de los géneros *Saprolegnia* y *Achyla*, por lo que se recomienda la utilización de verde de malaquita libre de zinc en solución, cuya concentración final sea de 2 ppm. Para los sistemas de flujo horizontal se adiciona en la cabecera del canal, realizando una disminución en el nivel del agua de tal forma que la droga actúe durante 30 minutos. En el caso de las incubadoras de flujo vertical se puede aplicar por goteo (una gota por segundo) en la entrada del agua de la primera bandeja de incubación durante una hora cada dos días. Una vez ocurra el embrionamiento se reduce a 15 ó 30 minutos y se suspende 3 a 5 días antes de la eclosión.

En la etapa de reabsorción la mortalidad es mínima si el manejo y situación sanitaria son correctas; esto se logra substrayendo las ovas muertas, las cáscaras y los alevinos que van muriendo, pues son focos de infección. Cuando se inicia el suministro de alimento es necesario retirar diariamente por sifoneo el concentrado que no fue consumido.

Es normal observar peces con diferentes anomalías como alevinos siameses, con problemas de columna (enrollados), con dos cabezas, entre otros, que no causan ningún problema y por lo general mueren en un corto tiempo.

La enfermedad más común para esta etapa es la del SACO AZUL, que se caracteriza por un aumento en el tamaño del saco vitelino y se torna de una coloración azul. Parece que esta situación se presenta por una acumulación de desechos metabólicos, la cual se puede subsanar aumentando el flujo de agua.

La ENFERMEDAD DE LAS BURBUJAS es poco común pero se puede presentar por una sobresaturación de oxígeno y otros gases en el agua que se acumulan en el saco vitelino, deformándolo y en otros casos puede presentarse bajo la piel. La solución es obligar a que el agua de la fuente transite por un recorrido largo con el fin de liberar los gases.

3.8 Alevinaje

Una vez las larvas han reabsorbido su vesícula vitelina, nadan libremente y reciben el alimento sin ninguna dificultad y ya en esta etapa se denominan alevinos, hasta que alcanzan una talla aproximada de 8 cm, momento en el cual se llaman dedinos o juveniles y se comienza con la etapa de engorde.

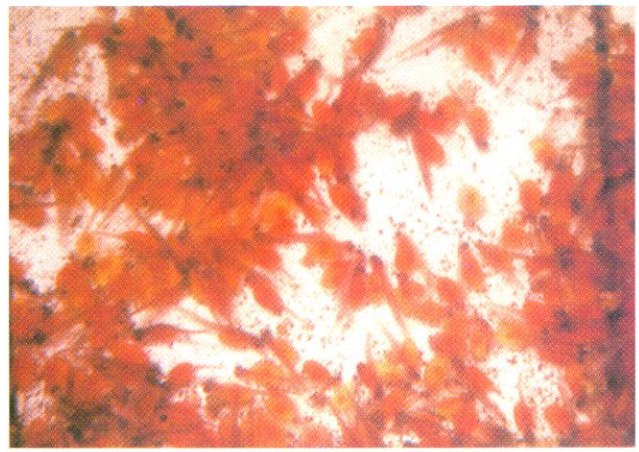


FIGURA 7. Larvas de trucha arcoiris en las cuales se observa el saco vitelino



FIGURA 8. Ovas embrionadas en las bandejas de empaque.

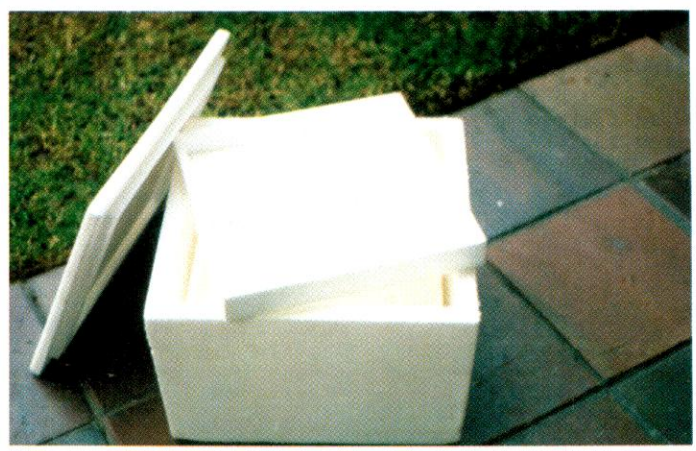


FIGURA 9. Nevera utilizada en el transporte de ovas embrionadas.

La fase de alevinaje es uno de los períodos más críticos, donde se deben tener muchos cuidados en el manejo, pues de esto depende el éxito o fracaso de un criadero de trucha especialmente en tallas entre 2.5 - 3.5 cm.

3.8.1 Infraestructura

Algunos productores de semilla utilizan los mismos canales donde se encuentran las larvas para el levante de los alevinos hasta una talla de 5 cm, trasladándolos luego a canales externos. Cuando no se cuenta con esta infraestructura, las pequeñas truchas son transportadas a estanques en el exterior de forma rectangular o circular y construidos en cemento, fibra, madera o material galvanizado; este último debe ser recubierto con una pintura a base de caucho, con el fin de evitar la formación de óxido de zinc que es altamente tóxico.

Como los alevinos son muy sensibles a los rayos solares directos, los canales deben estar en un lugar protegido denominándose este sitio galpón o sala (Fig.10).

Las piletas de forma rectangular son muy similares a las utilizadas en el mantenimiento de las larvas, la principal diferencia se encuentra en el tamaño. Deben presentar la entrada y salida del agua opuestas y las paredes y fondos deben ser lo más lisos posibles (cemento esmaltado o porcelanizado), con el fín de evitar el maltrato de los peces debido al roce y acumulaciones de material que pueden afectar la calidad del agua y obstaculizar el flujo. Igualmente deben ser pintados de un color claro para facilitar la observación permanente de los animales.

El suministro de agua puede ser por tubería, manguera o por canal, pero siempre se debe contar con un registro para el control del caudal. La salida o desagüe puede diseñarse por rebosamiento o por vertedero y el más utilizado por lo práctico es el sistema en tubo que permite mantener el nivel del agua, pero el diámetro de este debe ser superior al del tubo de entrada.

Muchos productores utilizan estanques circulares para alevinos de tallas superiores a los 5 cm, que por presentar una corriente tangencial hace que los peces permanezcan nadando contra la corriente sin encontrar obstáculo alguno, fortaleciendo su musculatura y por ende su crecimiento es más vigoroso. Así mismo se distribuyen uniformemente por todo el espacio disponible permitiendo tener mayor densidad por unidad de área en comparación con los tanques rectangulares. (Tabla 1).

Este sistema presenta un desagüe central y su fondo debe estar inclinado en todas sus direcciones hacia este y con una pendiente del 5 al 10%. Esto representa la ventaja de permitir una autolimpieza del material sedimentado. Al igual que los anteriores su interior debe ser completamente liso. La salida del agua y el control del nivel se realizan desde afuera, por un tubo acodado que se comunica con el tubo central de desagüe. La entrada del agua debe efectuarse desde un tubo perforado colocado perpendicularmente al tanque; de esta manera el agua es expulsada a presión por los orificios originando una corriente circular (Fig. 11).

Las dimensiones de los tanques son variables dependiendo del número y tamaño de las truchas, encontrándose desde 2 hasta 15 metros de diámetro con una profundidad de 50 a 80 cm.

El buen desarrollo de los alevinos se ve influenciado por varios factores, entre los cuales vale la pena mencionar:

- Cantidad y la calidad del agua
- Densidad
- Manejo
- Alimentación

La cantidad de agua que debe ingresar al estanque está condicionada al número de alevinos que se requiera mantener. Como orientación, las tablas 2 y 3 indican las necesidades de caudal y espacio para un número determinado de peces de acuerdo a la talla y temperatura del agua.

De la calidad del agua depende el desarrollo de los animales. esta debe encontrarse sin ningún tipo de contaminación, poco sedimento y con parámetros físico-químicos estables. Uno de los factores de mayor influencia es la temperatura, que es ideal cuanto más próximo se encuentre al rango óptimo (tabla 4).

TABLA 1. Relación respecto a la densidad en estanques rectangulares y circulares

Longitud de los dedinos	Número por m² en estanque	
	Circulares	Rectangulares
6 cm	2100	1000
7 cm	1500	750
8 cm	1200	600
9 cm	1000	500
10 cm	850	400

Fuente: BIOTER S.A., 1972

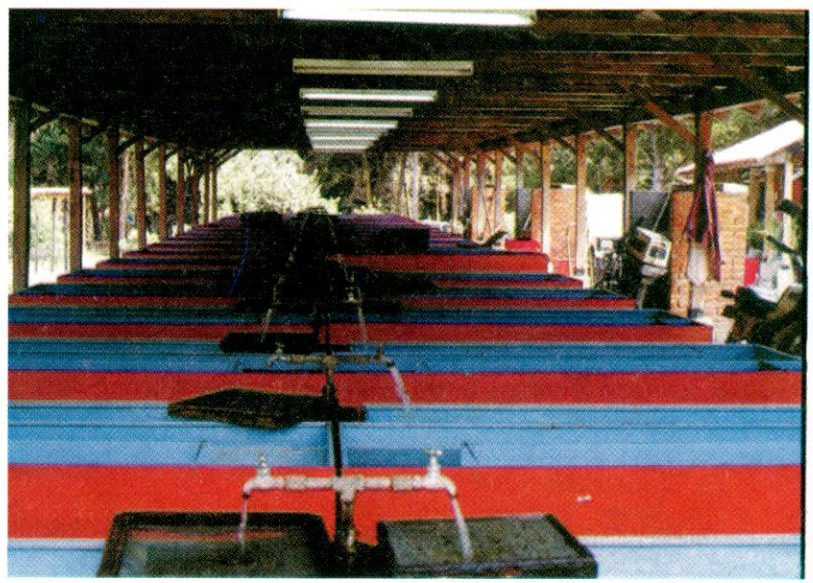


FIGURA 10. Galpón de alevinaje donde permanecen los alevinos protegidos de la luz solar directa

No es suficiente una buena calidad y cantidad de agua para obtener excelentes truchas. La parte más importante es la atención prestada a los alevinos, las constantes labores de limpieza, una adecuada alimentación, la selección por tallas y la adición de medicamentos preventivos y/o curativos que harán de los pequeños peces unos excelentes adultos.

TABLA 2. Caudal mínimo en litros/minuto para 10000 alevinos según la temperatura del agua.

Longitud de los alevinos (cm)	Temperatura del agua (°C)				
	5	7	10	12	15
3.0	5	6	7	8	10
3.5	7	8	10	12	15
4.0	10	11.5	14	16	20
4.5	14	16.5	20	24	30
5.0	18	21	26	30	40

Fuente: Martín (1976)

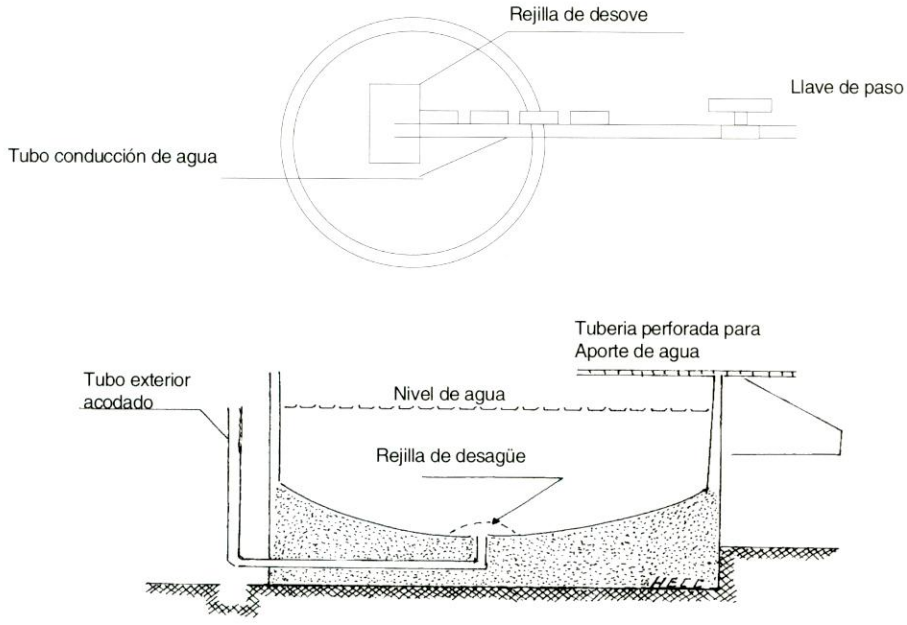


FIGURA 11. Estanque circular para el cultivo de la trucha

TABLA 3. Necesidades de espacio para el levante de los alevinos de trucha

Longitud de los alevinos (cm)	Alevinos por m²	
	Ejemplares/m²	Kilos/m²
1.5	10000/30000	1/3
2	10000/30000	1/3
3	10000	3.8
4	3000/5000	2.4/4
5	2500	3.5
6	1500	4

Fuente: Martín (1976)

TABLA 4. Influencia de la temperatura del agua en el crecimiento de los alevinos de trucha arcoiris.

Temperatura del agua (°C)	Talla (cm) al cabo de:			
	60 días	90 días	120 días	150 días
5	2.5	3.0	3.5-4	5.0
7	3.0	3.5	4.5	5.5
10	3-3.5	4-5	5-7	6-9
12	4.0	6.0	8.0	10.0
15	5.0	7.0	9.0	11.0

Fuente: Martín (1976)

Dentro de un lote de alevinos, incluso procediendo de los mismos reproductores y mantenidos en iguales condiciones, siempre existirá diferencia en el crecimiento entre unos y otros, la que se hace más notoria a partir de los 3 cm y puede persistir durante toda su vida. Se pueden presentar, entonces, ejemplares más desarrollados que otros a los cuales se les denomina **"cabezas"** y que corresponden por lo general a un 25 % del lote; un **"centro"** que viene a ser un 50 % y los más pequeños o **"colas"** que constituyen el otro 25 %. Por lo general las cabezas son hembras y las colas son machos.

En esta etapa se presenta canibalismo, por esta razón se debe efectuar una separación por tallas o selección, buscando que no existan diferencias en tamaño superiores al 30 %. De esta manera se controlará la predación. El tamaño de las truchas que se pueden tener en un mismo estanque se presenta en la tabla 5.

TABLA 5. Tamaño máximo y mínimo de las truchas en un mismo estanque

Talla mínima (cm)	2	2.5	4	5	6.5	8	9	10	12	13	14
Talla máxima (cm)	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22

Fuente: Martín (1976)

Existen diferentes aparatos para la clasificación, desde equipos altamente especializados hasta los más sencillos que están formados por una serie de varillas fijas a un bastidor, tal como se observa en la figura 19. La luz entre varilla y el tamaño del pez que pasa entre ellas, se indica en la tabla 6.

TABLA 6. Relación entre la separación de las varillas con respecto a la longitud del pez

Separación de los varillas del clasificador (mm)	Longitud mínima de las truchas que pasan entre ellas (cm)
3	3
4	4
6	6
8	8

Fuente: Martín (1976)

Cuando los peces van a ser manipulados, deberán encontrarse en ayunas; el trabajo debe realizarse en horas de la mañana con el fin de evitar problemas por el incremento de la temperatura del agua y los estanques o canales estar previamente preparados y desinfectados.

Con los equipos y peces listos, se coloca en el estanque el seleccionador de acuerdo a la talla promedio de las truchas a clasificar; los animales se transportan en una caneca al sitio y se hacen pasar por las varillas. Aquellos que no puedan pasar son retirados a un tanque aparte, de ser necesario se pueden realizar simultáneamente las actividades de medición, pesaje y conteos.

A los alevinos se les debe suministrar un alimento balanceado con un alto valor de proteína (preferiblemente entre un 45-50 %). Actualmente en el país ya se dispone de alimentos para truchas que cumplen esta exigencia. En cualquier caso, los gránulos deben tener un tamaño apropiado para la boca del pez, por lo que generalmente se hace necesario moler el pellet, tamizarlo y distribuir la harina resultante.

Una vez establecida la cantidad de alimento diario a suministrar ésta debe repartirse en 8 a 10 dosis diarias, que se esparcen a lo largo de todo el estanque para que la totalidad de los peces puedan tener acceso a la cantidad apropiada.

3.8 Transporte de ovas y alevinos

Prácticamente todas las granjas deben transportar o trasladar ovas o alevinos. Es una actividad bastante sencilla donde la mortalidad es muy baja si se efectúa con las técnicas y cuidados apropiados.

3.8.1 Transporte de ovas

Estas se pueden transportar cuando se han hidratado y su cáscara se ha endurecido. En este estadío no existe problema alguno en su manipulación durante las primeras 48 horas, por lo que fácilmente soportan viajes relativamente cortos de 4 - 5 horas; para tal efecto se utilizan recipientes (cantinas) que se llenan con 1/3 de agua y el resto de huevos. La temperatura conviene mantenerla lo más bajo posible para disminuir el metabolismo del embrión.

Como se describió anteriormente, cuando se observan los ojos (ova embrionada) se pueden efectuar transportes más largos, incluso de 3 a 4 días. Para este caso se utilizan recipientes como cajas de icopor (neveras) o cajas de cartón parafinado, herméticamente cerradas. En el interior se instalan, superpuestas, pequeñas bandejas o canastillas en madera y con malla plástica o icopor con el fondo perforado. Cada una de estas se recubre con gasa estéril previamente humedecida y sobre ella irán las ovas. En la bandeja superior se coloca hielo picado con lo que se mantiene la humedad de los huevos y se reduce la temperatura; para evitar exceso de humedad, en la canastilla inferior se instalará espuma o cualquier material absorbente. Para que no se inicie la eclosión durante el transporte, las ovas deben transportarse cuando lleven acumulados unos 200 grados/día .

Es importante que antes de depositar las ovas en las incubadoras, éstas sean aclimatadas mediante la adición de pequeños volúmenes del agua, en donde serán ubicadas definitivamente.

3.8.2 Transporte de alevinos

Por lo general se realizan en bolsas plásticas de un calibre de 2.5 - 3.0 de fondo circular o cuadrado,. Las dimensiones más comunes son las siguientes: altura 0.80 - 0.90 m., largo 0.30 - 0.35 m., ancho 0.20 - 0.25 m.

Cuando las truchas están contadas se procede a colocarlas dentro de las bolsas que contienen 1/3 de agua. Posteriormente, se inyecta oxígeno hasta que se ocupen las 2/3 partes restantes. Se cierran herméticamente, sellándolas con bandas de caucho, de tal forma que no se dé la posibilidad de escape del oxígeno inyectado.

La cantidad de peces que se pueden transportar por bolsa depende del tamaño del animal y el tiempo del recorrido como se ilustra en la tabla 7.

TABLA 7. Transporte de truchas

Especie tamaño (cm)	Volumen de bolsa(lt)	Cantidad de agua (lt)	Temperatura del agua (°C)	No. de Peces y/o peso (g)	Duración transporte (horas)
Truchas 4 - 6	50	15	10	500 800-12000g	15
Truchas 9 - 12	50	10	10	100 1500 g	12
Truchas 12 – 15	50	15	10	100 2500 g	12

Fuente: Vollman-Schipper (1978)

Cuando el recorrido es largo o es necesario atravesar por zonas cálidas se adiciona hielo alrededor o en el interior de las bolsas. Con el fin de evitar rupturas o pinchazos se recomienda colocarlas dentro de cajas plásticas, icopor o cartón. Una vez finalizado el transporte y si se tiene el lugar preparado para recibir las truchas se introducen las

bolsas en el agua durante 10 a 15 minutos de tal forma que se equilibren las temperaturas; luego se abren y se permite que entre agua del estanque y que los alevinos salgan por su propia cuenta.

Existen otros tipos de recipientes, como los tanques transportadores que son construidos en metal o en fibra de vidrio los cuales llevan acoplados diferentes sistemas de aireación u oxigenación. Se utilizan especialmente para el transporte de peces de una talla superior a los 8 cms y/o para programas de repoblación.

4. ENGORDE

Cuando los alevinos adquieren una longitud entre los 5-8 cm que en peso corresponde a un intervalo aproximado de 1.5 a 6.5 g, se inicia el proceso de engorde o ceba, que finaliza con el sacrificio cuando alcanzan la talla comercial que esta de acuerdo con los requerimientos del mercado.

La duración de ésta etapa está condicionada a las calidades del agua, en especial a la temperatura y al tipo de manejo que se mantenga durante el proceso.

4.1 INFRAESTRUCTURA

El engorde puede desarrollarse en estanques o en jaulas.

4.1.1 Estanques

La forma, tamaño y distribución de los estanques depende del caudal disponible y la topografía del terreno. Estos deben cumplir con ciertos requisitos como el mantener una corriente uniforme del agua a todo lo largo y especialmente hacia el fondo con el fin de arrastrar los sedimentos hasta la salida para un mayor aprovechamiento. Los estanques construidos en tierra presentan menor capacidad de carga en comparación con los de cemento, debido principalmente a la retención de materia orgánica que en su degradación disminuye los niveles de oxígeno disuelto, reduciendo su disponibilidad para las truchas en cultivo.

En cuanto a la forma, pueden ser rectangulares o circulares, en los primeros su longitud debe ser aproximadamente 10 veces su ancho; sus características estructurales son muy similares a las utilizadas en el levante de larvas y alevinos. Se recomienda que la conducción del agua se haga por gravedad a partir del canal de distribución y que la entrada al estanque sea en forma de cascada, buscando abarcar la mayor parte del ancho del estanque (Fig. 12),

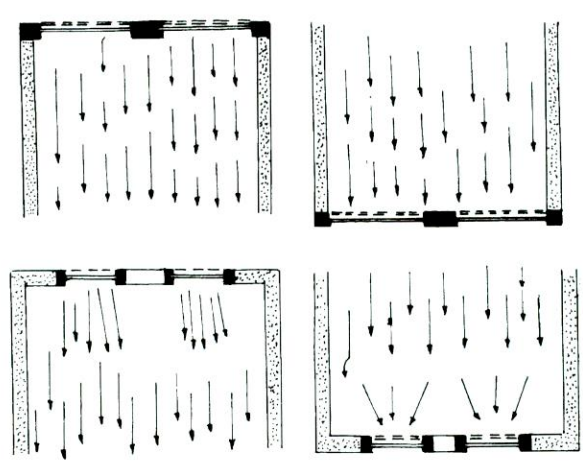


FIGURA 12. Disposición de entrada y salida de agua en los estanques, evitando espacios muertos en los ángulos al disponer de doble punto de entrada y salida (Tomado de Blanco, 1984)

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

así la lámina adquiere una mayor uniformidad y se obtiene disminución de espacios muertos, que corresponden a las zonas donde apenas hay corriente y la renovación es escasa, lo cual ocurre especialmente en las esquinas. Pueden darse otras modificaciones al diseño de la entrada y salida del agua, con las que se evitan los problemas descritos anteriormente y a su vez se aumenta la velocidad para favorecer un mejor rendimiento (Fig. 13).

La salida del agua debe ser de tal manera que se permita renovar especialmente la del fondo, que es la de menor calidad. Para lograr esto se puede utilizar un desagüe de doble compuerta (Fig.14) o un codo en balancín. Con el primer sistema la regulación del nivel se efectúa mediante el manejo de compuertas que constan de varias tablas de madera que permiten disminuir el volumen del agua hasta lograr un vaciado total del estanque. Con el segundo la

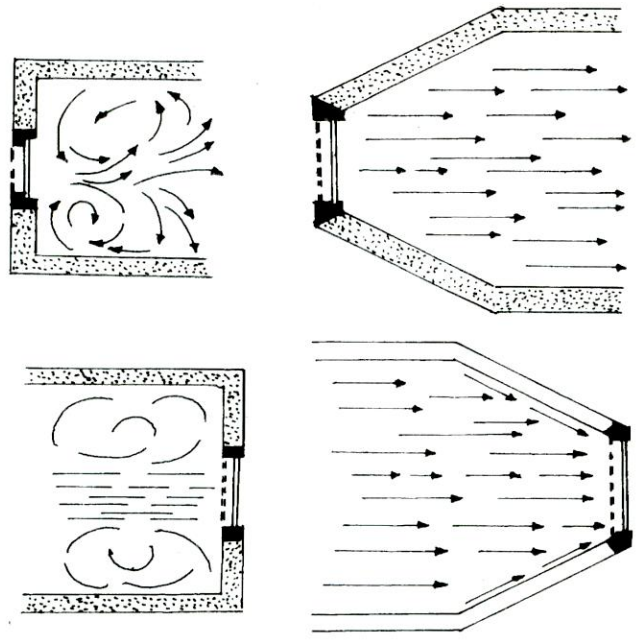


FIGURA 13. La disposición arquitectónica de los estanques favorece el rendimiento hidrodinámico, acelerando la velocidad de la corriente y evitando espacios muertos. (Tomado de Blanco, 1984)

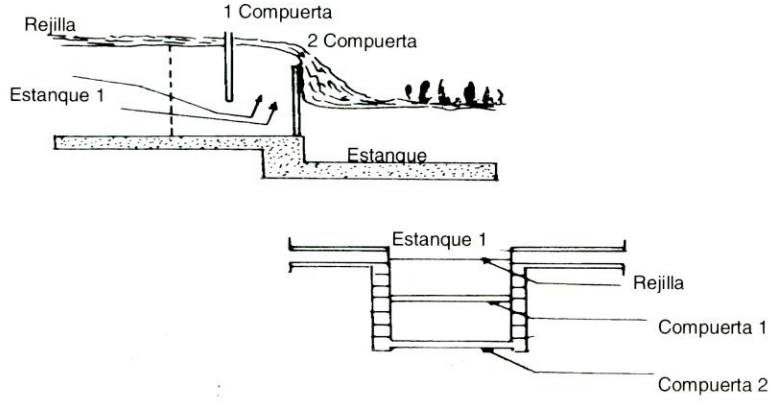


FIGURA 14. Desagüe de doble compuerta, el cual favorece la corriente de fondo mejorando el recambio de agua. (Tomado de Blanco, 1984)

inclinación del tubo acodado regula el nivel; aquí es importante construir un rebosadero en la parte superior de la pared o del dique del tanque para evacuar las aguas sobrantes en caso que se presente una obstrucción en la rejilla.

Cuando la cantidad de agua no es suficiente, los estanques se pueden colocar en serie de tal forma que el rebosadero del anterior sea el punto de entrada de agua para el siguiente; se recomienda establecer entre los dos estanques una diferencia de altura de tal manera que se presente una caída para facilitar una reoxigenación (Fig. 15).

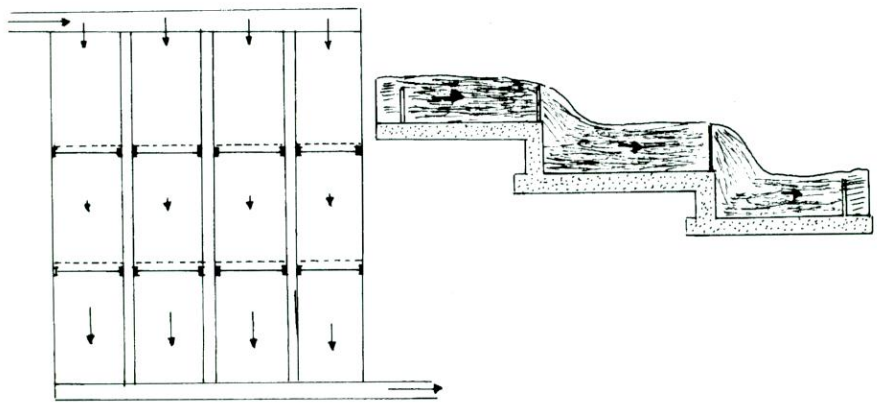


Figura 15. Disposición de los estanques en serie para un mejor aprovechamiento del agua. (Tomado de Blanco 1984)

Con un caudal de agua abundante el sistema de disposición más utilizado es el denominado en paralelo, en donde los estanques se encuentran unidos o comparten sus paredes laterales. En este caso cada uno recibe su caudal independientemente (Fig. 16).

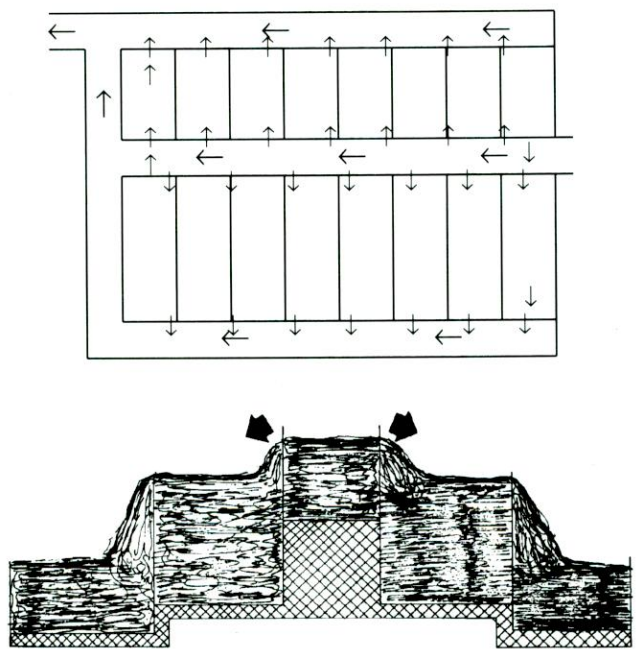


FIGURA 16. Disposición de los estanques en paralelo o espina de pescado. (Tomado de Blanco, 1984)

Los tanques rectangulares pueden ser en tierra, revestidos en material plástico, cemento y concreto. Los primeros son excavaciones sobre el terreno que encierran un volumen dado de agua. El terreno debe presentar de un 20 a un 40 % de arcilla con el fin de evitar filtraciones. La ventaja principal de este tipo de estanque está dada por su reducido costo, sin embargo en estos la capacidad de carga sea menor, además presentan corta vida útil, especialmente por la acción erosiva del agua que deteriora el fondo y los taludes, lo que a largo plazo aumenta los costos de mantenimiento y finalmente, se dificulta las labores de manejo en su interior. Para subsanar estas desventajas se utilizan recubrimientos en plástico, cemento o el material conocido como geomembrana que ha dado excelentes resultados. En este tipo de estanques es conveniente empradizar los taludes para evitar la erosión.

La mayoría de las piscifactorías utilizan estanques de concreto y aunque resultan más costosos ofrecen las siguientes ventajas:

- Pueden ser construidos en cualquier terreno
- Su vida útil es larga y gastos de mantenimiento bajos
- Presentan mejores condiciones sanitarias
- Facilitan las actividades de manejo
- Tienen una mayor capacidad de carga

Estos pueden ir enterrados, semienterrados y superficiales. Los últimos tienen menor costo en su construcción. Los estanques circulares son similares a los descritos para la fase de alevinaje.

4.1.2 Jaulas

Cuando se tiene acceso a un lago, laguna, embalse o a un gran cuerpo de agua que presente las características apropiadas para el cultivo de truchas se puede instalar un sistema de producción en balsas o jaulas flotantes (Fig. 17).

Se trata de recintos encerrados por redes que mantienen un volumen de agua, y donde se mantienen los peces en el mismo medio en que viven, permitiendo un cultivo intensivo. Aquí el agua es renovada continuamente a través de las mallas y de esta forma se aporta oxígeno permanentemente. La temperatura es relativamente constante y se impide la entrada de predadores.

La estructura básica de un sistema de este tipo comprende:

- Sistema de soporte o muelles
- Sistema de flotación
- Redes o jaulas
- Sistema de anclaje

Los soportes o muelles pueden ser construidos en madera, aluminio, hierro galvanizado o cualquier material que sea capaz de soportar el peso de la red y a la vez resista las fuerzas provocadas por el viento y el oleaje. Es conveniente que lleven corredores en todo el perímetro de la jaula para facilitar las actividades de manejo.

Para la flotación del muelle se utilizan canecas metálicas, bidones plásticos, icopor de alta densidad etc., sujetadas por manilas o abrazaderas.

Como en este sistema se adelanta el proceso completo de levante y engorde es necesario contar con jaulas que tengan redes de diferentes ojos de malla que sean los adecuados para cada fase de cultivo y que permita la salida de los residuos de desechos provenientes de la alimentación y excretas. El material más empleado es el nylon multifilamento y el plástico rígido, dependiendo de las necesidades o capacidades del piscicultor. Se recomienda realizar antes de la instalación un tratamiento con pintura asfáltica o algún producto que evite la excesiva fijación de algas, lo que permite una vida útil más larga y que las labores de limpieza sean menos exigentes. Las redes deben ser de un color oscuro, y en lo posible sin nudos, lo que evita la adherencia de algas y que el pez se lastime por rozamiento.

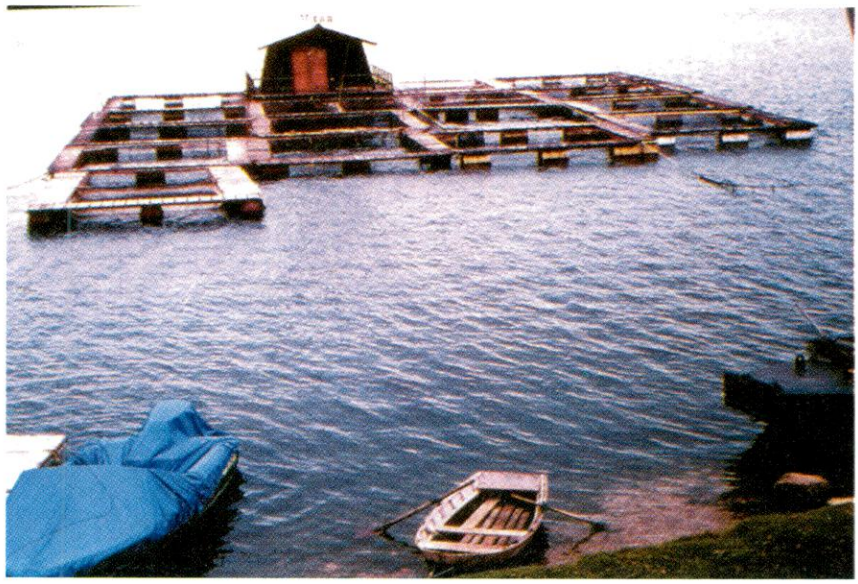


Figura 17. Módulo de jaulas flotante en el lago de Tota (Boyacá)

El tamaño de la jaula puede ser variable y debe estar acorde con las producciones deseadas. Son comunes, las jaulas con una superficie que puede variar entre los 15 y 30 m^2, con una altura comprendida entre los 2 y 4 metros. El ojo de malla se encuentra de acuerdo con la talla de los animales que se cultivan en las diferentes etapas y a su crecimiento, tal como se indica en la tabla 8.

Las redes deben llevar algunas pesas en sus aristas, con el fin de evitar que por acción de las corrientes se replieguen y se pierda volumen efectivo.

Todo el conjunto de jaulas debe quedar fuertemente anclado por medio de cuerdas resistentes (manilas de nylon de más de una pulgada) .

TABLA 8. Relación entre el tamaño de la trucha y el ojo de la luz de la malla

Tamaño de la trucha (cm)	Luz de la malla	
	Pasan (mm)	No pasan (mm)
Menores de 3.5	4	menor 4
Mayores de 3.5 y menor de 6	6	4
Mayores de 6.0 y menor de 10	9	6
Mayores de 10 y menor de 16	15	9

Fuente: García-Badell (1985)

El conjunto de jaulas se ubica de forma perpendicular a la corriente predominante en el cuerpo de agua y en un lugar protegido de fuertes vientos y oleajes. La profundidad desde el fondo de la red hasta el fondo del lago será el doble de la altura de la malla.

4.1.3 Manejo de estanques

Al igual que la producción de semilla, el proceso de engorde requiere unos factores específicos, especialmente un rango ideal de temperatura con el que se logren los mejores resultados. Así, este parámetro debe encontrarse entre

los 13 - 17° C, siendo el óptimo entre 15 - 16°C en promedio y con una variación muy estrecha respecto a estos valores. El oxígeno deberá ser superior a 7 ppm y no debe tener un valor inferior a 5.5 ppm en la descarga.

El caudal debe ser constante y a manera de referencia en la tabla 9 se indican las necesidades mínimas requeridas para 10000 truchas de diferente talla, de acuerdo con la temperatura.

El caudal de ingreso tiene especial importancia debido a que la cantidad de agua que entre al estanque influirá en el nivel de oxigeno disponible para las truchas y por consiguiente en su densidad.

De cualquier manera el flujo al interior del estanque estará limitado también por la velocidad que adquiere el agua dentro de la unidad. Una corriente excesiva genera un ejercicio constante de natación, con los consecuentes gastos energéticos que pueden reducir las tasas de crecimiento esperado. Por el contrario, un flujo demasiado reducido puede resultar peligroso para los peces tanto por la insuficiencia en oxigeno disponible como por una deficiente remoción de los productos de desecho metabólico. Una velocidad máxima del agua del orden de 2 a 3 cm/seg se considera aceptable.

TABLA 9. Caudal necesario para 10000 truchas según la temperatura del agua

Longitud de las truchas (cm)	Caudal mínimo necesario en litros/minuto para 10.000 truchas según la temperatura del agua (°C)					
	5	**7**	**10**	**12**	**15**	**17**
6	25	30	35	40	45	55
8	60	70	80	90	100	125
10	105	120	140	165	195	235
12	170	190	215	265	315	380
14	265	300	335	415	485	575
16	390	425	465	580	700	840
18	565	620	680	800	930	1140
20	780	865	950	1150	1340	1600
22	1030	1150	1280	1450	1680	2000
24	1320	1440	1575	1740	1970	2300
26	1675	1765	1900	2075	2300	2625

Fuente: Martín (1976)

Para efectos de cálculo se estima que por cada tonelada año que se espera producir se requieren entre 2 y 3 litros por segundo. Este valor es una aproximación de referencia cuya exactitud estará relacionada con la calidad del agua, niveles de oxígeno y del número de veces que se reutilice. Entre la salida de un tanque y el ingreso al siguiente la diferencia de altura debe tener un mínimo de unos 50 cm, entendiendo que mientras más elevada sea esta se tendrá igualmente un mayor aporte de oxígeno.

En flujo de entrada debe ser calculado tomando como criterio básico el que la renovación total del agua en cada tanque se haga como mínimo una vez por hora; un mayor recambio (1.5 veces / hora o más) permitirá mantener cargas superiores.

Aguas con pH ligeramente ácido (alrededor de 6.5 a 7) pueden ser utilizadas sucesivamente hasta unas 6 veces.

Otro factor a tener en cuenta es la densidad o cantidad de peces por volumen que es posible mantener adecuadamente, dependiendo del tipo de estanque y tamaño de los peces, siempre y cuando la cantidad y calidad del agua sean óptimas (Tabla 1). En términos generales la cantidad de peces que se puede mantener se basa en el oxígeno presente, en el caudal de ingreso y en la tasa de renovación del agua.

Los estanques se deben limpiar periódicamente para evacuar los sedimentos, detritos, peces muertos y restos de alimento que se depositan en el fondo; de no hacerse periódicamente este proceso se estará propiciando un ambiente favorable para la aparición de enfermedades.

Es importante realizar análisis físico-químicos constantemente; la toma de datos de temperatura y oxígeno disuelto debe efectuarse diariamente y en lo posible dos veces (mañana y tarde), el pH mensualmente y otros parámetros como dureza, alcalinidad, se harán por lo menos dos veces al año, otros parámetros tales como amonio, nitritos, nitratos, etc. deberán monitoriarse con frecuencia debido a que el cultivo intensivo disminuye el nivel de oxígeno disuelto en el interior de la unidad de cultivo y simultáneamente se incrementa el amonio.

4.1.4 Alimentación

En su estado natural la trucha es un pez carnívoro que consume crustáceos, moluscos, insectos y pequeños peces; osea que su dieta está compuesta principalmente por proteínas, grasas, carbohidratos, sales minerales y vitaminas. El alimento es capturado por medio de la vista, ayudado siempre por el olfato. La coloración de su carne está ligada a los carotenos que presentan los organismos que consume.

Actualmente la industria de alimentos concentrados produce piensos debidamente balanceados, para abastecer sus requerimientos nutricionales y de esta manera obtener un buen desarrollo y crecimiento. A manera de información el alimento debe presentar la siguiente composición básica:

Proteína	40 % - 50 %	Humedad	12 %
Grasa	7 % - 18 %	Fibra	3 %
Cenizas	10 %		

Al igual que durante la etapa de alevinaje, el alimento a suministrar diariamente está condicionado a la talla del pez y a la temperatura del agua. Las casas productoras proporcionan las tablas a utilizar.

Una vez determinada la cantidad de comida a suministrar diariamente se debe tener en cuenta que mientras más dosis se ofrezcan los resultados serán mejores. El número mínimo es el siguiente:

Tamaño de los peces (cm)	Número comidas diarias
2.5 - 5	8 - 10
5 - 10	4 - 6
10 - 15	3 - 4
15 en adelante	1 - 2

El alimento debe ser suministrado diariamente al voleo, a lo largo de todo el recinto, con lo que se asegura que la mayoría o la totalidad de los gránulos sean consumidos.

Existen autoalimentadores que presentan la ventaja de reducir la mano de obra que se dedica a esta actividad.

Con el fin de ajustar las tablas se deben efectuar mediciones y pesajes mensuales de los peces y llevar un registro para conocer el índice de conversión que ofrece el alimento utilizado. Con éste se determina la relación que existe entre la cantidad de alimento que se suministra y el incremento en el peso de los animales, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de conversión} = \frac{\text{Peso del alimento consumido}}{\text{Incremento de peso en las truchas}}$$

4.1.5 Selección

La clasificación de los peces es un procedimiento de manejo que debe ser considerado como necesario y periódico, especialmente en aquellos sistemas de tipo intensivo. La selección genera homogeneidad de tallas en cada lote y además da mayor eficiencia en la utilización del alimento (Figs. 18 y 19)



FIGURA 18. Seleccionadores empleados en fase de alevinaje



FIGURA 19. Clasificador para alevinos que se ubica verticalmente en el canal. En este caso se aprovecha la tendencia de las truchas para nadar en contra del flujo, con lo que la selección se efectúa con una menor manipulación.

En aquellos lotes en los que las diferencias de tamaño son apreciables, por lo general los peces de mayor talla tienen mayor oportunidad de alimentarse apropiadamente, generándose diferencias de tamaño.

Sobre el número de veces que es necesario aplicar el procedimiento en un ciclo de cultivo existen opiniones diversas, desde la periodicidad mensual hasta las consideraciones de que la selección no es un proceso del todo indispensable. No obstante, la experiencia muestra la necesidad de entre tres y cinco clasificaciones dentro del ciclo de producción. Debe tenerse en cuenta que se trata de un manejo en el cual los peces se someten a unas fuertes condiciones de estrés, con posibilidades de perdidas.

Por lo menos en alevinos se ha demostrado que una separación temprana permite que los individuos menores, llegan a manifestar tasas de desarrollo que igualan a las de los peces - del mismo lote - de mayor tamaño.

5. SACRIFICIO

La aceptación del pescado en el mercado depende en gran parte de los métodos utilizados en el sacrificio. Es conveniente evitar señales de golpes, pérdidas de escamas, deterioro en las aletas, etc. Entre más rápida y efectiva sea la muerte del pez menores traumatismos presentará.

Entre los métodos de sacrificio más comunes se encuentran la muerte por asfixia o el golpe en la base del cráneo. Aunque estos pueden ocasionar deterioros a nivel externo afectando la calidad del producto.

La aplicación de corriente eléctrica en el agua es uno de los métodos más efectivos que se utilizan en truchicultura de alta producción. Consiste en introducir dos electrodos dentro del estanque y generar una corriente de 0.8 amperios/m^2, con lo que se obtiene la insensibilidad y muerte del animal.

Otro método eficiente es trasladar los peces a un pequeño estanque que contiene agua, sal y hielo y dejarlos hasta que la temperatura se reduzca a - 2° C.; así se provoca la insensibilización de la trucha y posteriormente se realiza el proceso de evisceración.

Una vez se encuentren insensibilizados los peces, se procede a un primer lavado, con lo que se retira el mucus; posteriormente se evisceran y se realiza un segundo lavado. Según las exigencias del mercado, el producto tendrá las siguientes presentaciones comerciales: deshuesado, entero, filete, y diferentes cortes como el mariposa y el kipper.

El proceso de sacrificio debe efectuarse en un lugar adecuado con las mejores condiciones sanitarias y donde se encuentren los elementos necesarios como mesas, lavaderos, balanzas, cuchillos, guantes y un sistema de refrigeración y/o congelación.

La sala de evisceración deberá ser construida alejada de los estanques y tener especial cuidado en la disposición final de los desechos líquidos y sólidos provenientes del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

AMAYA. R. y E. Anzola. 1988. Generalidades sobre el cultivo de la Trucha. INDERENA. Bucaramanga. 61p.

BIOTER S.A. 1972.Manual para el cultivo de Truchas. Ed. Servicios Técnicos Bioter S.A. España. 83p.

BLANCO, M. 1976. Nuevos avances en la reproducción de la trucha, inseminación Artificial en: Tratado de Piscicultura. Gráficas Sánchez. Madrid. 243-249 p.

BLANCO, M.1976. La trucha. Cría industrial. Ediciones Mundi prensa.1984 Madrid. 238 p.

CECCARELLI, P. S. Desemvolvimiento embrionario dos peixes. CEPTA. Brasil. 18 p.

CONROY, D. y C. VÁSQUEZ. 1975. Principales enfermedades infectocontagiosas de los salmonidos. INDERENA-FAO. Bogotá. 252 p.

ERASO, A. 1990. Producción de semilla de trucha. Memorias. Primer curso teórico practico sobre truchicultura en el embalse del Neusa. CAR. Bogotá 8 p.

ERASO, A.y M. SOLER. 1985. Cultivo experimental de la lombriz de tierra y su uso en la alimentación de la trucha arco iris Salmo gairdnerii Richardson 1836. Tesis de grado. Universidad Jorge Tadeo Lozano.Bogotá 48 p.

FORERO, A. 1990. Evaluación de la Eficiencia de tres Fungicidas utilizados en la Profilaxis de Ovas de Trucha Arco Iris en la estación Piscicola del Neusa. Memorias. Primer curso Teórico practico sobre truchicultura en el embalse del Neusa. CAR. Bogotá 5 p.

GARCIA-BADELL, J. J. 1985. Tecnología de las explotaciones Piscícolas. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 325 p.

GUIMARAES, S. M. y J. SENHORINI. 1986. Apostadilla sobre criacao de larvas e alevinos. CEPTA. Pirassununga. Sao Paulo. 42 p.

HUET, M. 1978. Tratado de piscicultura. 2º edición. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid. 745 p.

LOPEZ, C. 1990. Origen, Descripción y distribución de la trucha Arco Iris. Memorias. Primer curso sobre truchicultura en el embalse del Neusa. CAR. 4 p.

LOPEZ, I. 1975. Manual de truchicultura. Ministerio de Agricultura y Cría. Oficina de pesca. Caracas. 112 p.

MARTIN, D. 1976. Instalación y Tecnología de la Producción de la trucha. En: Tratado de Piscicultura. Gráficas Sánchez. Madrid. 91-193 p.

MARTINEZ, L. 1976. Cultivo de la trucha en los países Escandinavos. En: Tratado de Piscicultura. Gráficas Sánchez. Madrid. 251- 267.

NEGRET, E. 1983. Estudio de Factibilidad Técnica. Ecológica y Socio - económica para la implantación de un programa de truchicultura a nivel artesanal-comercial e industrial en jaulas flotantes en el lago de Tota (Boyaca). CAR. 247 p.

PHILLIPS, A. 1976. Alimentos y alimentación de la trucha. Ed. Centro Regional de Ayuda Técnica AID. México. 40 p.

ROBERTS, R. y C. J. SHEPHERD. 1974. Enfermedades de la trucha y el salmón. Ed. Acribia. Zaragoza. 187 p.

ROCHE, S.A. 1968. Pigmentación de la trucha. Noticias y Resúmenes. Roche S.A. Bogotá 2 p.

ROSADO, R. 1988. La trucha Arco Iris- Manual Básico sobre su cultivo. Monografía. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.197 p.

SERRATO, B. 1990. Diseño sala de evisceración Estación piscícola del Neusa.CAR. Bogotá. 24 p.

VOLLMANN - SCHIPPER, F. 1978. Transporte de peces vivos. Ed. Acribia. Zaragoza. 90 p.

ZARZUELO, E. 1981. Principales Enfermedades Infeccionsas de los peces. Ed. Aedos. Barcelona. 175 p.

Capítulo XV. EL CULTIVO DE LA CACHAMA

Ricardo González Alarcón[1]

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la mejor definición que se puede dar de la cachama es: "Pez rústico que se ha difundido a todo lo largo y ancho del país, demostrando que la piscicultura de especies nativas es una actividad rentable, a tener en cuenta dentro de las actividades pecuarias y del sector pesquero".

Propietarias de esta definición son dos especies pertenecientes a la familia *Characidae*: *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818) o cachama blanca y *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) o cachama negra o cherna. Originarias de las cuencas de los ríos Orinoco y del Amazonas, se encuentran en aguas con temperaturas de 23 ^{0}C y 30 ^{0}C; en ambiente natural son omnívoras, con tendencia a frugívoras – herbívoras y buenas consumidoras de semillas (Arias y Vásquez, 1988).

Para su reproducción dependen de los estímulos externos y en la naturaleza desovan sólo una vez por año en la época de lluvias. Las larvas y alevinos aprovechan para su desarrollo la productividad natural que se encuentra en todas las áreas recién inundadas; posteriormente los peces jóvenes se encuentran en las corrientes secundarias y los adultos, con tres y cuatro años de edad, en los grandes ríos especialmente en las épocas de "subienda", en la cual migran masivamente para realizar la reproducción. Luego de 18 años de haberse iniciado en Colombia la investigación en reproducción y cultivo de la cachama (Merino, 1983), en el año 2000 ésta especie se cultiva en prácticamente todos los departamentos del país, excepto en San Andrés (González, 2000), con un volumen de producción superior a las 12000 toneladas por año, siendo la segunda especie cultivada al alcanzar el 31.3 % de la producción nacional dulceacuícola (39421.4 Ton) y el 26.3 % de la producción nacional total acuícola (46902.7 Ton) (INPA,1999).

Su gran difusión se basa en la poca exigencia de la especie en cuanto a la aplicación de tecnología, la facilidad de cultivo, resistencia a bajas concentraciones de oxígeno, a enfermedades y parásitos, simplicidad de manejo, lo cual permite que los piscicultores la cultiven, ya sea para subsistencia, para comercio local o para mercadeo en volumen.

Los cultivadores de cachama son de dos tipos: los de cultivos pequeños que son la gran mayoría y los cultivadores medianos, que tienen una estructura de empresa y una comercialización más amplia; se puede también afirmar que dentro del cultivo de cachama, en Colombia aún no existen estaciones grandes ni megaproyectos.

1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES

1.1 Descripción de las especies

La cachama negra y la blanca se diferencian fácilmente por sus características externas, sin embargo, entre ellas existen algunas diferencias que bien vale la pena describir, ya que nos permite conocerlas y apreciar mejor sus cualidades.

[1] Biólogo Marino. Gerente Acuacultivos del Llano Ltda. ACUADELL Ltda. Villavicencio (Meta. Colombia). E-mail:gonzalez_r@hotmail.com

El adulto de cachama blanca, presenta una coloración grisácea con reflejos azulosos en el dorso y en los flancos. El abdomen es blanquecino con ligeras manchas anaranjadas (Figs. 1 y 2).

La aleta adiposa es carnosa; los juveniles suelen tener un color más claro con tonalidades rojo intenso en la parte anterior del abdomen y en las aletas anal y caudal. Debido al poco número de branquiespinas (37 en el primer arco branquial) que posee presenta una baja capacidad de filtración. Alcanza una longitud de 85 centímetros y un peso máximo de 20 kg.

El adulto de cachama negra o cherna, presenta una coloración oscura en el dorso del cuerpo y en los lados (Fig. 2). El abdomen es blanquecino con algunas manchas irregulares en el vientre y en la aleta caudal. Posee una aleta adiposa radiada y puede alcanzar 90 cm de longitud y pesar más de 30 kg. El hueso opercular y la cabeza son más anchos que el de la cachama blanca. Tiene entre 84 y 107 branquiespinas en el primer arco branquial que le permite tener una mayor capacidad de filtración de los microorganismos. Los juveniles de cachama negra presentan una coloración oscura, no tan intensa como el adulto y una tenue coloración naranja en la parte anterior del abdomen.

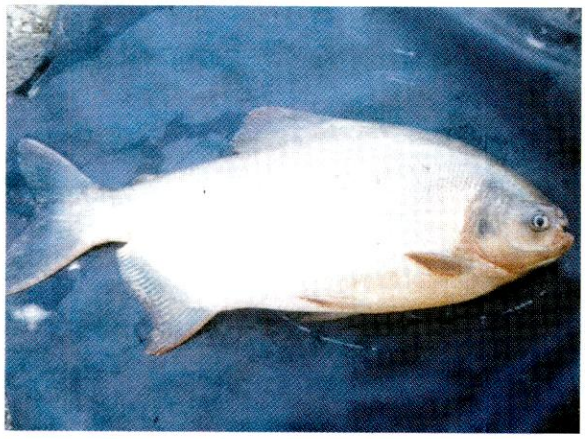


FIGURA 1. Ejemplar adulto de cachama blanca, *Piaractus brachypomus*.



FIGURA 2. Ejemplar adulto de cachama negra, *Colossoma macropmum*.

2. REPRODUCCIÓN

En los inicios de la cachamicultura, años 80, el principal cuello de botella para el desarrollo de esta actividad pecuaria era la poca disponibilidad de la semilla, sólo durante dos o tres meses del año y en cantidades reducidas se conseguían estos alevinos (Merino, 1984). El desarrollo de la producción de alevinos como una industria especializada dentro del sector conllevó a alcanzar una tecnología que actualmente (año 2001) permite disponer de millones de alevinos durante todos los meses del año.

Los alevinos se producen principalmente en el área de los Llanos Orientales de Colombia, en la zona del Pie de Monte Llanero, municipios de Villavicencio, Cumaral, Restrepo, Acacías y Guamal, en el departamento del Meta, pero también se producen en Montería (Departamento de Córdoba), y en Florencia (Departamento del Caquetá) y en diferentes estaciones de los departamentos de Antioquia, Santander, Valle y Casanare, en cantidades menores y por temporadas. Por preferencia de los consumidores y aceptación del mercado a nivel nacional se ha desarrollado más el trabajo con la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), mientras que la cherna (*Colossoma macropomum*) se consume puntualmente en regiones como Córdoba, Sucre, Santander, Amazonas y Putumayo.

2.1 Manejo de reproductores en cautiverio

En los inicios de la cachamicultura, los reproductores se obtenían principalmente del medio natural, pero ahora la mayoría de las fincas productoras de alevinos levantan sus propios pies de cría.

Para llegar a ser ejemplares adultos aptos para reproducción, los machos de las cachamas blancas tardan 3 años y las hembras 4 años y pesos de 3 y 4 kilos en adelante (Carolsfeld, 1989).

Normalmente los ejemplares se mantienen en estanques de tierra a densidades bajas (Valencia y Puentes, 1989), 7 a 12.5 m^2/Kg de reproductor, alimentados con concentrado comercial con contenido proteínico entre 25 % y 32 %. La tasa de alimentación varía entre el 1.5 % y el 2.5 % de la biomasa/día.

El manejo de padrotes dentro de una Estación se realiza por lotes (Pessoa y Nuñez, 1988), los cuales se deben agrupar de acuerdo con el estado de maduración: **desovados, en maduración y maduros**; además de este manejo operacional se deben hacer revisiones periódicas del estado de sanidad de los animales, para prevenir infestaciones graves por parásitos, y cuando sea necesario realizar los tratamientos y traslados adecuados.

Las principales enfermedades reportadas en planteles de reproductores, son parásitos típicos de la fauna acuática tales como el Mixosporídeo (*Henneguya spp*), cuya presencia ha sido confirmada en branquias y riñón pero aún falta definir cómo afectan la capacidad reproductiva de la Cachama además de su control y erradicación (Eslava, P. R. Com. Pers.); también se han reportado otros protozoarios parásitos como *Costia*, *Trichodina*, *Piscinoodinium*, tremátodos como *actylogyrus*, gusanos intestinales (Nemátoda), cuyo control es relativamente sencillo y ya conocido; otro parásito, legado de la importación de carpas al país, especialmente de Hungría, es la presencia del crustáceo conocido como gusano ancla *Lernea* spp, pero los ataques de este parásito en las cachamas no han sido reportados con el dramatismo ni la magnitud que tienen en Europa; sin embargo, en los padrotes de cachama, la *Lernea* afecta negativamente su capacidad reproductiva por lo que es conveniente su control mediante método manual (desprendimiento del parásito), previniendo una infestación fuerte, especialmente en los arcos branquiales.

2.2 Selección de reproductores

El lote en maduración debe ser revisado para monitorear el estado de madurez tanto de hembras como de machos.

Las hembras se revisan por sondeo (canulación o cateterización) o por extracción lateral con una jeringa se obtiene una muestra de huevos (Harvey y Hoar, 1979), con posterior aclaramiento con líquido de Serra. Los machos se revisan por presión abdominal.

Para garantizar el éxito de la reproducción es necesario una adecuada selección de los reproductores a inducir, teniendo en cuenta las características externas de las hembras tales como abdomen abultado, papila genital protuberante y enrojecida (Fig. 3) y en los machos obtención de semen mediante una leve presión abdominal.

En los huevos se determina aspecto general, color, tamaño, posición y forma del núcleo. En los machos el aspecto del semen, densidad y en ocasiones conteo y motilidad; de esta forma se conoce el grado de desarrollo de los productos gonadales. En esta etapa algunos productores utilizan dosis bajas de 0.5 mg/Kg de Extracto Pituitario de Carpa (EPC) colocadas periódicamente, para estimular la gametogénesis y llevar a los animales a un estado más avanzado de maduración.

2.3 Inducción hormonal - Incubación

La técnica de inducción hormonal se ha estandarizado con la utilización de EPC, el cual se encuentra en presentaciones como pulverizada, liofilizada o entera y se puede adquirir en empresas especializadas, existiendo varias marcas disponibles en el mercado.

El material homoplástico, ósea la hipófisis cruda de la misma especie (Vinatea,1989), dejó de usarse por ser de complicada consecución y manejo (Juárez, 1989). Otros materiales como la hormona liberadora de la hormona luteinizante Lh-Rh (Méndez y Rodríguez, 1989) y la gonadotropina coriónica humana GCH (Valencia *et al.*, 1985) son usadas ocasionalmente; una tercera categoría de materiales como son los antiestrógenos, dopaminas, gonadotropinas de mamíferos, esteroides, progestinas y corticoesteroides se mantienen dentro de niveles aún experimentales.



FIGURA 3. Hembras maduras de cachama, en las cuales se observa el abdomen abultado.

El protocolo básico con EPC consiste en una dosis inicial de 0.5 mg/Kg a la hora 0 y una dosis final de 5 mg/Kg a las 8 – 12 horas siguientes. Se pueden aplicar una o más dosis previas de 0.25 mg/kg (Da Silva, 1989 y González, 1989), dependiendo del estado de maduración de los huevos observados en el proceso de selección mediante el proceso de aclaración con líquido de Serra.

El desove ocurre entre 8 – 9 horas (230-240 horas-grado) después de la última dosis; para cachama blanca se ha generalizado el desove semi-natural, es decir, se realiza en piletas (normalmente circulares) en donde la hembra y el macho se cortejan y aparean solos; si se presenta taponamiento del oviducto en la hembra o falta de estímulo en el macho para realizar el cortejo se recomienda realizar como medida de emergencia el desove en seco, por extrusión.

Se tienen dos formas de manejar los huevos en este momento:

- La primera utilizando colectores (trampas) de los cuales se sacan los huevos con tamices, se mide la cantidad por volumetría y se reparten homogéneamente en las incubadoras de tipo cónica de flujo vertical.
- La segunda forma de manejo es conectar la salida de la pileta directamente a las incubadoras y los huevos se reparten al cálculo, valorando posteriormente la cantidad de huevos por conteo de alícuotas de cada incubadora. Esta segunda forma tiene la ventaja que no hay manipulación ni posibilidad de maltrato de los huevos.

Para la incubación se han dejado de lado las incubadoras tipo McDonald o tipo Zoug y se realiza en incubadoras cónicas de flujo vertical (Woynarovich,1986) de diferentes tamaños: desde 25 hasta 800 litros de capacidad, prefiriéndose las de fibra de vidrio a las de tela. Dependiendo del flujo de agua, en las incubadoras se pueden tener cargas superiores a 2500 huevos por litro de incubadora, pero el promedio se encuentra alrededor de 1200-1500.

La duración de una incubación normal, dependiendo de la temperatura, es de 13 a 18 horas, al cabo de las cuales eclosionan larvas de aproximadamente 5 mm de longitud, que completan su desarrollo (aletas, pigmentación, tracto digestivo, vejiga gaseosa) en los próximos 4 a 6 días.

2.4 Larvicultura

La permanencia de las larvas en la incubadora varía de acuerdo con la metodología aplicada por los productores en cada granja; algunos siembran en estanques de tierra el primero o segundo día de nacidos; otros siembran en estanques el tercer día y otros al cuarto o quinto día.

También hay quienes trasladan las larvas a piletas y allí las mantienen para alimentarlas en los días 5, 6 y 7, luego las siembran en los estanques. En piletas, la alimentación de las larvas se hace generalmente con *Artemia salina* o plancton.

La preparación de estanques varía de acuerdo con cada productor, pero se puede generalizar que luego de la limpieza de los estanques se realiza un encalamiento con cal dolomita (50-100 g/m^2) y abonamiento con material orgánico en similar proporción (100-200 g/m^2); el abono más usado, por su fácil consecución, es la gallinaza, pero también se puede usar estiércol de vacunos o de porcinos el cual puede ser fresco, fermentado o producto de biodigestores (Díaz y López, 1993). El uso de abonos inorgánicos es restringido por manejo, costo y eficiencia; se puede emplear DAP, triple 15 ó úrea.

La labor durante los días posteriores a la siembra consiste en mantener un excelente nivel de alimento planctónico, esto es propio de cada granja, pues depende de las características del agua, temperatura y cantidad de larvas sembradas. Se debe realizar un permanente monitoreo de los alevinos para evitar predadores o enfermedades. Con buen alimento los alevinos alcanzan talla de despacho (2 cm) a los 15 días de nacidos.

Para evitar la predación de las larvas de cachama que siembre en los estanques, por acción de las larvas de libélula (odonata) es necesario preparar el estanque con anterioridad; por lo tanto se debe realizar una inspección ocular al estanque para verificar la presencia de la odonata. En caso de detectarsen estas larvas se recomienda aplicar un insecticida órgano-fosforado, preferiblemente el tiguvón a razón de 0.12 ppm entre 3 y 5 días antes de la siembra y abonar nuevamente el estanque.

2.5 Enfermedades

En la etapa de incubación se ha observado, sobre el corión de los huevos, el protozoo *Epistylis*; también el hongo *Saprolegnia* y naturalmente bacteriosis; en la etapa larval pueden ser atacados por diferentes bacterias (*Aeromonas* y *Pseudomonas*) y hongos (*Saprolegnia*). Tratamientos suaves y prolongados con verde de malaquita (0.05 - 0.1 ppm) son efectivos, pero difíciles de aplicar en sistemas abiertos.

En los alevinos se presentan bacteriosis (*Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Myxobacterias*), ataques de protozoos como *Costia*, *Ichthyophthirius*, *Trichodina* y *Piscinoodinium* (Rey, 1995); ocasionalmente se encuentra *Hexamita* en el sistema digestivo; tremátodos monogenésicos como *Dactylogyrus* y *Gyrodactylus* y tremátodos digenésicos (por lo menos de dos especies) se presentan por temporadas.

Para el control de los ectoparásitos se ha generalizado el uso del verde de malaquita (0.1 ppm) y el sulfato de cobre (0.5 ppm.); para la *Hexamita* se utiliza el metronidazol, incorporado al alimento concentrado; para controlar los tremátodos monogenésicos se utilizan baños con Formol (25 ppm); los tremátodos digenésicos no se pueden eliminar directamente y por lo tanto se recomienda interrumpir su ciclo de vida eliminado del estanque los vectores (caracoles/aves); en ocasiones los productores sacrifican lotes enteros infectados con esas metacercarias para evitar su difusión.

3. ENGORDE

La aceptación que ha tenido esta especie por parte de los cultivadores se debe a que la cachama cumple con las condiciones requeridas para el cultivo, como son: especie rústica, resistente al manejo y a las enfermedades y tolera bajos niveles de oxígeno; adicionalmente presenta buen crecimiento y se obtienen tallas uniformes, buena conversión alimenticia y crecimiento de compensación; no se reproduce naturalmente en cautiverio, su manejo es sencillo y tiene buena aceptación en el mercado.

Las características físicas y químicas básicas para el cultivo de cachama son: temperatura del agua entre 23 y 30 °C.; pH de 5.5 a 8; dureza del agua desde 25 mg/l; oxígeno disuelto 3 mg/l o mayor (Díaz y López, 1993).

3.1 Crecimiento

El cultivo para alcanzar el peso comercial de 500 gramos toma generalmente seis meses incluyendo la preparación y limpieza de los estanques. Los alevinos se siembran de un tamaño aproximado de 3 cm (Fig. 4).

En la figura 5 se presenta una curva típica de crecimiento de un lote a una densidad de cultivo de 2-5 peces/m^2, alimentado con concentrado tipo extruder; también se incluye, a manera de comparación, la curva de crecimiento de cachamas alimentadas con concentrado para pollos (Díaz y López,1993).

En cultivos con densidades bajas (hasta 2 peces /m^2), excelentes condiciones medio-ambientales y de manejo, la tasa de crecimiento se incrementa, registrándose lotes con promedio de 480 gramos (eviscerado) en 130 días.

Para hacer seguimiento al crecimiento de los peces bajo cultivo, con la ayuda de una red de arrastre sin nudo se realizan muestreos de estos que van entre el 3 al 10% de la población; los cuales se deben realizar con un intervalo de 15 a 20 días; de esta forma se controla la tasa de crecimiento, la tasa de alimentación y se verifica el estado de salud del lote, permitiendo de esta manera hacer los ajustes o tomar las medidas correctivas a tiempo.

Se ha observado que existe una pequeña diferencia en cuanto a la relación talla-peso entre los animales cultivados, y los procedentes del medio natural, esto quiere decir que entre animales de la misma longitud se encuentran animales más pesados. Sin embargo, esta relación talla-peso (Fig. 6), indica que la especie adquiere peso relativamente rápido comparado con otras especies y se puede generalizar con la siguiente relación, dada por Prada (1982):

$$\text{Peso (gramos)} = 0.035 \times \text{Longitud}^{3.09}$$

3.2 Alimentación

Se recomienda utilizar el alimento concentrado extrudizado. Inicialmente se trabajó con el alimento pelletizado, pero ahora, la forma extrudizada es la que ha presentado los mejores resultados. El suministro de este alimento ha reportado mejoras en la conversión alimenticia, disminución en los residuos nitrogenados y, en general, mejor aprovechamiento, a pesar de que las fórmulas utilizadas han sido diseñadas para otra especie de pez. En la tabla 1 se muestran datos de crecimiento, peso alcanzado y tasa de alimentación suministrada diariamente a los peces, en un cultivo típico.

Dentro del esquema anterior se puede manejar el contenido de proteína de los concentrados de acuerdo con la tabla 2.

En esa tabla se presenta el suministro de alimento, el cual inicialmente tiene alto contenido proteínico (40-45 %) hasta los 20–25 gramos de peso; con un contenido proteínico medio-alto (35-38 %) hasta los 70-75 gramos;

TABLA 1. Datos de crecimiento y peso y su relación con la tasa alimenticia diaria, en un cultivo típico de cachama.

Día de cultivo	Peso promedio de los peces (g)	Tasa alimenticia diaria (%)	Día de cultivo	Peso promedio de los peces (g)	Tasa alimenti-cia diaria (%)
1	2	10.00	91	163	3.30
7	7	8.93	98	190	3.14
14	14	7.68	105	218	2.97
21	20	6.67	112	246	2.81
28	26	5.50	119	274	2.65
35	33	4.87	126	305	2.48
42	40	4.63	133	337	2.32
49	48	4.40	140	368	2.16
56	55	4.17	147	400	1.99
63	67	3.95	154	433	1.88
70	91	3.79	161	468	1.83
77	115	3.63	168	503	1.79
84	139	3.46	175	538	1.74



FIGURA 4. Alevinos de cachama blanca, *Piaractus brachypomus* (Tomado de López, 1994).

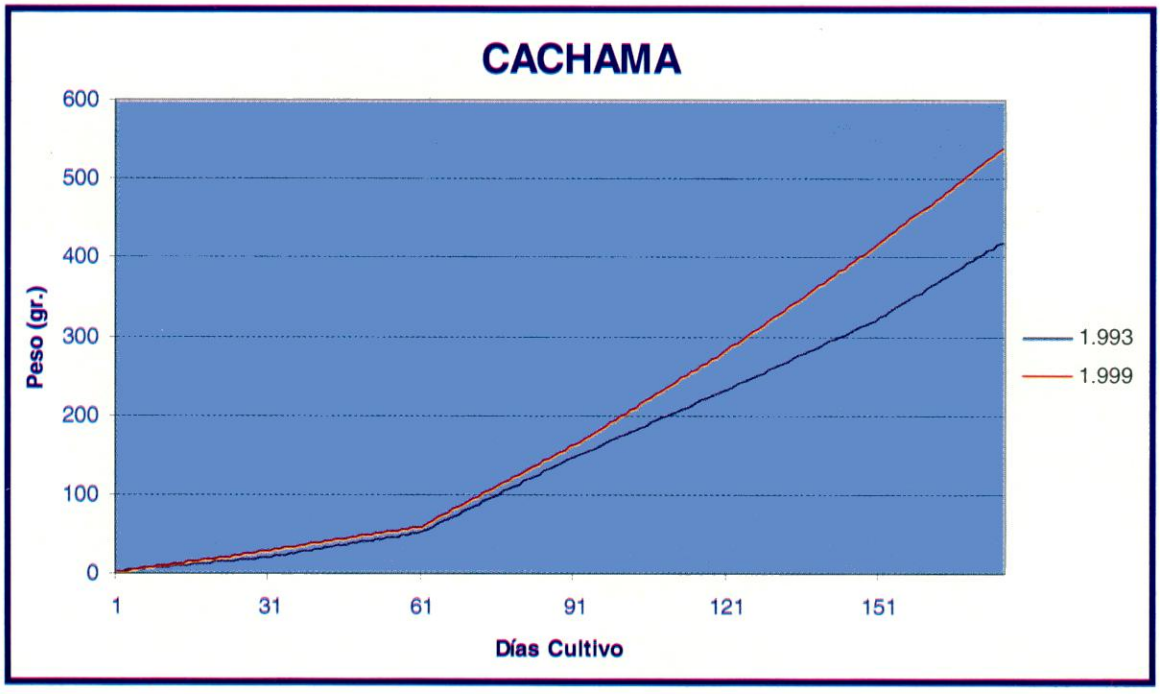


FIGURA 5. Curva de crecimiento de la cachama alimentada con concentrado tipo extruder para peces (rojo) y alimento concentrado para pollos (negro).

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

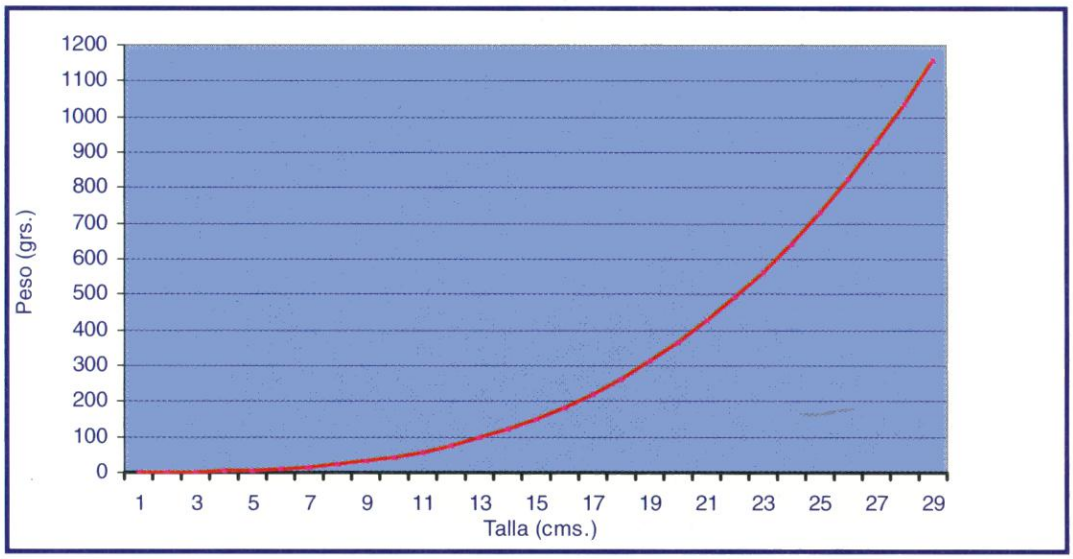


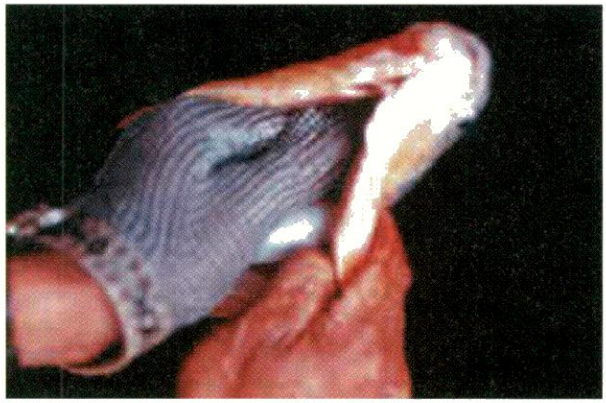
FIGURA 6. Relación talla – peso de la cachama blanca.



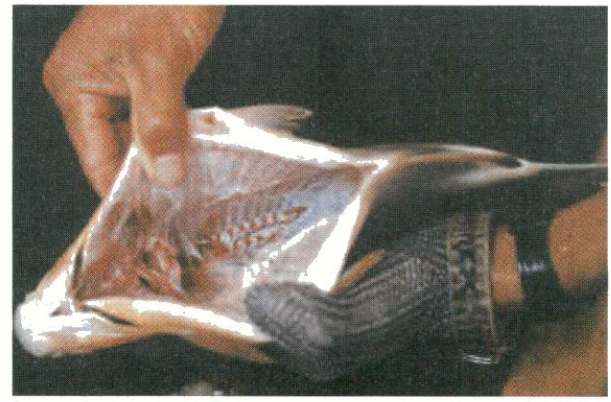
7



8



9



10

FIGURAS 7, 8, 9 y 10. Proceso básico de la cachama para su comercialización.

TABLA 2. Contenido Proteínico del alimento de acuerdo con el tiempo de cultivo.

Día de Cultivo	Contenido Proteínico cercano a (%)
1 a 20	45
21 a 63	38
64 a 98	32
98 en adelante	24

continua con un alimento de contenido proteínico medio-bajo (28-32 %) hasta que los peces alcanzan un promedio de 190-200 gramos y de este peso en adelante hasta finalizar el cultivo con un alimento de contenido proteínico bajo (24%).

La alimentación debe ser suministrada, todos los días de la semana, tres veces por día durante el primer mes, dos veces por día durante el segundo y en adelante se suministra en una o dos dosis por día. De acuerdo con la tabla 1, este consumo de alimento concentrado arroja una conversión alimenticia total de 1.59 : 1 para peces enteros.

3.3 PROCESAMIENTO

La gran mayoría de los productores entrega el producto entero, eviscerado y fresco. El proceso básico consta de selección, sacrificio, eviscerado y lavado; el empaque se hace a granel y, si la distancia lo requiere, se utiliza hielo para conservar baja la temperatura (Figs. 7, 8, 9 y 10).

Dentro del proceso del pescado, la evisceración produce una pérdida adicional, que se presenta para la cachama blanca en la tabla 3.

Igualmente para cachama blanca, algunos datos complementarios a la pérdida de peso en la comercialización son: cabeza 12.5%, branquias, cola y aletas 9.6%. En general la parte de carne en la cachama es del 43.2% de su peso, en contraste con la tilapia cuyo aprovechamiento es del 40 %. El análisis bromatológico básico muestra un contenido de proteínas del 16.6 %, grasas en un 3.3 % y cenizas en un 2.0 %; con respecto a las pieles, un animal de talla total de 32 cm suministra una piel de 85 cm^2.

Para la cherna o cachama negra las pérdidas son: cabeza, 23.69%; piel más huesos, 25.32 %; vísceras, 10.6 % y carne aprovechable, 37.91 %. El análisis bromatológico muestra un contenido de proteínas del 17.77 %, grasas de 2.95 % y cenizas en 1.1 % (Bello y Rivas, 1992).

3.4 MANEJO PARA LA PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES EN EL CULTIVO

Hasta el día de hoy no se han reportado epizootías ocasionadas por organismos patógenos de alta peligrosidad como bacterias o virus, tal como ocurre en otras latitudes o con otras especies, en donde arrasan todos los cultivos de un área e inclusive de una cuenca.

Por el contrario los cultivos de cachama tienen como característica común una muy baja incidencia de enfermedades y parásitos; la sobrevivencia promedio está por encima del 96 % y no son raros los casos del 100%.

Se puede afirmar que el mal manejo del cultivo es, por regla general, el causante de la presencia de anomalías; aspectos como la limpieza de los estanques, procedimientos adecuados para la siembra de alevinos y recambio de aguas son fundamentales para el buen desarrollo de los peces.

La correcta siembra de los alevinos en el estanque de engorde es una labor básica de cuidado, porque en ellos el cambio desde las condiciones físico-químicas del agua de los estanques en las fincas de los productores (de alevinos) a las condiciones del estanque de siembra, luego de un transporte de varias horas, puede producir, además del

TABLA 3. Pérdidas por evisceración según el peso de sacrificio.

Peso del Pescado (g)	Pérdidas por evisceración (%)
200	13
250	12
300 – 375	10
380 – 450	9
475 – 500	8
600	7

estrés del viaje, un choque demasiado fuerte que conlleva a su debilitamiento, baja de defensas y la posterior presencia de bacteriosis y micosis.

Otro aspecto a tener en cuenta es la limpieza de los estanques; los casos más comunes reportados, que se pueden relacionar de alguna manera con estanques sucios o con exceso de materia orgánica, tienen que ver con la presencia de *Dactylogyrus* o de *Piscinoodinium*, infestando peces de 100 a 300 gramos y causando mortalidades; este mismo caso es válido para bacterias, cuya presencia en el agua es normal e inocua, pero en condiciones adversas al pez (alta carga de materia orgánica, bajas de oxígeno) aumentan su cantidad, incrementando su patogenicidad y ocasionando mortalidades. La alta carga de materia orgánica también provoca caídas de oxígeno de carácter grave.

Cuando se registra presencia de parásitos es recomendable, antes de una nueva siembra de alevinos, encalar el estanque con cal viva en una proporción de 100-150 g/m^2 para realizar la desinfección; se debe aplicar con el estanque seco, esparcida por toda el área y luego proceder a llenar lentamente el estanque (3 – 5 días). El estanque lleno puede ser usado en 7 días sin peligro para los nuevos peces.

Las bajas de oxígeno en el agua son muy comunes en los cultivos, especialmente en la temporada de verano, en la cual las temperaturas se elevan disminuyendo el oxígeno disuelto, hay producción excesiva de fitoplancton por la alta radiación solar y que a su vez consume oxígeno en las horas de la noche. La combinación de lo anterior lleva a que en horas de la madrugada los niveles de oxígeno lleguen a niveles cercanos a cero o inclusive cero, ocasionando la muerte de todos los organismos del estanque.

Dado que los equipos de medición son por regla general muy costosos para los piscicultores, una relación de manejo entre cantidad de agua de recambio (litros/minuto), densidad de cultivo (peces/m^2), tamaño de los peces y estación climática (verano-invierno) debe ser levantada para cada finca productora y así poder evitar estas caídas. Se puede generalizar que una caída de oxígeno temporal y mediana, retrasa el crecimiento en cinco días; una caída de oxígeno temporal fuerte, lo retrasa 20 días; si la deficiencia es crónica los peces dejan de alimentarse y de crecer, mientras persista el problema.

3.5 Tipos de cultivo

3.5.1 Cultivos pequeños

Como se mencionó anteriormente, la mayoría de los cultivos de cachama en el país son realizados por piscicultores a pequeña escala (Fig. 11).

Los estanques son en tierra, con tamaños entre 100 m^2 y 1000 m^2, con entrada y salida de aguas para recambio permanente; los productores utilizan alimento concentrado comercial, pero en muchas ocasiones abonan constantemente con gallinaza, porquinaza y complementan la alimentación con productos y subproductos de la misma finca como frutas (papaya, guayaba, aguacate, plátano, mortiño), maíz cocinado, sorgo, ramio, bore, yuca rayada y palmiste.



FIGURA 11. Estanque de pequeño productor.

Es común que en estas fincas no exista estanque de pre-engorde; el cultivo es realizado en una sola etapa, es decir, los alevinos son sembrados en un estanque y allí son mantenidos durante todo el tiempo de cultivo.

Una característica casi general de los pequeños productores colombianos es que usan una densidad permanente de 4 animales/ m^2 y que llevan el engorde a seis meses. Este tipo de cultivo se realiza desde las tierras bajas y cálidas hasta alturas de 1300 msnm en donde, para lograr los 500 gramos de peso final, la duración se extiende a 8 meses por influencia de la baja temperatura.

Cuando los pequeños piscicultores tienen algunas experiencias anteriores realizan policultivo con tilapia y/o con bocachico y/o carpa roja. En el policultivo está demostrado que hay que mantener una relación de dominancia de una de las especies, para que el objetivo de mayor productividad / menor costo se cumpla: la cachama debe sembrarse en proporción numérica de 80% (o mayor) y la tilapia roja con un 20% (o menor); el bocachico y la carpa se usan como acompañantes a muy baja densidad (un pez por 20 ó más metros cuadrados).

La mayor ventaja de estos cultivos pequeños es su gran rentabilidad. Técnicamente hablando, la infraestructura necesaria para el ingreso de aguas no es grande; no se requiere de una gran cantidad de agua para el recambio diario y la producción, medida en Toneladas/Hectárea/año, es excelente (40 a 50 Ton/Ha/año). Por no requerir de manejos adicionales y porque el cuidar los peces forma parte de las labores cotidianas de la finca, los costos son reducidos en un alto porcentaje, aumentando su beneficio. Normalmente el mercadeo se efectúa en la misma finca o en la zona (en la vereda). Estas ventajas, comparativas tanto con otros peces como con otros cultivos, ha fomentado el desarrollo de la cachamicultura a este nivel en todo el país, hasta donde las temperaturas lo permiten.

Las producciones son puntuales, dos cosechas por año. Las principales desventajas de estos pequeños cultivos son que los costos por alimentación con alimento concentrado son proporcionalmente mayores, la oferta de producto es muy estacional y que los cultivadores tienen muy baja capacidad de negociación.

Una esquematización de la estructura de costos para este tipo de producción se puede observar en la tabla 4.

3.5.2 Cultivos medianos

En la práctica, dentro de esta categoría de cultivo están aquellos piscicultores que poseen media o más hectáreas de espejo de agua y producciones anuales superiores a 10 toneladas. Las características comunes de este tipo de cultivo son: estanques en tierra de 1000 a 3000 m^2, (excepcionalmente hay de 5000 a 20000 m^2) con recambio permanente de agua; se cuenta con estanques de pre-engorde, realizando el cultivo en dos etapas: la primera o etapa de pre-engorde, con densidades de 10 -15 peces por m^2 y la segunda o etapa de engorde, con densidades de 2-3 animales por m^2; la alimentación es exclusivamente con alimento balanceado comercial y tanto la producción de peces como la oferta de pescado es continua (semanal, quincenal o mensual).

Este tipo de cultivo presenta excelente rentabilidad, pero menor que la de los cultivos pequeños, pues necesitan de apoyos administrativos, financieros y logísticos, que disminuyen las ganancias (Tabla 5).

TABLA 4. Estructura de costos para un pequeño productor.

Detalle	Porcentaje (%)
Personal	0.00
Alevinos	8.24
Alimento Peces	78.91
Drogas	0.66
Abonos	3.95
Fletes insumos	1.10
Congelación	0.00
Varios	3.84
Subtotal	**96.70**
Administración	0.00
Otros	0.00
Subtotal	**0.00**
Acarreo producto	3.30
Comunicaciones	0.00
Varios	0.00
Subtotal	**3.30**
TOTAL EGRESOS	**100.0**

TABLA 5. Estructura de Costos para diferentes producciones, expresado en porcentaje, Mediano productor (*).

Toneladas/año	10	20	30	40	50	60	250
Personal	20.72	18.79	14.34	15.12	12.99	11.47	10.96
Alevinos	5.68	5.32	5.84	5.72	5.98	6.16	6.36
Alimento Peces	54.43	50.98	55.98	54.80	57.2	58.99	60.95
Drogas	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10
Abonos	0.35	0.32	0.36	0.35	0.36	0.38	0.39
Fletes	1.98	1.86	2.04	2.00	2.08	2.15	2.22
Congelación	0.00	0.85	0.93	0.91	0.95	0.98	1.02
Varios	1.72	1.20	1.17	1.07	1.07	1.07	0.99
Subtotal	**84.96**	**79.40**	**80.75**	**80.06**	**80.78**	**81.30**	**82.98**
Administración	2.62	9.21	6.75	7.70	6.44	5.52	3.41
Otros	11.36	10.24	11.24	11.00	11.49	11.85	12.24
Subtotal	**13.99**	**19.45**	**17.98**	**18.71**	**17.93**	**17.37**	**15.65**
Acarreo	0.91	0.85	0.93	0.91	0.95	0.98	1.02
Comunicación	0.15	0.14	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16
Varios	0.00	0.16	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20
Subtotal	**1.05**	**1.15**	**1.26**	**1.24**	**1.29**	**1.33**	**1.38**
Tot. egresos	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**

(*) Los cálculos han sido realizados con promedios, para septiembre de 2000; los costos varían en cada región por diferentes causas como son, por ejemplo, distancias a punto de venta, mecanización de instalaciones, jornales, etc.

Una visión económica completa, para una producción de 17.2 Ton/año, llevado a tres años, fue elaborada por el INPA en Díaz *et al.* (1999), cuyos datos se resumen en la tabla 6.

Normalmente mercadean en la región o fuera de ella. A ciertos niveles la capacidad de negociación es aún muy baja y quedan a merced de los intermediarios, ya sea por carecer de transporte, de infraestructura de frío o de clientes.

TABLA 6. Estructura de costos para montaje y operación para una producción de 17.2 toneladas por año (1999).

Detalle	Valor ($)	Porcentaje (%)
Inversión en infraestructura y equipos	**71 190 293**	
Mano de Obra	21 000 000	20.05
Transporte	300 000	0.29
Mantenimiento	150 000	0.14
Alevinos	14 616 000	13.96
Alimento	68 505 390	65.42
Materiales	150 000	0.14
Total Costos	**$ 104 721 390**	**100**
Costo por kilo	**$ 1590**	
TIR años 1 a 3		**22.41**
TIR años 4 en adelante		**29.32**

3.5.3 Cultivos no tradicionales

Dentro de esta denominación se han considerado los dos extremos: los cultivos a muy baja densidad y los cultivos intensivos.

Estas dos formas de cultivo no están muy documentadas, pero se tienen las bases para desarrollarlas; ambas son formas eficientes, rentables y aplicables a nuestro medio, pero su diseño y aplicación está de acuerdo con la zona del país, la topografía y desde luego con la disponibilidad de recursos.

Cultivos extensivos: para zonas alejadas de centros urbanos, donde las tierras son de bajo costo, los recursos hídricos y vegetales son abundantes y la consecución del concentrado comercial es muy costosa, se pueden desarrollar los cultivos basados en la productividad primaria del estanque mediante abonamiento (animal o vegetal), así como una alimentación basada en productos o subproductos de la misma finca, utilizando bajas densidades de siembra y cultivo (menores a 1 pez/m^2).

Desde hace años han sido realizados diferentes estudios con productos vegetales básicos, como la alimentación con maíz, *Zea mays*, estudiada por Da Sílba *et al.* (1984), con densidades de 0.5 peces/m^2, suministrado al 3% de biomasa/día, en la que la cachama presentó conversiones de 3.4 : 1 y producciones de 4.234 Kg/ha/año. Por comunicación personal con diferentes cultivadores, se sabe que también se utiliza el maíz cocinado, mejorando su digestibilidad y rendimiento; de igual forma el suministro de hojas de la planta conocida como bore. Esos mismos autores, igualmente probaron la alimentación de cachama con torta de la palma *Orbignya martiana*, suministrada al 3% de biomasa/día, que presentó conversiones de 4.9 : 1 y producciones de 3371 Kg/ha/año.

También se han realizado estudios con otros productos como son el helecho acuático *Azolla filiculoides* (Sanabria, 1994), la torta de soya *Glycine max* (López, 1994), harina de arroz y torta de palmiste (Quintero y Cortés, 1991),

harinas de maíz, sorgo y soya (Torres y Uribe, 1995) estudios que dan indicaciones para su forma de aplicación, uso y efectividad.

Una variación más técnica de esta forma de cultivo para la cual la cachama podría ser apropiada por sus condiciones de animal omnívoro es la aplicación del sistema de la integración de cultivos (tema desarrollado en capítulo aparte de este mismo volumen), la cual logra la producción de proteína animal (pescado) únicamente con recursos propios de las fincas a unos costos realmente bajos. Es de resaltar que este sistema puede ser aplicado tanto por pequeños como por medianos productores.

Cultivos intensivos: opuesto a lo anterior se encuentra el cultivo a altas densidades (para cachama se puede ubicar entre 6 y 15 peces/m^2) y a muy altas densidades (superiores a 20 peces/m^2). Se puede aplicar en lagunas, ciénagas y embalses, desarrollado en jaulas o en estanques donde se realice un alto recambio de aguas. El objetivo de este cultivo, no sólo puede ser el producir el pez ración de presentación entera, sino que se puede enfocar a la producción masiva de carne de pescado para ser procesada (molida, triturada) en donde el factor importante es la cantidad de kilos producidos por m^3 al año.

Se han realizado pocas investigaciones, algunos ensayos, pero ningún cultivo comercial reportado.

Investigaciones básicas como las de Saint-Paul (1983) para *Colossoma macropomum*, quien registra que el consumo de oxígeno por hora se incrementa linealmente con respecto al peso del pez; así mismo, midió que el metabolismo del pez, y por lo tanto el consumo de oxígeno, aumenta con la temperatura y determinó las ecuaciones para este consumo, como son:

A 25 °C Consumo de oxígeno (mgO_2/hora) = 1.01 x Peso $^{0.64}$
A 30 °C Consumo de oxígeno (mgO_2/hora) = 1.55 x Peso $^{0.64}$

Urán *et al.* (1994a) determinaron el mismo parámetro para *Piaractus brachypomus*:

A 22.5 °C Consumo de oxígeno (mgO_2/hora) = 461.3 x Peso $^{-0.258}$

Urán *et al.* (1994b), en ensayos realizados con *Piaractus brachypomus* en tanques, con 50 peces/m^3, un recambio permanente del 100 % por hora, a temperaturas de 25.3 °C, y alimento del 43% de proteína, produjeron resultados muy significativos como son un crecimiento de 1.86 g/día, con conversión alimenticia de 1.57 : 1, con carga final de 15.7 Kg/m^3.

Otros trabajos aplicables en este tipo de cultivos son los realizados por Ravelo y Conroy (1994) en los cuales caracterizaron la enfermedad bacteriana *Columnaris* en cultivos en jaulas con *Colossoma macropomum* y en el de Ravelo (1994), primer trabajo con este mismo pez, en el cual se ve la efectividad del empleo de vacunas.

Estos y otros estudios (Mora y Salaya, 1994 y Pérez y Martino, 1989) indican que para altas densidades es más resistente al confinamiento la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), presentando unas características básicas aptas para el desarrollo de este tipo de cultivos.

4. COMERCIALIZACIÓN

Como se mencionó anteriormente, los consumidores prefieren el pescado con un tamaño de 500 gramos; la mayor comercialización se realiza con el pescado eviscerado, fresco, empacado a granel (Fig. 12).

Los pequeños productores venden en la misma finca (inclusive con vísceras) o dentro de un radio de poco kilómetros de ella; algunos venden el producto directamente al consumidor, permitiendo mayores márgenes de utilidad.

Los medianos productores requieren de un mercadeo más elaborado, vendiendo el producto a minoristas en las plazas de mercado, e inclusive a intermediarios que lo transportan fuera de la región; en este caso se requiere de



FIGURA 12. Empaque a granel de cachama.

congelación previa. Una alternativa efectiva para esta parte de congelación y empaque, que mejora la presentación y además recupera hasta un 1% del peso perdido por el frío es realizar, inmediatamente antes del empaque, el proceso de vidriado (J. Alvarez, Com. Pers.)

En los últimos años se ha abierto un buen mercado para ejemplares entre de 200 a 300 gramos, que son utilizados en restaurantes populares, casinos de empresas y también comprados por buena cantidad de amas de casa que adquieren el producto en plazas de mercado (Fig. 13).

Unos pocos productores están realizando un procesamiento secundario que consiste en la desescamación de los peces y un mejoramiento en la presentación, colocándolo en bandejas de icopor con protección de película plástica. De esta forma se ha iniciado un comercio en cadenas de supermercados, el cual es aún muy incipiente.

Las ventajas comparativas del cultivo ha conllevado que en Colombia la cachamicultura haya tenido un gran desarrollo entre los peces de cultivo de aguas dulces, pues la producción por cultivo de cachamas pasó de cero toneladas en 1982 a 700 toneladas en 1988 y en 1998 alcanzó la cifra de 12335 toneladas (INPA,1999). Este incremento de la comercialización de la cachama en todo el país puede verse en la figura 14 (Acuioriente, 2000) y su producción por departamentos en la figura 15.



FIGURA 13. Venta al público en plaza de mercado.

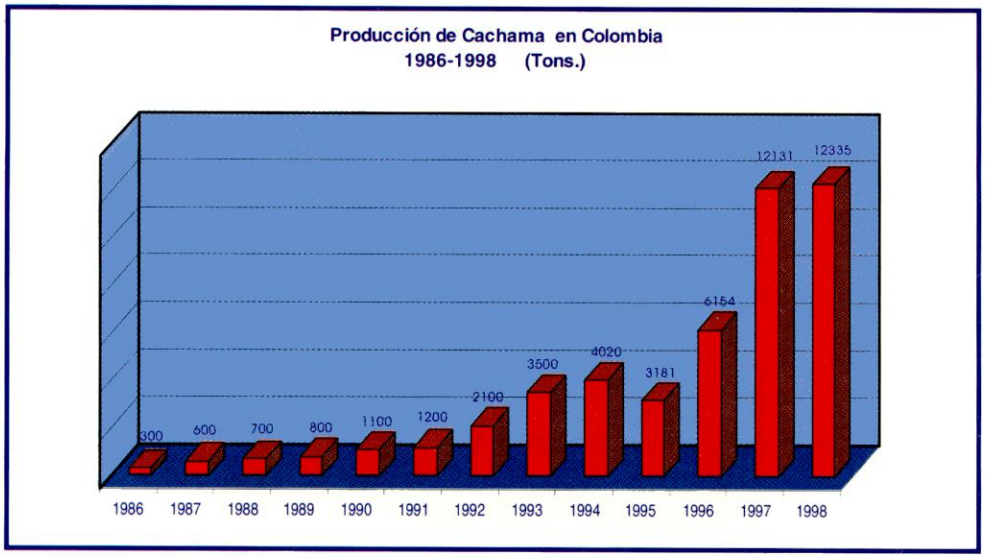


FIGURA 14. Producción nacional de cachama por acuicultura

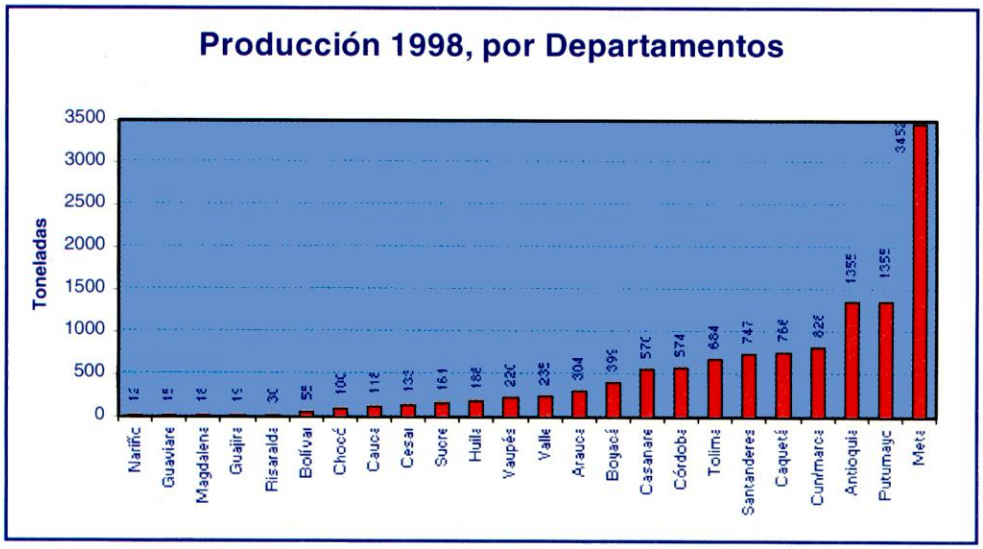


FIGURA 15. Producción de cachama por departamentos (Acuioriente, 2000)

Para incrementar estas cifras se debe enfatizar en solucionar varios problemas, como son:

- La falta de capacidad de la mayoría de los productores para mantener volúmenes continuos de producción y además la temporalidad; esto conduce a épocas del año con baja oferta y otras de sobre oferta.
- La deficiencia de los canales de comercialización.
- El desconocimiento del producto por parte del gran público consumidor; en las grandes ciudades, un alto porcentaje de la población no sabe aún de la existencia de la cachama y por lo tanto no la consume.
- Falta de procesamientos del producto; para acceder a un rango más amplio de la población de consumidores, con mejores y variadas presentaciones.

- Los altos costos de insumos (especialmente el alimento), ventas y comisiones pueden ser enfrentados de forma comunitaria o asociativa por los productores de una zona o región.

BIBLIOGRAFÍA

ACUIORIENTE. 2000. El estado de la acuicultura en Colombia. Revista de la Asociación de Acuicultores de los Llanos Orientales. Acuioriente. Villavicencio. (8): 6 – 8.

ARIAS, J. A. y W. VÁSQUEZ. 1988. Ampliación del conocimiento biológico de *Colossoma sp* (Cypriniformes: Characidae), en ambientes naturales de la cuenca del río Meta. Universidad Tecnológica de los Llanos Orientales. Instituto de Investigaciones para la Orinoquia.

BELLO, R. A. y W. GIL. 1992. Evaluación y aprovechamiento de la cachama (*Colossoma macropomum*) cultivada, como fuente de alimento. Programa Cooperativo Gubernamental. Proyecto AQUILA II. FAO. Documento de Campo 2. México. 113 p.

CAROLSFELD, J. 1989. Reproductive physiology and induced breeding of fish as related to culture of Colossomas. 37 –73 p. En: Hernández, A. (Ed.). Cultivo de Colossoma. SUDEPE. CIID. COLCIENCIAS. 475 p.

DA SILVA, A. B. 1989. Reproducción de Colossomas. 17 – 32 p. En: Avances en el cultivo de peces del género *Colossoma*. Programa Cooperativo Gubernamental. Proyecto AQUILA II. FAO. Documento de Campo 5. Brasilia. 235 p.

DA SILVA, A. B.; A. CARNEIRO y F. REZENDE. 1984a. Contribucao ao estudio do cultivo intensivo do Tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, alimentado com torta de babacu, *Orbignya martiana* L. 147 – 156 p. En: Anais do Simposio Brasileiro de Aquicultura 3. Sao Paulo.

DA SILVA, A.B.; A. CARNEIRO y F. REZENDE. 1984b. Contribucao ao estudio do cultivo intensivo do Tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, com a utilizacao de milho (*Zea mays*) em grao como alimento. 157 – 164 p. En: Anais do Simposio Brasileiro de Aquicultura 3. Sao Paulo.

DÍAZ, F. J. y R. A. LÓPEZ. 1993. El cultivo de la Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*) y de la Cachama Negra (*Colossoma macropomum*). 207 – 219 p. En: Rodríguez, H.; G. Polo y G. Salazar (Eds.). Fundamentos de Acuicultura Continental. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura INPA. Bogotá. 286 p.

DÍAZ, F. J.; G. SALAZAR; C. S. BELTRÁN y A. A. VILLANEDA. 1999. Modelo del paquete productivo para el cultivo de Cachama en estanques, adaptado a pequeños productores. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura INPA. Bogotá. 6 p.

GÓNZALEZ, R. 1989. Tecnología de la reproducción de la Cachama (*Piaractus brachypomus* y *Colossoma macropomum*). Memorias segundo curso Cultivo de Cachama. INDERENA Regional Llanos Orientales. Villavicencio.

GÓNZALEZ, R. 2000. La Cachama Blanca. Revista ACUIORIENTE. Villavicencio (8): 8-10

HARVEY, B.J. y W. S. HOAR. 1979. The theory and practice of induced breeding in fish.. IDRC. Ottawa. 48 p.

INPA. 1999. Boletín Estadístico Pesquero 1997 – 1998. Bogotá. 114 p.

JUAREZ, J. R. 1989. Avances en el cultivo de peces del género *Colossoma*. Programa Cooperativo Gubernamental. Proyecto AQUILA II. FAO. Documento de Campo 5. Brasilia. 235 p.

LÓPEZ, M. I. 1994. Evaluación de la digestibilidad aparente de la torta de soya *Glycene max* (L) como ingrediente principal en la formulación de dietas en alevinos de cachama blanca *Piaractus brachypomus*. Tesis Universidad Javeriana. Bogotá. 122 p.

MÉNDEZ, A. y J. A. RODRÍGUEZ. 1989. Reproducción inducida en cachama (*Piaractus brachypomus*) (Cuvier) con Buserrelina (Conceptal). Siall 6 (1): 7 – 11.

MERINO, M. C. 1983. Cultivo intensivo y reproducción inducida de la cachama, *Colossoma bidens* Spix, 1829, en los Llanos Orientales de Colombia. DRI-INDERENA. Villavicencio. 32 p.

MERINO, M. C. 1984. Cultivo en estanques y producción de alevinos de cachamas, *Colossoma bidens* Spix, 1829, *C. Macropomum* Cuvier, 1818 y sus híbridos, en el departamento del Meta. DRI. INDERENA. Villavicencio. 29 p.

MORA, J. A. y J. J. SALAYA. 1994. Evaluación del engorde y rendimiento de *Colossoma macropomum* cultivada en jaulas flotantes comerciales. 382 – 388 p. En: Memorias del VIII Congreso Latinoamericano de Acuicultura. CILDESERC. ALA. COLCIENCIAS. Bogotá. 562 p.

PÉREZ, L. E. y G. MARTINO. 1989. Análisis microeconómico del cultivo de "cachama" (*Colossoma sp.*) en jaulas flotantes, Guyana, Venezuela. 165 – 206 p. En: Avances en el cultivo de peces del género *Colossoma*. Programa Cooperativo Gubernamental. Proyecto AQUILA II. FAO. Documento de Campo 5. Brasilia. 235 p.

PESSOA, J. L. y M. C. NUÑEZ DA SILVA. 1988. Tambaquí (*Colossoma macropomum*, Cuvier 1818). Ampliacao do periodo do desova. CODEVASF. Brasilia. 20 p.

PRADA, N. 1982. Densidades y niveles de suministro de alimento en cultivo de Cachamas *Colossoma macropomum*, Cuvier 1818. En: González J.A. y B. Heredia (Eds.). El cultivo de Cachama. Fona IAP. Estación Experimental Guarico (Guanapito). 117 p.

QUINTERO, L. G. y M. CORTES. 1991. Evaluación de la digestibilidad aparente de la harina de arroz y la torta de palmiste en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). Tesis Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 137 p.

RAVELO, C. 1994. Estudios sobre la enfermedad Columnaris en el cultivo de cachama *Colossoma macropomum* en jaulas flotantes II. Preparación y utilización de vacuna experimentales en la prevención de la enfermedad. 319 – 327 p. En: Memorias del VIII Congreso Latinoamericano de Acuicultura. CILDESERC. ALA. COLCIENCIAS Bogotá. 562 p.

RAVELO, C. y D. A. CONROY. 1994. Estudios sobre la enfermedad Columnaris en el cultivo de cachama *Colossoma macropomum* en jaulas flotantes I. Caracterización de la enfermedad y su agente etiológico. 307 – 318 p. En: Memorias del VIII Congreso Latinoamericano de Acuicultura. CILDESERC. ALA. COLCIENCIAS Bogotá: 562 p.

REY, A. L. 1995. Efectividad de algunos tratamientos para ectoparásitos protozoarios en alevinos de cachama blanca, *Piaractus brachypomus*. Tesis Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 135 p.

SAINT-PAUL, U. 1983. Investigations on the respiration of the neotropical fish *Colossoma macropomum* (Serrasalmidae). The influence of weigth and temperature on the routine oxygen consumption. Amazoniana. VII(4): 433-443.

SANABRIA, A. I. 1994. Evaluación de la digestibilidad aparente de la azolla *Azolla filiculoides* como ingrediente principal en la formulación de dietas de cachama blanca *Piaractus brachypomus*. Tesis Universidad Javeriana. Bogotá. 155 p.

TORRES, C.A. y L.A. URIBE. 1995. Evaluación de la digestibilidad aparente de cuatro subproductos agroindustriales, fuentes de proteína y energía, en la nutrición de la cachama blanca *Piaractus brachypomus* Cuvier, 1818. Bol. Científ. INPA (3): 4-65.

URÁN C., L.A.; W. CANO; V. J. HÉRNANDEZ y J. E. NARANJO. 1994a. Evaluación del consumo de oxígeno a nivel metabólico de rutina en *Piaractus brachypomus* "cachama blanca", con peso inferior a un kilogramo. Informe Comisión de las Comunidades Europeas. Piscimeuse SA- Cerer U. De Liege- Universidad de Antioquia. Tihange.

URÁN C., L. A.; C. M. MARÍN y J. J. OROZCO. 1994b. Consumo y eficiencia de conversión de alimentos comerciales de diferentes niveles protéicos en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). Informe Comisión de las Comunidades Europeas. Piscimeuse SA- Cerer. U. De Liege- Universidad de Antioquia. Tihange.

VALENCIA, O.; N. CHAPARRO y E. M. FADUL. 1985. Aplicaciones hormonales para la reproducción artificial de la cachama negra (*Colossoma macropomum*) (Cuvier, 1818) y cachama blanca (*Colossoma bidens*) (Spix, 1829).

VALENCIA, O. y R. PUENTES. 1989 El cultivo de la cachama en Colombia. 117 – 143 p. En: Hernández, A. (Ed.). Cultivo de Colossoma. SUDEPE. CIID. COLCIENCIAS. 475 p.

VALENCIA, O.; M. P. DORADO y E. ORTEGA. 1994. Ensayo sobre la alimentación de la cachama negra (*Colossoma macropomum*) con pescado almacenado y preservado en ácidos orgánicos e inorgánicos (fish silage). Bol. Científ. INPA (2): 46 – 61 p.

VINATEA, J. E. 1989. Sobre inducción final de maduración, ovulación y espermiación en peces cultivados. 51 – 96 p. En: Avances en el cultivo de peces del género *Colossoma*. Programa Cooperativo Gubernamental. Proyecto AQUILA II. FAO. Brasilia. Documento de Campo 5.

WOYNAROVICH, E. 1986. Tambaquí e Pirapitinga. Propagacao artificial e criacao de alevinos. 3 edicao. Ministerio da Irrigacao CODEVAF. Brasilia. 68 p.

Capítulo XVI. ALGUNAS EXPERIENCIAS DE CULTIVO DE PECES ORNAMENTALES

Miguel Ángel Landínez Parra[1]

INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de acuicultura, comúnmente se viene a la cabeza la imagen de grandes extensiones de tierra inundadas y dedicadas al cultivo de especies ícticas, de crustáceos o moluscos destinados a la producción de proteína de buena calidad para el consumo humano. Por ende, rara vez se podría pensar en el aprovechamiento integral de pequeños espacios para esta actividad, y menos aún en que el producto final no debiera ser sacrificado para obtener beneficios de él. Sin embargo, existe una actividad poco explotada en Colombia que permite llevar a cabo estos dos eventos con grandes rendimientos: el cultivo de peces ornamentales (Landínez, 1999).

Estos peces son mundialmente reconocidos y apreciados por su gran variedad de colores, tamaños y formas, lo cual ha hecho que en países orientales se cultiven en forma masiva los conocidos *Carassius*, los cuales se han distribuido por todo el mundo, siendo quizás los peces ornamentales más populares del planeta, gracias a la gran variedad que de ellos existe (bailarinas, telescopios, cabeza de león, burbuja, etc.), quienes adicionalmente demandan un mantenimiento relativamente sencillo, haciéndolos atractivos a quien se quiera iniciar en esta actividad. De otro lado, se puede mencionar a los lebistes (*Poecilia reticulata*), también conocidos vulgarmente como guppys, los cuales por su elevada prolificidad y facilidad de manejo han llenado las expectativas de un gran número de cultivadores en todo el mundo, quienes no dejan de sorprenderse al encontrar en sus cruces nuevos tamaños, colores, forma de la aleta caudal y un sinnúmero de características deseables para estos pequeños individuos. No obstante, las expectativas están puestas en el cultivo de peces ornamentales tropicales, por ser considerados los más hermosos representantes de estos peces.

1. GENERALIDADES

Los peces tropicales son los que más llaman la atención de los acuaristas, quienes maravillados aprecian la gran cantidad de especies provenientes del trópico, buena parte de las cuales es exportada desde Colombia (INPA, 1991; 1994; 1995; 1996; 1997 y 1999 y PROEXPO, 1992), gracias a la gran variedad con la que se cuenta.

Es así como los peces ornamentales ocupan un renglón importante dentro de las exportaciones colombianas, alcanzando una cifra promedio de 17 750 000 unidades de peces vendidos al año en el periodo comprendido entre 1993 y 1998 (INPA, 1994; 1995; 1996; 1997 y 1999). No obstante, el 98.7% de estos individuos corresponden a peces capturados del medio natural y solamente el 1.3% restante es producido en cautiverio. Esta situación no deja de preocupar a quienes trabajan en la preservación de los recursos naturales, por cuanto la cifra de captura es muy superior, puesto que de los peces capturados solamente un pequeño porcentaje llega a las bodegas de acopio y pueden ser exportados; desafortunadamente no se tiene acceso a los datos de mortalidad durante los procesos de pesca y almacenamiento de los individuos, los cuales ilustrarían mejor el grave problema de sobrexplotación a que han sido sometidas estas especies en los últimos años (Landínez, 1999).

Por estas razones se hace necesario que los organismos gubernamentales tengan más control sobre el uso racional del recurso, para de esta manera garantizar su aprovechamiento sin atentar contra la perpetuación de las especies. Afortunadamente ya se han empezado a tomar medidas al respecto, y es así como en la Agenda 21 de la Cumbre de Río (1992) se trata de proteger los recursos naturales y dentro de éstos a los peces nativos. Adicionalmente, en

[1] Zootecnista, Candidato a Ph.D. Profesor Fac. Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. E-mail: malandip@caunesp.unesp.br

la citada agenda se pretende prohibir la comercialización de peces extraídos del medio, situación que de llegarse a dar implementaría en gran medida la producción de estos organismos en cautiverio, como es el caso de *Piaractus brachypomus* (cachama blanca), quien es la única especie de las exportadas como pez ornamental que cumple todo su ciclo bajo condiciones controladas y fe de ello dan las cifras de exportación de 1993 y 1996, las cuales no han sufrido modificación alguna, siendo de 14410 y 14136 animales respectivamente (INPA, 1994 y 1997), mostrando que sí es posible aprovechar el recurso de una manera racional y adecuada. Cabe anotar que esta especie además se cultiva como pez de consumo y aunque su comercialización como pez ornamental es mínima, en 1998 alcanzó la cifra de 73635 individuos (INPA, 1999), presentando un aumento del 420%, lo cual indica que el manejo técnico y controlado si puede llevarse a cabo.

Las anteriores consideraciones son las que dan pie para pensar en los peces ornamentales como una nueva alternativa de acuicultura comercial y de conservación de nuestros recursos naturales.

2. ALGUNAS ESPECIES CULTIVADAS

Aunque parezca sencillo este capítulo puede ser el más difícil de presentar, debido a que existe un gran número de peces ornamentales importantes y ni siquiera los más expertos se han puesto de acuerdo sobre la verdadera cantidad que de ellos existe y su correcta clasificación. Axelrod (1996), por ejemplo, presenta más de 500 especies de peces ornamentales de agua dulce, mientras que Mills y Vevers (1990) hacen una recopilación de 200 diferentes especies. Por su parte, Hougen (1999) reseña 75 especies distintas y Halstead y Landa (1992) hacen lo propio con más de 100 especies importantes.

En Colombia, por su parte, el INPA (1991) reglamenta 140 especies ornamentales, mientras que PROEXPO (1992) considera importantes a 91. No obstante, en 1998 se exportaron ejemplares de 169 especies distintas (INPA, 1999).

Por lo anterior, a continuación se presentan algunas especies importantes desde el punto de vista comercial tomando como base la clasificación de Mills y Vevers (1990), la cual hace una división en siete grandes grupos: carácidos, ciprínidos, silúridos, ciprinodóntidos, poecílidos, anabántidos y cíclidos.

2.1 Carácidos

Los carácidos se encuentran distribuidos principalmente en las aguas de América del Sur y Centro y en menor proporción en el continente africano (Pinkguni, 1997; Gratzek y Matthews, 1992; Salazar, 1996; Halstead y Landa, 1992; Vevers, 1982 y Mills y Vevers, 1990). Su característica fundamental es poseer un cuerpo cubierto de escamas y generalmente cuentan con aleta adiposa; no poseen barbillas y por lo general tienen fuertes dientes.

Sus hábitos alimenticios son muy variados, pudiendo existir desde individuos carnívoros hasta herbívoros, pasando por los omnívoros. Desde el punto de vista reproductivo, como regla general desovan un buen número de huevos y no presentan cuidado parental (Vevers, 1982 y Mills y Vevers, 1990).

El hábitat preferido para su mantenimiento es con temperaturas superiores a 25°C, aguas blandas o ligeramente duras y pH neutro con ligera tendencia a la acidez (Vevers, 1982).

Dentro de este grupo se encuentran las familias Characidae, Serrasalmidae, Gasteropelecidae, Lebiasinidadae, Anostomidae, Curimatidae y Citharinidae (Mills y Vevers, 1990).

Muchos autores coinciden en que la pirañas (*Serrasalmus* sp.) deben ser incluidas en un nuevo grupo denominado Serrasálmidos. Sin embargo, por regla general, se han incluido dentro del grupo de los Carácidos.

En la tabla 1 se incluyen las especies más representativas del grupo.

TABLA 1. Principales especies de carácidos ornamentales

Nombre común	Nombre científico
Cabeza para abajo	*Chilodus punctatus*
Cachama	*Piaractus brachypomus*
Gancho rojo	*Myloplus rubripinnis*
Mije rayado	*Leporinus striatus*
Moneda	*Metynnis* sp.
Monjita	*Gymnocorymbus ternetzi*
Pechona aletinegra	*Carnegiella marthae*
Pechona común	*Gasteropelecus sternicla*
Pechona plateada	*Gasteropelecus levis*
Pez lápiz	*Nannostomus eques*
Piraña dorada	*Serrasalmus gibbus*
Piraña Blanca	*Serrasalmus rhombeus*
Piraña negra	*Serrasalmus niger*
Piraña roja	*Serrasalmus nattereri*
Rojito	*Megalamphodus sweglesi*
Tetra bandera	*Hyphessobrycon heterorhabdus*
Tetra brillante	*Moenkhausia pittieri*
Tetra cardenal	*Cheirodon axelrodi*
Tetra emperador	*Nematobrycon palmeri*
Tetra franja negra	*Hyphessobrycon scholzei*
Tetra negro	*Hyphessobrycon herbertaxelrodi*
Tetra neón	*Paracheirodon innesi*
Tetra rojo	*Hyphessobrycon flammeus*

2. 2 CIPRÍNIDOS

Este grupo de peces es muy extenso, pudiendo encontrar ejemplares en casi todo el planeta, con excepción solamente de Sur América y Australia (Vevers, 1982). Estos individuos se caracterizan por no poseer dientes en las mandíbulas, pero si en la faringe. Pueden presentar uno o dos pares de barbillones en la boca, y como característica principal nunca presentarán aleta adiposa; generalmente están recubiertos de escamas (Mills y Vevers, 1990).

La mayoría de las especies pertenecientes a esta familia son omnívoras, aunque se pueden encontrar algunas que basan su dieta en pequeños invertebrados o simplemente son herbívoras. Su reproducción se lleva a cabo generalmente en aguas estancadas o de flujo lento (Mills y Vevers, 1990), en donde haya presencia de plantas sumergidas sobre las cuales la hembra depositará sus huevos generalmente adhesivos.

Las principales especies de esta familia son los barbos (Fig. 1) y los populares peces conocidos como peces dorados del género *Carassius* (Fig. 2) de los cuales se conocen un sinnúmero de variedades (pom-pom, cometa, celestial, cabeza de león, escama perla, telescopio, bailarina, burbuja, oranda, etc.) (Martty, 1991; Martty y Couto, 1991 y Hilble y Langfeldt, 1993). De otro lado se encuentran los kois, quienes son descendientes de la carpa común *Cyprinus carpio* y de los cuales se dice son los reyes de los peces de agua fría (Dawes, 1997) debido a la gran variedad de colores que de ellos existe.

Por otra parte encontramos gran variedad de barbos y de algunas otras especies, las cuales se presentan en la tabla 2.

2.3 SILÚRIDOS

Este grupo es comúnmente conocido como peces gato, debido a que presentan unas barbillas que forman parte de un complejo órgano sensorial que emplean para localizar su alimento, encontrar a su pareja y orientarse en el



FIGURA 1. Ejemplar adulto del barbo, especie *Barbus tetrazona*



FIGURA 2. Ejemplar adulto del pez dorado, especie *Carassius auratus*

medio en que se desenvuelven (Geis, 1997 y Gratzek y Matthews, 1992). Dentro de él se pueden encontrar más de 2000 especies, las cuales están distribuidas en el agua dulce de casi todo el mundo, especialmente en Africa y Sur América (Mills y Vevers, 1990), que van desde la más pequeña como la coredora pigmeo (*Corydora pygmaeus*) (Fig. 3) con sus escasos 3 cm de talla máxima, hasta el gran bagre de cola roja (*Phractocephalus hemiliopterus*) que puede alcanzar tallas superiores a 1 m de longitud (Geis, 1997 y Salazar, 1996).

La piel de los silúridos está desnuda, o bien cubierta de placas óseas, pero nunca poseen escamas propiamente dichas (Mills y Vevers, 1990). Muchas especies exhiben dimorfismo sexual, órganos intromitentes en los machos y hábitos reproductivos complejos que incluyen fabricación de nidos y cuidado parental (Salazar, 1996). Sin embargo, estos individuos pueden presentar la mayor diversidad de conductas reproductivas de todos los órdenes de peces. Algunos se aparean, desovan y se van para no volverse a encontrar, mientras que otros protegen cuidadosamente sus crías; algunos otros se reproducen en grupos en los cuales un sólo macho fertiliza huevos de varias hembras (Geis, 1997).

TABLA 2. Principales especies de ciprínidos ornamentales

Nombre común	Nombre científico
Arlequín	*Rasbora heteromorpha*
Bailarina	*Carassius auratus*
Barbo dorado	*Barbus schuberti*
Barbo naranja	*Barbus barilioides*
Barbo payaso	*Barbus everetti*
Barbo pigmeo	*Barbus phutunio*
Barbo verde	*Barbus semifasciolatus*
Barbo de Sumatra	*Barbus tetrazona*
Locha sayaso	*Botia macracantha*
Burbuja	*Carassius auratus*
Cabeza de león	*Carassius auratus*
Danio azul	*Danio devario*
Koi	*Cyprinus* sp.
Cola roja	*Labeo bicolor*
Labeo negro	*Morulius chrysophekadion*
Pez dorado	*Carassius auratus*
Pom-pom	*Carassius auratus*
Telescopio	*Carassius auratus*
Zebra	*Brachydanio rerio*



FIGURA 3. Ejemplar adulto de coredora pigmeo *Corydora pygmaeus* (LS: 2.5 cm)

La mayoría de las especies habitan en el fondo o cerca de él, son generalmente peces solitarios que desarrollan su actividad cuando oscurece y solamente en raras ocasiones forman cardúmenes (Mills y Vevers, 1990).

Según Mills y Vevers (1990) las principales especies utilizadas en los acuarios pertenecen a los Siluridae de Europa, Africa y Asia, los Schilbeidae y los Clariidae de Africa y Asia Meridional, los Mochocidae de Africa, los Pimelodidae de Sur América, dentro de los que se destaca el tigrito (*Pimelodus pictus*) por su tamaño pequeño, su hermoso color plateado con manchas negras y porque según los aficionados a esta especie, la forma de su cuerpo y la manera de nadar lo hace semejante a un tiburón marino, característica que confirma al depredar peces más pequeños (Bremer, 1998 y Glass, 1997). De otro lado están los Callichthyidae de Sur América, dentro de los que se destacan las populares coredoras (*Corydora* spp.), las cuales son muy útiles en los acuarios colectivos porque se encargan de mantener el sustrato limpio, pues la mayor parte de su tiempo permanecen excavando la grava para encontrar su alimento (Vevers, 1982 y Halstead y Landa, 1992). Por último, se encuentran los Loricariidae de Sur América, dentro de los que se incluyen a todos los peces acorazados de ventosa en su boca, popularmente conocidos como cuchas (Fig. 4), cuya cantidad de especies es innumerable, algunas de las cuales se pueden reproducir en los acuarios (Geis, 1997; Eckstein, 1994 y Eskstein y Marks, 1994).



FIGURA 4. Ejemplar adulto de cucha, especie *Hypostomus* sp

Algunas de las especies ornamentales más importantes pertenecientes al grupo de los silúridos se pueden apreciar en la tabla 3.

TABLA 3. Principales especies de Silúridos Ornamentales.

Nombre común	Nombre científico
Cajaro	*Phractocephalus hemiliopterus*
Coredora arcuato	*Corydora arcuatus*
Coredora bronce	*Corydora aeneus*
Coredora gigante	*Brochis coeruleus*
Coredora meta	*Corydora metae*
Coredora pigmeo	*Corydora pygmaeus*
Coredora reticulada	*Corydora reticulatus*
Cucha barbuda*	*Ancistrus temninckii*
Cucha real	*Panaque nigrolineatus*
Cuchas	*Pterygoplichthys sp.*
Cucha ojo azul	*Hypostomus plecostomus*
Lapicero	*Farlowella sp.*
Otocinclo	*Otocinclus affinis*
Pez gato cristal	*Kryptopterus bicirrhis*
Pez gato invertido	*Synodontis nigriventris*
Platidora**	*Platydora costatus*
Plecostomo	*Plecostomus punctatus*
Tiburón	*Pimelodus telemoncito*
Tigrito	*Pimelodus pictus*

* Bajo esta denominación también se conoce a *Ancistrus dolichopterus* y a *Xenocara dolichopterus* (Eskstein y Marks, 1994).

** Dentro de este grupo también se incluyen a *Amblydora hancockii*, *Acanthora cataphractus* y *Agamyxis pectiniforns* (Siebers *et al.*, 1997).

2.4 Ciprinodóntidos

Este grupo incluye cerca de 200 especies las cuales se encuentran distribuidas en aguas de casi todo el mundo. Son apreciadas por los aficionados a los acuarios por su gran variedad de colores. Sin embargo, no son recomendadas para acuarios colectivos ni para los principiantes. Los panchax y colas de lira son sus principales representantes, aunque en Colombia solamente existe el cuatro ojos (Tabla 4).

Este grupo es conocido popularmente como carpas dentadas, debido a que a diferencia de las carpas verdaderas poseen dientes en las mandíbulas. Adicionalmente no presentan barbillones ni aleta adiposa. Generalmente son peces pequeños (máximo 15 cm) que tienen un cuerpo alargado y la zona más elevada de su cabeza es aplanada; suelen tener la boca abultada y por lo general está dirigida hacia arriba, posibilitando la obtención del alimento en la superficie (Vevers, 1982; Mills y Vevers, 1990 y Halstead y Landa, 1992).

Desde el punto de vista reproductivo se evidencian características de dimorfismo sexual bien marcadas, siendo los machos los que presentan mayor tamaño, aletas más largas y colores más vistosos. De otro lado se pueden clasificar en dos grandes grupos según sus hábitos de postura: los anuales y los no anuales. El primer grupo se caracteriza por habitar aguas que se secan cada año, momento en el cual los adultos mueren dejando sus huevos en el sustrato para que eclosionen al volver la lluvia. En el segundo caso, los individuos tienen hábitos similares a los de las carpas y pueden vivir varios años (Mills y Vevers, 1990 y Vevers, 1982).

TABLA 4. Principales especies de ciprinodóntidos ornamentales

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Abanico azul	*Cynolebias bellotti*
Abanico negro	*Cynolebias igripinnis*
Cola de lira	*Aphyosemion filamentosum*
Cola de lira cabo López	*Aphyosemion australe*
Cola de lira rojo	*Aphyosemion bivistatum*
Cuatro ojos	*Anableps anableps*
Panchax azul	*Aplocheilus panchax*
Panchax de Ceilán	*Aplocheilus dayi*
Panchax luminoso	*Aplocheilicthys macrophthalmus*
Panchax seis bandas	*Epiplatys exfasciatus*
Panchax verde o enano	*Aplocheilus blocki*

2.5 Poecílidos

En este grupo se encuentran las denominadas carpas dentadas vivíparas, las cuales son originarias de Sur y Centro América, pero posteriormente fueron distribuidas a todo el mundo, principalmente para controlar poblaciones de mosquitos en países con problemas de enfermedades transmitidas por este insecto (Vevers, 1982; Martty, 1993; Axelrod, 1994; Gratzek y Matthews, 1992 y Mills y Vevers, 1990).

Estos individuos se pueden adaptar a casi todas las condiciones de manejo, pudiendo sobrevivir en temperaturas tanto bajas como elevadas. Por su fácil adquisición, prolificidad y sencillo mantenimiento, son los peces recomendados para quien recién se inicia en el mundo de los acuarios.

Sus hábitos reproductivos son complejos, presentando uno de los mecanismos propios de los peces teleósteos : la superfetación (Vazzoler, 1996 y Salazar, 1996), la cual consiste en que la hembra puede almacenar el esperma de un macho por periodos largos de tiempo, pudiendo fertilizar huevos maduros sin necesidad de la presencia de éste (Gratzek y Matthews, 1992 y Vevers, 1982). El macho, por su parte, presenta un órgano copulador llamado gonopodio, el cual es una modificación de la aleta anal que le permite introducir en la hembra una especie de espermatóforo, dentro del cual están los espermatozoides que fertilizarán los huevos maduros para dar origen a los nuevos individuos, los cuales nacen completamente desarrollados (Mills y Vevers, 1990 y Pérez, 1999).

En la tabla 5 se relacionan las principales especies incluidas en esta clasificación, dentro de las que se destacan los mollys, espadas, platys y principalmente los guppys (Fig. 5), que son uno de los peces de acuario más populares del mundo, debido a su inmensa variedad (triángulo, delta, bandera, espada, cobra, rocket, lira, etc.)

2.6 Anabántidos

Aunque actualmente el término anabántido utilizado para clasificar este grupo de peces se encuentra en revisión y probablemente dejará de existir, en este capítulo aún se utiliza, debido a que la mayoría de la literatura todavía lo incluye.

Estos peces son originarios de Africa y Asia y se pueden encontrar en Filipinas, Indonesia, Tailandia, Malasia e India (Mills y Vevers, 1990 y Ferraris, 1999).

Esta clasificación corresponde a individuos que poseen un órgano respiratorio auxiliar conocido como laberinto, el cual está formado por una masa de tejido epitelial plegado con numerosos vasos sanguíneos. Está situado en la parte superior de la cavidad branquial y permite al pez respirar aire atmosférico (Halstead y Landa, 1992; Mills y Vevers, 1990; Axelrod, 1994; Gratzek y Matthews, 1992 y Vevers, 1982).



FIGURA 5. Ejemplares hembra (izquierda) y macho (derecha) de guppy *Poecilia reticulata*. La hembra es de tamaño más grande y el macho con coloración más vistosa

La mayoría de las especies construyen nidos de burbujas en la superficie del agua y después del apareamiento el macho se encarga del cuidado parental.

A este grupo pertenecen las familias Anabantidae, Belontiidae, Helostomatidae y Osphronemidae, las cuales antiguamente se clasificaban en una sola. Se destacan en este grupo por su particular comportamiento y belleza el beta (Fig. 6), de gran colorido y hermosas aletas, y quien es conocido como luchador siamés, porque en presencia de otro macho de la misma especie reacciona iniciando una pelea que culminará con la muerte de uno de los dos ejemplares.



FIGURA 6. Ejemplar adulto (macho) de beta, *Betta splendens*

TABLA 5. Principales especies de poecílidos ornamentales

Nombre común	Nombre científico
Espada	*Xiphophorus helleri*
Gambusia	*Gambusis affinis*
Guppy	*Poecilia reticulata*
Molly aletigrande	*Poecilia latipinna*
Molly de vela	*Poecilia velifera*
Molly negro	*Poecilia hybrid*
Pez mosquito o enano	*Heterandria formosa*
Platy común	*Xiphophorus maculatus*
Platy variado	*Xiphophorus variatus*

Por otro lado tenemos a la perca trepadora, la cual es capaz de moverse largos trayectos fuera del agua, valiéndose de su laberinto para respirar y de su aleta caudal para desplazarse. En la tabla 6 se presentan algunas especies de este grupo.

2.7 Cíclidos

Sin lugar a dudas en esta familia se hallan los mejores ejemplares de la acuariofilia mundial, gracias a que en ella se pueden encontrar varios miles de especies diferentes, todas ellas de coloración, forma y comportamiento atractivo.

Están ampliamente distribuidos por Centro y Sur América y en África tropical. No obstante, dos especies se encuentran en Asia y una en Norte América (Mills y Vevers, 1990; Gratzek y Matthews, 1992 y Calvosa, 1999). Generalmente habitan en lagos o aguas de curso lento, las cuales poseen rocas y abundante vegetación. Allí se reproducen, normalmente sobre una superficie limpia sobre la cual la hembra pone los huevos y en seguida el macho los fertiliza y elimina los no viables. Comúnmente se presenta cuidado parental.

Dentro de esta clasificación sobresalen los cíclidos originarios de África, entre los cuales se destaca el kribensis o cíclido enano púrpura por poseer el mejor colorido de las especies de agua dulce, presente en ambos sexos (Axelrod, 1994). De otro lado están los Suramericanos, siendo sus principales exponentes el pez ángel, el oscar y el infaltable disco, considerado por los expertos como el rey del acuario, por ser el más bello de todos los peces

TABLA 6. Principales especies de anabántidos ornamentales

Nombre común	Nombre científico
Beta – combatiente	*Betta splendens*
Cola de peine	*Belontia signata*
Gurami azul - tres manchas	*Trichogaster trichopterus*
Gurami besador - besucón	*Helostoma temmincki*
Gurami común	*Osphronemus goramy*
Gurami chocolate	*Sphaericthys osphromenoides*
Gurami enano	*Colisa lalia*
Gurami gigante	*Colisa fasciata*
Gurami perla	*Trichogaster leeri*
Perca trepadora	*Anabas testudineus*
Pez paraíso	*Macropodus opercularis*
Pez paraíso café	*Macropodus cupanus dayi*

tropicales de agua dulce. Sobre estas tres últimas especies se hará referencia más adelante. Otras especies de cíclidos importantes se aprecian en la tabla 7.

Por último, y antes de concluir el numeral sobre especies, no se puede dejar de mencionar a la familia *Osteoglossidae*, la cual incluye a los peces de agua dulce más grandes del planeta, dentro de los que se cuentan el pirarucú (*Arapaima gigas*), el arawana plateado (*Osteoglossum bicirrhosum*), el arawana negro (*Osteoglossum ferreirae*) y el pez dragón (*Scleropages formosus*), entre otros, los cuales son apreciados mundialmente por su gran tamaño e imponente presencia (Dawes, 1996).

TABLA 7. Principales especies de cíclidos ornamentales

Nombre común	Nombre científico
Agasiz	*Apistogramma agassizi*
Altum	*Pterophyllum altum*
Apistograma*	*Apistogramma artmanni*
Boca de fuego	*Cichlasoma meeki*
Cebra – convicto	*Cichlasoma nigrofasciatum*
Disco	*Symphysodon* sp.
Escalar – ángel	*Pterophyllum scalare*
Falso disco	*Cichlasoma severum*
Falso escalar - festivo	*Macropodus cupanus dayi*
Incubador bucal	*Pseudocrenilabrus multicolor*
Jack de Dempsey	*Cichlasoma octofasciatum*
Kribensis	*Pelvicachromis pulcher*
Oscar	*Astronotus ocellatus*
Ramirezi**	*Apistogramma ramirezi*

* También conocido como *Apistogramma corumbae* (INPA, 1991)

** Se conoce también como *Microgeophagus ramirezi* (INPA, 1991)

3. CULTIVO

En este capítulo se presentan algunas prácticas generales de cultivo, en el que se consideran las tres principales especies de cíclidos nativos de Colombia: el escalar, el disco y el óscar.

3.1 El escalar

3.1.1 Clasificación

El escalar o pez ángel es uno de los peces tropicales de acuario más conocidos del mundo. Pertenece al orden de los Perciformes y a la familia Cichlidae. Su nombre científico es *Pterophyllum scalare* (Lichenstein, 1840) (Fig. 7 a.), aunque se conocen otras dos especies denominadas *P. leopoldi* (GOSSE, 1963) y *P. altum* (Pellegrini, 1903) (Fig. 7 b.) (Martty, 1984; Siebers y Hayrapetian, 1997 y Salas, 1999). Hasta la fecha no se conocen reportes de producción en cautiverio de *P. altum*; sin embargo, se han reportado cruces de éste con *P. scalare*, especie de la cual se hablará a continuación.

Cabe anotar que en *P. scalare* se pueden encontrar variedades como el escalar de velo, plateado, negro, dorado, mutante, rosa, holandés, albino, mármol y perla, entre otros.

3.1.2 Agua

Para el mantenimiento de los individuos se debe cumplir con unos requerimientos mínimos en cuanto a calidad del agua, principalmente en lo referente a temperatura y pH, los cuales deben estar en promedio en 26°C y 6.8, respectivamente. El agua debe ser blanda y preferiblemente no deben existir corrientes fuertes.

Una vez cumplidas éstas características se puede iniciar con éxito el mantenimiento de los animales, bien sea para labores de mantenimiento, reproducción, larvicultura o para el crecimiento de los ejemplares.

3.1.3 Alimentación

Este es uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta antes de iniciar la producción del pez ángel, debido a que dependiendo de este factor los animales serán sanos, activos y su maduración gonadal será óptima. Afortunadamente estos individuos reciben bien los alimentos comerciales para peces, facilitando de esta manera su alimentación. No obstante, tendrán preferencia por el alimento vivo y su eficiencia productiva será más alta al utilizar este tipo de alimento. Dentro de esta categoría se pueden incluir adultos de *Artemia salina*, larvas de mosquito, *Tubifex*, *Daphnia* y en general cualquier tipo de alimento vivo para peces (Reyes, 1998; Hawley, 1999; Yoshino y Kobayashi, 1997; Martty, 1995 y Ghianni, 1999).

3.1.4 Reproducción

Como es lógico, antes de iniciar la reproducción de estos peces se debe asegurar que se cuente con ejemplares de ambos sexos, para lo cual se necesitan conocer las características de dimorfismo sexual secundario, las cuales, en esta especie, son las siguientes: a nivel de la cabeza se puede apreciar en los machos una mandíbula inferior más prominente, al tiempo que la frente es protuberante y convexa, mientras que en la hembra la frente se presenta ligeramente cóncava. Así mismo, se puede observar como los primeros radios o espinas de la aleta dorsal son más fuertes, dentados e irregulares en los machos que en las hembras (Martty, 1984).

Sin embargo, estas pequeñas diferencias no son tan fáciles de apreciar y solamente los cultivadores experimentados podrán identificar a ciencia cierta el sexo de los individuos. No obstante, existe una característica inequívoca de dimorfismo sexual en la cual se observa el tubo ovopositor de la hembra dirigido hacia atrás, mientras que el espermiducto del macho lo hace hacia adelante (Martty, 1984; Salas, 1999 y Hawley, 1999). Cabe anotar que en algunas variedades, el tamaño y conformación de las aletas así como la presencia o no de velo pueden indicar si se trata de un macho o una hembra. En las figuras 8 y 9, podemos apreciar ejemplares macho y hembra de *P. scalare*.

Selección de reproductores. Para seleccionar los reproductores es indispensable que se deje en un acuario, de mínimo 150 litros, un grupo por lo menos de 6 ó 7 ejemplares para observar cuales de ellos se establecen como pareja. Dicho suceso se puede apreciar porque los dos peces permanecen juntos y se nota en ellos la marcación de un territorio el cual defienden de los demás ejemplares. En este momento se debe trasladar la recién conformada pareja a un acuario de postura, el cual debe tener una capacidad mínima de 70 litros y en el que se ha acondicionado una estructura lisa (tubo de PVC) que hará las veces de nido y en dicho acuario tendrá lugar el desove.

Desove. El desove ocurre en este acuario y en la pareja se observa un comportamiento relativamente agresivo y los ejemplares permanecen en estado de alerta. Posteriormente se inicia la actividad de cortejo, la cual se caracteriza por una marcada atracción de los dos individuos permaneciendo generalmente juntos cerca del nido. Inmediatamente después ambos ejemplares limpian con su boca el nido en donde más adelante se llevará a cabo la puesta.

Cuando el nido está completamente limpio, la hembra comienza a pegar hileras de huevos sobre él y es seguida por el macho quien pasa sobre ellos fertilizándolos. Esta actividad se repite varias veces hasta que el nido queda cubierto por los huevos recién fertilizados. Generalmente una hembra puede poner entre 200 y 500 huevos fértiles dependiendo de su tamaño (Ghianni, 1999 y Salas, 1999).

Incubación. Aunque esta especie debería presentar cuidado parental, en ocasiones los padres ingieren lotes completos de huevos y/o larvas, con la consiguiente pérdida de los mismos. Por este motivo es recomendable sacar el nido del

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

a)   b)

FIGURA 7. Ejemplares de escalar
a) *Pterophyllum scalare* y b) *Pterophyllum altum*

acuario de desove a otro acuario más pequeño (20 litros), con aireación constante, en el que se lleva a cabo la incubación, la cual dura aproximadamente 2 a 3 días a una temperatura promedio de 26°C; tiempo en el cual las larvas eclosionan, pero permanecen adheridas al nido.

3.1.5 Larvicultura

Las larvas recién eclosionadas dependen de su saco vitelino durante aproximadamente 3 a 4 días. Al reabsorber el saco los nuevos individuos ya presentan aberturas bucal y anal y han llenado su vejiga gaseosa; para entonces su nado es horizontal y reciben alimentación exógena. En ese momento se les suministra infusorios por aproximadamente un día, estos corresponden a protozoarios principalmente *Paramesium* y se preparan dejando "madurar el agua" con diferentes tipos de materia prima tales como grama seca cortada, hervida y después reposada, cáscara de banano, yema de huevo, leche, lechuga, etc. Se continúa el proceso suministrando los nauplios de *Artemia salina*, los cuales son consumidos ávidamente. Posteriormente se empieza a suministrar alimento inerte junto con el alimento vivo, a fin de acostumbrar a los animales al concentrado que consumirán de ahora en adelante. Con esta metodología la supervivencia es superior al 75%.



FIGURA 8. Ejemplar macho de escalar de velo, *Pterophyllum scalare*. (Obsérvense las aletas cortas)



FIGURA 9. Ejemplar hembra de escalar de velo, *Pterophyllum scalare*. (Obsérvense las aletas largas y el menor tamaño del cuerpo)

3.1.6 Alevinaje

Los individuos adaptados al concentrado son trasladados a acuarios o estructuras mayores, en las que se espera adquieran la talla de venta (2.5 cm), aproximadamente 45 días después. Durante esta etapa los animales se alimentan *Ad libitum* con alimento comercial para peces tropicales, con un contenido proteico mínimo de 45% y un nivel de lípidos de 12%.

3.2 EL DISCO

3.2.1 Clasificación

El disco, considerado por todos como el rey del acuario, es el pez tropical ornamental más hermoso y apetecido del mundo. Pertenece a la familia Cichlidae, subfamilia Tilapiinae, género *Symphysodon*. Se conocen varias especies y aún hoy en día los taxónomos e ictiólogos no se han puesto del todo de acuerdo sobre la validez y correcta clasificación de las mismas. Sin embargo, la mayoría de los autores actualmente aceptan dos especies: *S. discus* o disco verdadero o de Heckel y *S. aequifasciata* o disco común o de bandas. La primera especie posee dos subespecies mientras que en la segunda se pueden encontrar tres (Vevers, 1982; Mills y Vevers, 1990; Keller, 1996; Quarles, 1995; Salas y Garrido, 1999 y Sweeney, 1997). Dichas subespecies son las siguientes :

Symphysodon discus discus (Heckel, 1840): disco heckel
Symphysodon discus willischwartzi (Heckel, 1840): disco piña
Symphysodon aequifasciata axelrodi (Schultz, 1960): disco marrón
Symphysodon aequifasciata haraldi (Schultz, 1960): disco azul
Symphysodon aequifasciata aequifasciata (Pellegrin, 1903): disco verde

Por no ser el objetivo de este capítulo no se discutirán las diferencias entre cada una de las especies. Sin embargo, se debe anotar que existen gran cantidad de variedades y colores derivados de ellas. En las figuras 10 y 11 se pueden apreciar ejemplares de disco marrón y disco verde.



FIGURA 10. Detalle de la cabeza de un ejemplar de disco marrón, *Symphysodon aequifasciata axelrodi*



FIGURA 11. Ejemplares juveniles de disco verde, *Symphysodon aequifasciata aequifasciata*

3.2.2 Agua

Para el mantenimiento de estos peces es indispensable contar con agua blanda, con temperatura de 27 a 30 °C, pH ligeramente ácido (6 - 6.5) (Yoshino y Kobayashi, 1997 y Tejedor, 1997) y como característica específica se debe mantener aireación constante, pero con un difusor que no permita formación de burbujas grandes ni de turbulencias, las cuales molestan especialmente a los discos. Como regla general se acostumbra proveer oscuridad al acuario y adicionar "extracto de turba" al agua. El tamaño de los acuarios para mantener cuatro o cinco adultos debe estar por encima de los 200 litros (Quarles, 1995, 1999a; Keller, 1996 y Sweeney, 1997) porque estos individuos necesitan bastante espacio para nadar y se estresan muy fácilmente en condiciones de hacinamiento.

3.2.3 Alimentación

La alimentación de los ejemplares es la clave para su buen desarrollo y una adecuada predisposición para la reproducción (Salas y Garrido, 1999), por ello el alimento que se ofrezca a los discos debe ser de óptima calidad. Como es natural el alimento vivo es el que mejores resultados ofrece aunque el inerte puede ser de gran utilidad. En la primera categoría podemos contar a las larvas de mosquito, gusanos blancos, gusanos rojos, gammarus y adultos de *Artemia*, mientras que en la segunda se destacan las hojuelas, granulados y las famosas papillas nutritivas las cuales se pueden preparar fácilmente con hígado de pollo, corazón de res, espinaca, mariscos, etc. (Quarles, 1999b; Escudero, 1999 y Keller, 1996). Por último se debe mencionar al *Tubifex*, sobre el cual existe toda una serie de controversias, pues algunos autores lo catalogan como de imprescindible en la cría de los discos (Tejedor, 1997), mientras que otros recomiendan no tenerlo en cuenta por ser vector de enfermedades para los peces (Quarles, 1995).

3.2.4 Reproducción

Hasta hace poco se consideraba imposible la reproducción del disco en cautiverio y nadie le apostaba a la obtención de alevinos de manera controlada. Hoy en día existen muchos productores a nivel mundial que no sólo reproducen al disco masivamente sino que adicional a ello han creado toda una serie de hermosas variedades. En primera instancia se debe decir que en esta especie no existe dimorfismo sexual secundario y ni siquiera el más experto podría garantizar 100% el sexaje de una pareja, a no ser que ésta ya se hubiese reproducido. Este es el primer limitante que se presenta al momento de reproducir los discos, razón por la cual el interesado debe permanecer alerta a cualquier cambio repentino en el comportamiento de sus ejemplares que denote la elección de pareja, debido a que este es el primer y más importante paso para poder reproducir estos peces.

Selección de reproductores. Antes de llevar a cabo la selección de reproductores se debe permitir que la naturaleza haga su trabajo. Esto es que en un acuario con varios individuos, dos ejemplares formen pareja por sí mismos. Para identificar la pareja formada es conveniente haber puesto un tubo PVC o una maceta de barro dentro del acuario, cerca a la cual permanecerán los individuos que han creado vínculo, defendiendo ese territorio como propio. En ese momento es cuando se debe trasladar la recién formada pareja a un acuario de desove de mínimo 120 lt (Quarles, 1995), teniendo especial cuidado de no manipular en exceso a los animales, debido a que el traslado para ellos representa un gran estrés y en ocasiones se puede perder la atracción de los dos individuos, es por esta razón que algunos productores prefieren dejar que los peces desoven en el tanque comunitario, pero esta decisión puede acarrear la pérdida de los huevos o larvas por depredación.

Desove. El desove tiene lugar en el acuario de reproducción, en el cual se debe tener un substrato para que la hembra pegue los huevos (maceta de barro o tubo PVC). La pareja que acaba de ser trasladada se tarda un tiempo en adaptarse al nuevo hábitat (Keller, 1996). Sin embargo, cuando lo ha hecho se inicia la actividad de cortejo, la cual se caracteriza porque los dos individuos permanecen cerca al sitio de postura y empiezan a presentar una conducta agresiva. Posteriormente el macho nada hacia la hembra rápidamente, presentando una vibración característica en sus aletas; la hembra cambia de color y en señal de sumisión baja la cabeza. En este momento los dos ejemplares se muestran más oscuros e inician la limpieza del sitio de puesta (Keller, 1996; Quarles, 1995; Sweeney, 1997 y Salas y Garrido, 1999). Dicha limpieza se lleva a cabo con la boca y cuando el substrato está completamente limpio, la hembra pasa sobre él su tubo ovopositor desde abajo hacia arriba. Sin embargo, aun no pega ningún huevo en la maceta (Quarles, 1995, 1999c). Posteriormente comienza a pegar los huevos en hileras,

seguida del macho quien los fertiliza. Por lo general una hembra pone entre 300 y 400 huevos, los cuales son de color amarillento y de 1 mm de diámetro (Keller, 1996).

Incubación. El desarrollo embrionario en esta especie dura aproximadamente 60 horas a una temperatura promedio de 28°C; tiempo en el cual las larvas eclosionan, pero al igual que sucede con el escalar, aun no se desprenden del lugar de postura. Durante todo el proceso los padres cuidan sus crías asegurándose de mantenerlas adheridas al nido, con suficiente aireación (con movimientos de sus aletas) y eliminando los huevos muertos. No obstante, el proceso no es tan simple como parece, debido a que con mucha frecuencia alguno de los dos padres (o ambos) comienzan a devorar los huevos. Por este motivo algunos criadores prefieren hacer la incubación de manera similar a la del escalar, lo cual, como se verá más adelante, no es recomendable, debido al cuidado parental que debe existir de los padres hacia las larvas. Una opción adecuada sería cubrir los huevos con una membrana transparente que permita a los progenitores observarlos sin tener acceso directo a ellos. De todas maneras lo mejor es dejar a los parentales encargarse del cuidado de los huevos fertilizados mientras dura el proceso de incubación.

3.2.5 Larvicultura

Una vez reabsorbido el saco vitelino (3 a 4 días), las larvas ya pueden nadar y es en ese momento cuando los adultos ya no pueden seguir llevándolas permanentemente al nido. Por este motivo la actitud de los padres cambia y uno de los dos ejemplares, generalmente el macho, toma las larvas y con una fuerte sacudida las entrega a la madre quien se encarga a partir de ese momento de su cuidado, el cual consiste en permitir a los nuevos individuos "mordisquear" sus flancos a fin de que se alimenten de la secreción mucosa característica de los reproductores de esta especie. Cuando dicha secreción es consumida en su totalidad, la prole se transfiere al otro progenitor donde se lleva a cabo la misma actividad. Transcurridos 6 a 7 días se debe iniciar el suministro de nauplios de *Artemia salina*. Por último, cabe anotar que el éxito en la cría del disco depende en gran medida del cuidado parental inicial de las larvas.

3.2.6 Alevinaje

A partir del día 12 es muy importante comenzar a adaptar los peces al alimento artificial, lo cual se logra alternándolo con el suministro de *Artemia*. Es conveniente en este momento trasladar los ejemplares a un acuario mediano (70-80 litros) en el que se debe haber instalado un filtro de espuma y en el cual los ejemplares alcanzan una talla de aproximadamente 3 a 4 cm en 60 días (Salas y Garrido,1999 y Quarles, 1995). En la tabla 8 se presenta la composición del alimento utilizado durante esta fase, aunque es importante señalar que es no debe dejarse de lado al alimento vivo, sobresaliendo durante esta etapa las larvas de mosquito y *Drosophylla*. En la figura 12 se pueden apreciar algunos ejemplares de disco listos para la venta.

3.3 El óscar

3.3.1 Clasificación

El óscar es otro de los cíclidos importantes en el mundo de los peces ornamentales, por su temperamento, colorido y especialmente por su gran tamaño (Fig. 13). Pertenece al género *Astronotus*, el cual incluye dos especies importantes: *A. crassipinis* (Heckel, 1840) y *A. ocellatus* (Agassiz, 1831) (González *et al.*, 1996); siendo esta última la más conocida dentro de los cultivadores, quienes destacan la belleza del ocelo presente en el pedúnculo caudal de los ejemplares.

3.3.2 Agua

Desde el punto de vista de calidad del agua, este es un pez fácil de mantener, requiere aguas blandas, con temperatura de 24.5 a 26.5 °C y un pH neutro o ligeramente alcalino (Axelrod, 1994; Toshiro, 1999 y Mc Donald, 1999). Para su mantenimiento la mayoría de la literatura menciona acuarios de mínimo 250 lt, pero por su gran tamaño es recomendable mantenerlos en piletas o estanques, teniendo precaución de dejar algunas rocas grandes en el piso, ya que es inútil mantener substratos pequeños, debido a que este pez tiene la costumbre de excavar el fondo de los tanques.

TABLA 8. Composición del alimento para levante de discos (Tetra Sales™)

NUTRIENTE	CANTIDAD
Proteína Cruda	47.5 %
Lípidos	7.5 %
Fibra	2 %
Humedad	6 %
Fósforo	1.5 %
Vitamina C	100 mg/kg

3.3.3 Alimentación

Este es quizás el mayor temor de quien quiera iniciarse en el cultivo del óscar, por cuanto este pez es famoso por su excesivo apetito y voracidad. Pero es fácil acostumbrarlo al alimento comercial, siempre y cuando este sea de un tamaño de partícula considerable. También recibe ávidamente trozos de carne, hígado, corazón, pescado y camarón, no obstante, su alimento preferido son pequeños peces que él pueda capturar, por lo que es recomendable contar con un cultivo alterno de guppys, el cual no demanda mayores cuidados. Otra alternativa puede ser el suministro de individuos de tilapia (*Oreocrhomis* spp.) que sean desechados por las empresas productoras de esta especie.

3.3.4 Reproducción

En estos peces la identificación de hembras y machos no es tarea fácil, pudiéndose reconocer, solamente cuando se acerca la época de reproducción, momento en el cual la papila de la hembra se muestra engrosada y roma, mientras que la del macho se ve alargada y puntiaguda (Axelrod, 1994 y Toshiro, 1999).

Esta especie generalmente desova en superficies planas, transfiriendo después los huevos a pequeños "nidos" en donde es evidente el cuidado parental.

Selección de reproductores. Como se mencionó anteriormente, el dimorfismo sexual secundario sólo se presenta momentos antes al desove, por lo cual, únicamente hasta entonces se puede hacer la selección adecuada. Sin embargo, algunos cultivadores dejan grupos de varios individuos sin selección previa, en estanques comunitarios y esperan la aparición de las larvas, tal y como sucede en los cultivos de tilapia. No obstante, al seleccionar una pareja se puede tener mayor control sobre la puesta.

Desove. El tanque de desove debe tener en el fondo un substrato, generalmente de arena; sobre el que se deben poner rocas grandes, macetas de barro, bloques y en general todo tipo de materiales que permitan a los ejemplares elegir un sitio adecuado para la puesta.

El cortejo en esta especie es muy variado. En algunos casos los individuos permanecen juntos apaciblemente, mientras que en otros los ejemplares se muestran agresivos llegando inclusive a herirse (Axelrod, 1994). Lo cierto es que nadan en busca del lugar de postura, el cual generalmente es una roca suave y lisa. Allí la hembra empieza a pegar sus huevos, seguida del macho quien deposita el esperma sobre ellos. La cantidad de huevos es variable, pero en términos generales, una hembra promedio desova de 500 a 600 huevos. Posteriormente se inicia el cuidado parental, el cual se lleva a cabo normalmente en una depresión en la arena del tanque.

Incubación. La incubación en esta especie tarda 3 a 4 días y lo más aconsejable es dejar a las crías con sus padres en el tanque de desove, puesto que esta metodología es la que mejores resultados ofrece.

3.3.5 Larvicultura

Como regla general se recomienda dejar a las larvas con sus progenitores hasta que hayan reabsorbido su saco vitelino y puedan nadar libremente. Es conveniente para entonces suministrar rotíferos y dafnias o bien, mantener



FIGURA 12. Pequeños discos listos para la venta

abonado el tanque durante todo el proceso de reproducción. Solo así se garantiza la supervivencia del mayor número de larvas posible, las cuales se trasladan a un nuevo tanque aproximadamente a los 12 días de nacidas.

3.3.6 Alevinaje

Las postlarvas recién trasladadas se adaptan fácilmente al concentrado, aunque si en el tanque existe plancton su crecimiento es mejor. La alimentación debe suministrarse el mayor número de veces posible al día, hasta que los ejemplares adquieran tallas de 3 cm en promedio (40 días después), día en el que su alimento preferido son los guppys, los cuales, de ser posible, se deben suministrar a diario.



FIGURA 13. Adulto de la especie denominada óscar, *Astronotus ocellatus* (LS: 27 cm)

BIBLIOGRAFÍA

AXELROD, H. 1994. Crianza de los peces de acuario. Ed. Hispano Europea S. A. Barcelona.

AXELROD, H. 1996. Atlas de los peces de acuario de agua dulce. 8ª edc. Ed. Hispano Europea S. A. Barcelona.

BREMER, M. 1998. *Pimelodus pictus*. 12-16 p. En : Rev. El Acuario Práctico. N° 16. septiembre-octubre.

CALVOSA, G. 1999. Los cíclidos (Oscar, Angel, Cíclido Africano y Disco). http ://www.drpez.com (Mayo 1999)

DAWES, J. 1996. Bajo el hechizo de los dragones. 23-27 p. En : Rev. El Acuario Práctico. N° 4, septiembre - octubre.

DAWES, J. 1997. Los Kois, las joyas del estanque. 52-55 p. En : Rev. El Acuario Práctico. N° 11, noviembre - diciembre.

ECKSTEIN, G. 1994. Breeding basics. Rev. Aquarium Fish Magazine. 6 (4): 8-10.

ECKSTEIN, G. y C. MARKS. 1994. Midnight at the oasis. Rev. Aquarium Fish Magazine. 6 (4): 32-45.

ESCUDERO, F. 1999. Alimento para discos y oscares. http ://www.drpez.com (Junio 1999).

FERRARIS, J. 1999. Betta splendens. http://www.drpez.com (Junio 1999)

GEIS, R. 1997. Peces gato. Ed. Hispano Europea S. A. Barcelona.

GHIANNI, J. 1999. How to raise a quality angelfish. Ihttp ://www.fishgeeks.com (Mayo 1999)

GLASS, S. 1997. The spotted pim cat. In : Rev. Tropical Fish Hobbyist. 45(9): 14-19.

GONZÁLEZ, E; M. VARONA y P. CALA. 1996. Datos biológicos del oscar *Astronotus ocellatus* (PISCES : CICHLIDAE), en los alrededores de Leticia, Amazonía. 51-62 p. En : Rev . Dahlia N° 1, agosto.

GRATZEK, J. y J. MATTHEWS. 1992. Aquariology. Tetra Press Publications, New York.

HALSTEAD, B. y B. LANDA. 1992. Peces tropicales. Ed. Trillas. México.

HAWLEY, C. 1999. Angelfish. http://www.actwin.com/fish/angelfish.html (Junio 1999).

HILBLE, R. y G. LANGFELDT. 1993. Goldfish. N. J. (USA). T.H.F. Publications, Inc.

HOUGEN, D. 1999. Good (and bad) beginner fish. http://www.cco.caltech.edu/aquaria/faq/ (Mayo 1999).

INPA. 1991. Resolución N° 00080 de 28 de noviembre.

INPA. 1994. Boletín Estadístico Pesquero 1993. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. División de Sistemas y Estadísticas. Santafé de Bogotá. 23 p. + 28 tablas.

INPA. 1995. Boletín Estadístico Pesquero 1994. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. División de Sistemas y Estadísticas. Santafé de Bogotá. 33 p.

INPA. 1996. Boletín Estadístico Pesquero 1995. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. División de Sistemas y Estadísticas. Santafé de Bogotá. 36 p.

INPA. 1997. Boletín Estadístico Pesquero 1996. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Grupo de Estadísticas. Santafé de Bogotá. 107 p.

INPA. 1999. Boletín Estadístico Pesquero 1997-1998. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Grupo de Estadísticas. Santafé de Bogotá. 114 p.

KELLER, G. 1996. Mis peces disco. Ed. Hispano Europea S. A. Barcelona.

LANDÍNEZ, M. 1999. La otra acuicultura. 18-19 p. En: Rev. Acuioriente. N° 7, septiembre.

MARTTY, H. 1984. Scalares. Ed. Albatros. Buenos Aires.

MARTTY, H. 1991. El acuario de agua fría. Ed. Albatros. Buenos Aires.

MARTTY, H. 1993. Lebistes. Ed. Albatros. Buenos Aires.

MARTTY, H. 1995. El acuario tropical. Ed. Albatros. Buenos Aires.

MARTTY, H. y D. COUTO. 1991. Carassius. Ed. Albatros. Buenos Aires.

Mc DONALD, S. 1999. Oscars. http://www.aquadirect.com/controllers/html (Junio 1999)

MILLS, D. y G. VEVERS. 1990. Guía práctica ilustrada de los peces de acuario. 2ª edc. Ed. Blume S. A. Barcelona.

PÉREZ, T. 1999. La reproducción del guppy. http://www.drpez.com (Mayo 1999).

PINKGUNI, M. 1997. Pirañas. Ed. Hispano Europea S. A. Barcelona.

PROEXPO. 1992. Catálogo de los peces ornamentales de Colombia. Ed. Retina. Santafé de Bogotá.

QUARLES, J. 1995. Peces disco. Ed. Hispano Europea S. A. Barcelona.

QUARLES, J. 1999. Discus in a company aquarium. http://www.dph.nl (Junio 1999).

QUARLES, J. 1999a. Food, food, food, but what to feed. http://www.dph.nl (Junio 1999).

QUARLES, J. 1999b. Discus breeding. http://www.dph.nl (Junio 1999). (Junio 1999)

REYES, J. 1998. Ensayos preliminares en reproducción, larvicultura y alevinaje de *Pterophyllum scalare* en cautiverio. Rev. Medicina Veterinaria y Zootecnia. 45 (1) : 1-6.

SALAS, J. 1999. La reproducción del escalar. http://www.drpez.com (Junio 1999).

SALAS, J. y C. GARRIDO. 1999. La reproducción del disco. En: http://www.drpez.com (Mayo 1999).

SALAZAR, P. 1996. Peces del Llano. Cristina Uribe Editores. Santafé de Bogotá.

SIEBERS, P.; GARVIA, A.; DAWES, J. y A. MONTOLIO. 1997. Platydora: el pez gruñón. Rev. El Acuario Práctico. noviembre-diciembre. 11: 16-20.

SIEBERS, P y F. HAYRAPETIAN. 1997. Preguntas tropical. Rev. El Acuario Práctico. noviembre-diciembre. 11: 26-30.

SWEENEY, M. 1997. Discos. Ed. Hispano Europea S. A. Barcelona.

TEJEDOR, A. 1997. Mi primer disco. Rev. El Acuario Práctico. noviembre-diciembre. 11: 31-34.

TOSHIRO, E. 1999. My Oscars. http://members.tripod.com/toshir0/cyber-aquaria.htm (Junio 1999).

VAZZOLER, E. 1996. Biología da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática. Ed. Nupelia. Maringa-PR (Brasil).

VEVERS, G. 1982. Guía de los peces de acuario. Ediciones Folio S. A. Barcelona.

YOSHINO, S. y D. KOBAYASHI. 1997. El acuario natural. Ed. Hispano Europea S. A. Barcelona.

Capítulo XVII. CULTIVO DE PECES EN JAULAS

Carlos Useche López[1]
Mónica Aviles Bernal[2]
María del Pilar Dorado Longas[3]

INTRODUCCIÓN

El cultivo de peces en jaulas flotantes es un sistema que se realiza en recintos cerrados y suspendidos en el agua y se fundamenta en el mantenimiento de organismos en cautiverio dentro de un espacio cerrado, pero con flujo libre de agua. Las jaulas flotantes pueden ser móviles o semimóviles y se pueden instalar en amplios reservorios, lagos, lagunas y embalses.

En este sistema de cultivo se reúnen las máximas exigencias técnicas, ambientales y financieras, de tal manera que se considera la cúspide productiva de la acuicultura superintensiva.

En los últimos 15 años el cultivo de peces en jaulas en aguas continentales se ha incrementado en Europa, Asia, África y América. En Asia se emplean para la cría de carpas y tilapias y en los Estados Unidos para la cría de bagre de canal, tilapias y salmónidos.

En Colombia el cultivo en jaulas flotantes se ha efectuado inicialmente con trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*), en embalses con tilapia plateada (*Oreochromis niloticus*), siendo reemplazada en la actualidad por el híbrido de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) y se cuenta con algunas experiencias en el cultivo en jaulas con la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), cachama negra (*Colossoma macropomum*) y la carpa roja (*Cyprinus carpio*).

Las dimensiones de las jaulas son muy variables, algunas son pequeñas y su volumen no sobrepasa el metro cúbico, otras son más grandes, fijas y abiertas y se diferencian de un recinto o corral en que tienen fondo y flotan (Bard *et al.*, 1975). Las jaulas pueden ser elaboradas en bambú, madera o en materiales que aunque resultan más costosos tienen mayor duración y permiten un mejor flujo de agua como son las mallas de nylon, plástico, polietileno y acero, entre otras.

La mayor parte de los modelos utilizados son de tipo flotante y consisten en una estructura circular, rectangular, cuadrada o poliédrica, hecha en madera, bambú, tubo de acero o plástico, del que se suspende una red de fibra sintética. Para mejorar su flotación se utilizan espumas de estirenos o canecas metálicas o de plástico. Generalmente las jaulas se agrupan en balsas y se anclan al fondo del lago, río o embalse, o se unen a la orilla por una pasarela de madera. Los modelos de jaulas fijas se emplean en aguas poco profundas de fondo cenagoso.

Para montarlas se suspenden bolsas hechas en paño de red de fibra sintética sobre postes clavados en el fondo; estas jaulas son más fáciles de construir y más baratas, debido a que no llevan anillos de flotación que son más costosos, pero tienen el inconveniente de que su resistencia a las condiciones meteorológicas adversas es baja.

El cultivo en jaulas conlleva consecuencias a los cuerpos de agua, tanto por la presencia física como por los cambios que se puedan inducir en las características físicas, químicas y biológicas del agua, a causa del método de cultivo y de las especies utilizadas. Como aún no existe un desarrollo importante en el país y no se tiene una explotación

1 Biólogo, Director Centro de Investigaciones Acuícolas del Alto Magdalena. Gigante (Huila). E-mail: caruselop@colombiamix.com
2 Bióloga, Centro de Investigaciones Acuícolas del Alto Magdalena. Gigante (Huila). E-mail: monicaaviles@hotmail.com
3 Bióloga marina, Centro de Investigaciones Acuícolas del Bajo Magdalena. Repelón (Atlántico). E-mail: mpdl51@LatinMail.com

considerable con este tipo de tecnología de producción, en un futuro y a medida de su desarrollo es necesario elaborar una reglamentación acerca de las instalaciones, cantidades, especies a utilizar y sistemas de cultivo, ya que estos cuerpos de agua son de propiedad de la nación y tienen que administrarse y manejarse en beneficio de la comunidad.

1. ALGUNOS ASPECTOS A CONSIDERAR PARA LA SELECCIÓN DEL SITIO Y UBICACIÓN DE LAS JAULAS

Primero que todo es necesario una adecuada selección del sitio para colocar las jaulas y de esto depende en gran parte el éxito del proyecto.

Se requiere para su instalación de zonas protegidas de los vientos fuertes, que a su vez forman oleajes que pueden desestabilizar la estructura.

En los embalses se debe conocer la cota mínima necesaria para los requerimientos hidroeléctricos y los mínimos niveles en las épocas de sequía, con el fin de establecer la ubicación de la infraestructura. Además se debe considerar la acción de crecientes que cuando arrastra palos y objetos flotantes pueden afectar la infraestructura, así como incrementar la turbidez y el descenso de la temperatura, produciendo disminución del consumo de alimento, baja de crecimiento y aparición de enfermedades.

En los ambientes naturales o en los embalses es posible la presencia de diversos predadores que ocasionen roturas en las mallas, produciendo pérdidas económicas.

Evitar la instalación de las jaulas en ambientes con presencia de plantas acuáticas flotantes o inmersas, puesto que son indicadores biológicos de ambientes degradados por diversos orígenes de contaminación, por cercanía de cultivos que aportan abonos, aguas negras y por procesos naturales de desecación.

Para una buena elección del lugar se deben tener en cuenta, por lo menos, los siguientes parámetros:

1.1 Calidad del agua

Es uno de los principales aspectos a tenerse en cuenta para la viabilidad técnica, puesto que el proyecto dependerá directamente de la calidad del agua circundante y de la velocidad del intercambio del agua entre la jaula y el agua que la rodea de acuerdo con Mercado y Siegert (1995), por consiguiente deben tenerse en cuenta, como mínimo los siguientes parámetros:

- La transparencia del agua: es una de las condiciones que favorecen más al cultivo de peces en jaulas flotantes y por otra parte es un indicador del grado de enriquecimiento por nutrientes y de la productividad del fitoplancton (población de algas microscópicas).

- La temperatura del agua: determina el nivel productivo del cultivo, ya que la temperatura corporal de los peces que rige el metabolismo de los alimentos, el crecimiento y la inmunidad, está en función de las variaciones del régimen climático (Kinkelin y Ghittino, 1985).

- El Oxigeno Disuelto (OD): es el elemento que limita la producción y por ende la densidad de siembra de los peces en las diversas explotaciones acuícolas. Teniendo en cuenta que las especies tienen diferentes exigencias, las necesidades varían de acuerdo con el rendimiento esperado de las explotaciones (Beverigde, 1982). Los bajos niveles de OD producen detención del crecimiento, aumento del factor de conversión de alimento e incremento de la sensibilidad a las enfermedades.

- La turbidez: representada por la presencia de materias en suspensión, consistentes en partículas minerales u orgánicas, finamente divididas, disminuyen la luminosidad, limitando la fotosíntesis, proceso responsable de la presencia en un 90 % del OD en el agua y disminuyendo su contenido. Valores superiores a 75 mg/lt producen

irritación de la branquias y posteriormente la manifestación de infecciones bacterianas (Kinkelin y Ghittino, 1985). Los desechos y las heces hacen parte de estos materiales que deben ser evacuados constantemente por el flujo de agua.

- El amoniaco (NH_3): es uno de los productos del metabolismo del pez excretado en un alto porcentaje por las branquias (85 %) y proveniente de la descomposición bacteriana de la materia orgánica al igual que los nitritos (NO_2), quienes además son el resultado de la actividad del ecosistema (oxidación bacteriana).

- Estos factores son de gran importancia en el cultivo en jaulas flotantes, ya que por sus altas densidades se puede presentar toxicidad a concentraciones de amonio de 0.07 mg /l en exposición continua, induciendo patologías branquiales y a concentraciones mayores afectan el sistema nervioso central, elevan la frecuencia cardiaca y respiratoria y ocasionan mortalidad en el término de 2 a 3 horas. En el caso de los nitritos, exposiciones permanentes a 0.1 mg /lt inducen a lesiones branquiales, alteración de la química sanguínea y la dificultad respiratoria (Kinkelin y Ghittino, 1985).

- Por tanto, la incidencia negativa de estos factores de la calidad del agua genera estrés, que reduce la resistencia inmunitaria y alteraciones branquiales, que facilitan la acción de enfermedades, que en diversos grados retrasan el crecimiento, reducen la rentabilidad e incrementan las mortalidades (Kinkelin y Ghittino, 1985).

1.2 Batimetría y tipo de fondos

Es necesario conocer el tipo de fondo, la morfología y la profundidad para una adecuada elección del sitio, el diseño y montaje de las jaulas.

1.3 Vientos, corrientes y mareas

Se recomienda contar con registros históricos de los parámetros que caracterizan los vientos, las corrientes y las mareas. El análisis de todos los factores anteriores en su conjunto darán la pauta para definir correctamente la localización de la granja y la ubicación de las jaulas, de tal manera que se garantice seguridad, protección, flujo adecuado de agua libre de contaminantes y correcto aporte de nutrientes.

1.4 Acceso para el manejo

Es esencial el fácil acceso a las jaulas para el manejo rutinario de alimentación, limpieza, siembra, cosecha, etc.

2. INFRAESTRUCTURA

La infraestructura a instalar varía de acuerdo con las necesidades del piscicultor y según las características del cuerpo de agua; entonces se pueden construir jaulas flotantes y jaulas fijas, de superficie o sumergidas, individuales o modulares (Fig. 1).

Por ejemplo, para lugares con aguas poco profundas de menos de 2 metros de profundidad se recomiendan jaulas fijas. En sitios donde la brisa y la corriente superficial son muy fuerte se deben poner jaulas sumergidas.

2.1 Tipos de jaulas

La jaula es por definición *"una estructura cerrada con mallas por los lados y en el fondo"*, cuya función fundamental es la de retener los peces, permitiendo el intercambio de agua, entre la jaula y el ambiente que la rodea. En algunos casos se cubren con malla en la parte superior para evitar predadores, escape de los peces o protección de los rayos solares (Mercado y Siegert, 1995).

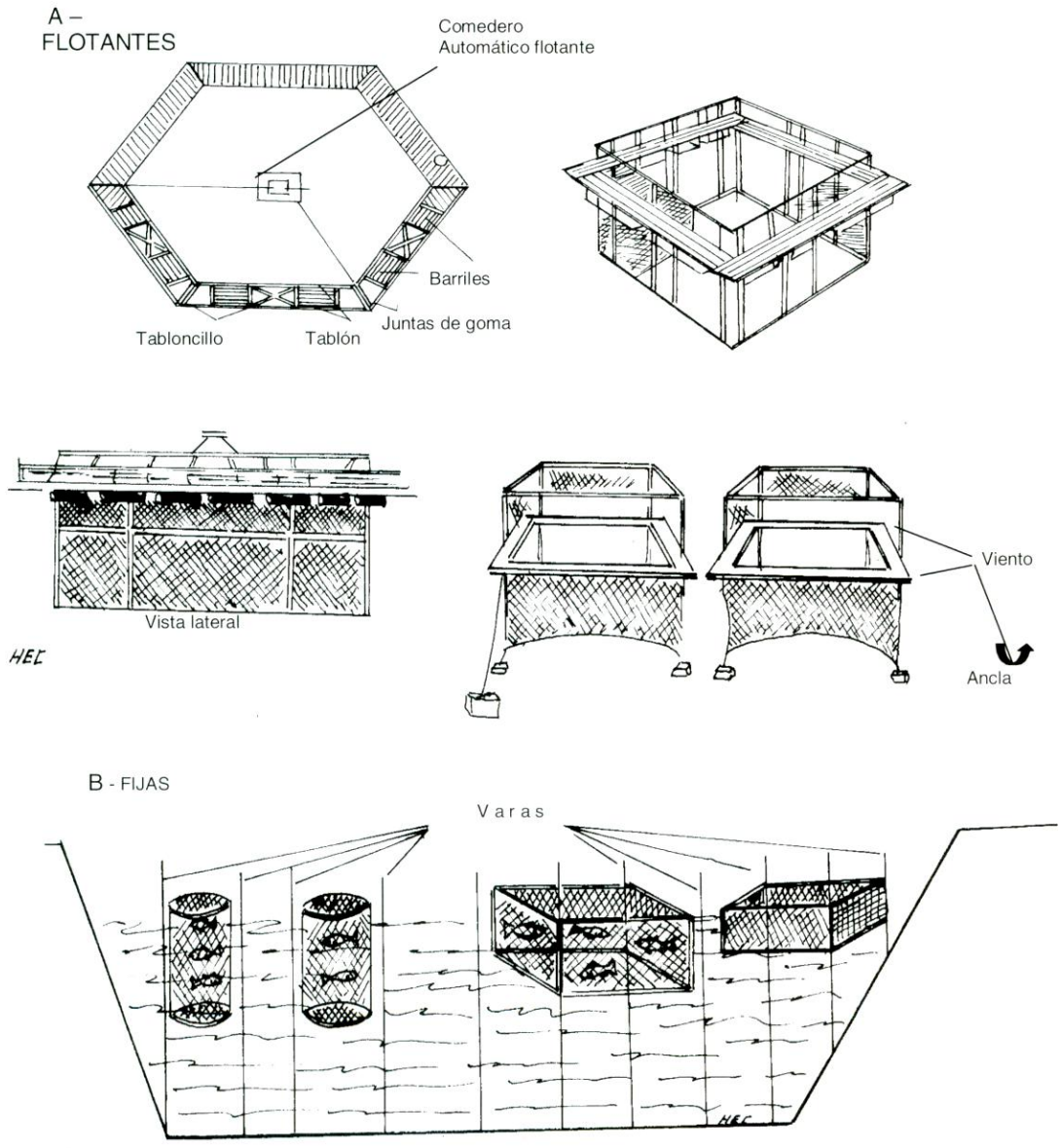


FIGURA 1. A. Jaulas flotantes. B. Jaulas fijas (Tomado de Dorado, 1993)

Se recomienda el uso de mallas o redes sin nudos, para evitar lesiones en los peces al rozarse con los nudos de las mallas, dejándolos de esta manera predispuestos a enfermedades, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos para un adecuado diseño:

a. El diseño y la construcción de la jaula

1) Ojo de la malla

2) Forma de la jaula

3) Tamaño de la jaula

b. El flujo del volumen de agua a través de la jaula

1) Velocidad de la corriente.

2) Ubicación de la jaula con respecto al entorno

3) Posición de la jaula con respecto a otras.

2.1.1 Jaulas fijas

Este tipo de instalación o montaje es el más adecuado para trabajar en aguas someras y tranquilas. Carecen de movilidad y de flotabilidad y están fijas al fondo.

En razón a la reciente trayectoria de este sistema de cultivo, aún son variados los tipos de materiales utilizados que forman la infraestructura y son ampliamente desconocidos el conjunto de variables técnicas que permiten construir diseños económicos y eficientes.

2.1.2 Jaulas flotantes

Esta condición está dada por su flotabilidad y movilidad, la cual se consigue mediante flotadores que pueden ser canecas, bloques de icopor de alta densidad, cuyo número y tamaño varía de acuerdo con el tamaño de las jaulas. Este tipo de jaula es el apropiado para instalarse en cuerpos de aguas profundas (bahías, estuarios, embalses, canales) o en el mar. Estas pueden ser individuales o modulares, las individuales son de material rígido o flexible, sin armazón o con ella (estructura utilizada para conservar la forma de la jaula, que puede ser PVC, madera, aluminio, etc). Las modulares son un grupo de jaulas sostenidas a plataformas o muelles flotantes (Mercado y Siegert, 1995).

Partes que componen una jaula flotante

Infraestructura de soporte de la malla: puede estar constituido por diversos materiales que brindan mayor o menor seguridad, tales como el hierro en ángulos o en varillas, previamente tratado con pintura anticorrosiva, ángulos de aluminio, PVC y guadua (*Bambusa* sp.) (Fig. 2).

El uso de estos materiales define por otra parte el tamaño de la jaulas, inicialmente construidas en hierro en ángulos con dimensiones de 6 x 6 x 1 m (36 m^3), en donde se presentan limitaciones para el desarrollo de los peces por deficiencias en la distribución del oxígeno disuelto, presencia de zonas anóxicas, dando como resultado menor homogenización de tallas para la comercialización.

Para el caso del uso de la guadua es conocida su resistencia en especial bajo condiciones de cubierta, y su baja duración a la intemperie y en contacto con la humedad. Por lo anterior es un material que no ofrece suficiente seguridad y se presenta mayor riesgo de fuga de los ejemplares en cultivo.

El PVC es de mayor costo, cuestionado por sus componentes contaminantes de las aguas y de uso controlado en países desarrollados. Es considerado como un material de baja durabilidad a las condiciones ambientales, en especial a los rayos ultravioleta; sin embargo, existen proyectos que le han dado más de cinco años de uso.

Infraestructura de flotación: con frecuencia se usan garrafas o canecas plásticas, de tapa pequeña, proveniente de empresas que importan insumos químicos, por lo tanto se requiere su adquisición previamente lavadas para evitar aportes de tóxicos y de metales pesados y otros productos que afecten a las personas, a la fauna y a la calidad de las aguas. Los tubos de PVC tambien son utilizados como soporte y flotación.

También se utiliza el icopor (espuma de poliuretano de alta densidad), en bloques como soporte de las estructuras flotantes (casa de manejo, bodega de alimento, pasarelas o muelles).

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA



FIGURA 2. Jaula tipo Bajo Volumen Alta Densidad (BVAD) con estructura de soporte de malla elaborada en bambú. Embalse de Betania (Huila)

Los muelles o pasarelas son un elemento que facilita las labores de manejo, tales como la alimentación, siembra de alevinos, cosecha, pero presenta el inconveniente de interrumpir el flujo de agua y aumentar los costos. Por estas razones es más frecuente el uso de canoas o pequeños botes para efectuar la alimentación con esta práctica se mejora ampliamente la supervivencia y la homogeneidad de los peces en la cosecha.

Encierro en malla: la malla permite el encierro de los peces y su uso se efectúa de acuerdo con la etapa de vida de los peces. Se pueden construir adquiriendo los de malla, o comprarlas ya elaboradas en casas especializadas. Se recomiendan para la fase de alevinaje de ½ pulgada y para las fases de juveniles y engorde de 1 y 1½ pulgada de ojo, respectivamente.

Con el fin de lograr una completa extensión de la malla, se recomienda la instalación de un marco interno, para facilitar el flujo de agua. La profundidad requerida es de un metro promedio (1 m), sobresaliendo del nivel del agua 30 cm. de acuerdo con la Resolución No. 461 (INPA, 1995).

Una vez establecido el cultivo se requiere efectuar limpiezas periódicas de acuerdo con el taponamiento realizado por colonias de algas verdes y sedimento.

Se recomienda extender sobre la jaula flotante una sección de malla sombra, para evitar la influencia de los rayos ultravioleta y la acción depredadora de garzas, martín pescador, etc.

Alimentador: en jaulas flotantes de menor tamaño aumentan los intercambios de agua, por lo cual se necesita el uso del alimentador flotante, que puede consistir en un anillo de malla antipájaro, o en una sección abierta de una caneca plástica que se encuentre aproximadamente a 20 cm, tanto por encima como por debajo del nivel del agua, el cual se ubica en el centro de la jaula. La instalación de este elemento evita la pérdida de alimento y facilita el acceso de los peces confinados y debe cubrir un 20 % del área superficial de la jaula (Fig. 3).

Los diseños usados preliminarmente y de los cuales algunos están aún en uso, se tratan de jaulas denominadas grandes (6 m x 6 m x 1 m) de un volumen de 36 m^3 y en algunos casos hasta de 72 m^3, debido a su tamaño presentan resistencia al flujo de agua y mayores posibilidades de volcamiento por acción de las corrientes y el viento. Este tipo de jaula se ha ido sustituyendo por las denominadas Jaulas de Bajo Volumen Alta Densidad (BVAD), de pequeña dimensión de 1 a 4 m^3, las cuales ofrecen menor resistencia al flujo de agua, obteniéndose mayores recambios, favoreciendo la población de peces confinados (Schmitthou, 1993).

Con el fin de evitar mayores costos de infraestructura de soporte y flotación, es importante ubicarlas en conjuntos de tres en línea (Fig. 4) o utilizar otras alternativas con las cuales se mantengan las óptimas condiciones de flujo de

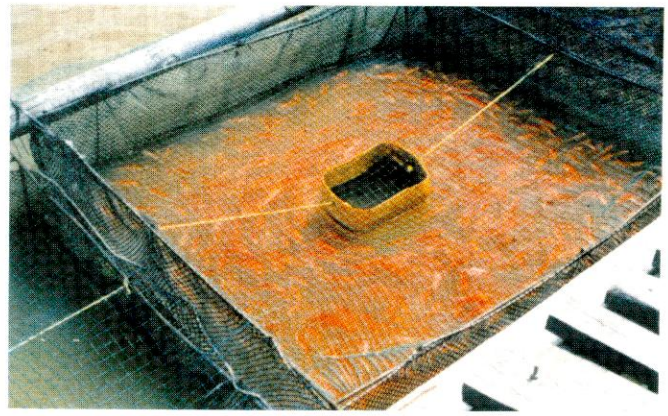


FIGURA 3. Alimentador elaborado con caneca plástica. Jaula cubierta con malla antipájaro. Embalse de Betania (Huila). Diseño integral de la infraestructura

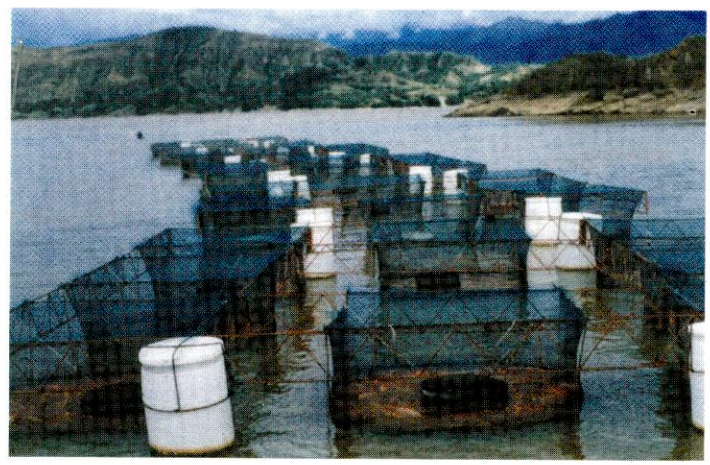


FIGURA 4 . Modelo integrador de Jaulas de Bajo Volumen Alta Densidad, adicionalmente se observa el uso de canecas plásticas como sistema de flotación y alimentador de sección de caneca y estructura de soporte de malla en varillas de hierro. Embalse de Betania (Huila)

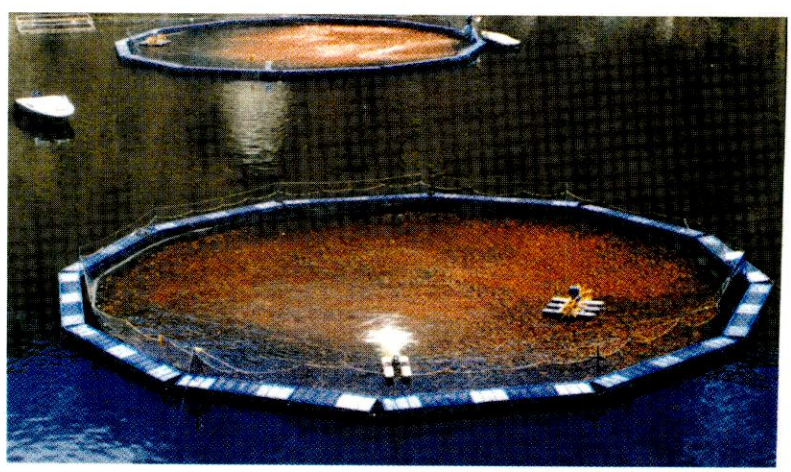


FIGURA 5. Jaulón de estructura modular, con 12 estructuras metálicas soportadas en bloques de icopor y con sistema de aireación. Embalse de Betania (Huila)

agua y reduzcan los costos de la infraestructura de flotación, además que brinden una presentación más atractiva al proyecto.

2.1.3 Jaulón de estructura modular

Con el fin de incrementar la producción en cultivos superintensivos en las jaulas flotantes en el embalse de Betania se incorporó recientemente el denominado Jaulón de estructura modular, proveniente de los cultivos de salmón en Chile. Por su alto costo de instalación y exigentes condiciones medioambientales está destinado para la producción industrial de la tilapia roja.

Esta jaula de gran volumen (314 m^3) está constituida por la unión en forma circular de 12 unidades de estructura metálica de 6 m x 0.8 m x 0.3 m cada una, soportado cada uno por bloques de icopor de alta densidad, formando de igual forma un pasadizo para las labores de pesca, alimentación y control.

Esta jaula está constituida por dos mallas, una externa para evitar la fuga de los peces con un ojo de malla de 1" y una profundidad de 2.5 m, la cual se cuelga del exterior de la estructura modular y otra interior con un ojo de malla de 1.5 « y con una profundidad de 2 m, soportada desde el interior de la misma estructura modular, separada por una distancia entre 0.8 y 1 m de la malla exterior.

La unión entre las estructuras modulares se efectúa con varillas metálicas con bujes que permiten cierta elasticidad de la estructura completa y de esta manera resisten la acción de la corriente de agua y de los fuertes vientos. Por otra parte, una extensión de la malla interior y de las varillas hacia arriba del pasadizo permite la conformación de una baranda o pasamano, que otorga seguridad para las labores.

El diámetro de la estructura modular, arreglada en forma circular es de 20 m, y en su interior se ubican aireadores preferiblemente de paletas como elemento de seguridad para mantener la concentración del oxígeno disuelto en el agua (Fig. 5).

Los primeros resultados del proceso de adaptación de este sistema en el cultivo de tilapia roja, con la siembra de alevinos de 30 gr, se obtuvo un peso promedio de 400 g en 160 días de cultivo, con una densidad cercana a 250 ejemplares / m^3, se obtiene una biomasa cercana a 38 toneladas y con un consumo de 47 toneladas de alimento balanceado.

Este sistema de cultivo reduce la ocupación de área, la fuga de peces por su doble malla, proporcionan mayor estabilidad y requieren ser ubicados en aguas profundas, evitando la competencia del espacio litoral requerido para la pesca artesanal, reduciendo los conflictos por la ocupación de ensenadas.

3. CALIDAD DE SEMILLA

Las experiencias que se tienen en el cultivo de jaulas flotantes en embalses han tenido buen resultado manejando el híbrido rojo de tilapia, especie que presenta buenas características para su cultivo tales como facilidad para su manejo, resistencia a condiciones medioambientales, enfermedades, buena conversión alimenticia y rápido crecimiento, entre otras.

Teniendo en cuenta que la tilapia es una especie apta para este tipo de cultivo se debe tener cuidado en la calidad de semilla a utilizar, debido a que la tilapiacultura presenta gran potencial en el mercado nacional e internacional. El producto debe tener una presentación atractiva, como color llamativo y ausencia de manchas, excelente sabor y buena conformación corporal con cabeza pequeña, pedúnculo caudal corto y dar buena porción de filete.

La mayoría de los proyectos tienen su propia producción de alevinos, donde se realizan selección por tamaño y color de los alevinos que se van a sembrar. Estos deben estar en un rango de peso entre de 15 –25 g, así se evita un porcentaje mayor de mortalidad por enfermedades y mayor resistencia a las condiciones medioambientales. Es

recomendable tener un buen manejo de la producción de semilla, tener en cuenta que el plantel de reproductores sea de buena procedencia, donde su heredabilidad sea en mayor porcentaje animales sin manchas, color intenso en tonalidades de rojo y una buena conformación corporal y es necesario realizar renovación periódica de los reproductores, bien sea por edad o por tamaño.

4. FASES DE MANEJO

Mediante el uso de la tecnología de cultivo denominada Bajo Volumen Alta Densidad (BVAD) según Schmittou (1993), la implementación de los cultivos en jaulas flotantes permite reducir el área de los proyectos, evitando la subutilización de infraestructura y la competencia con otros usos de los embalses, tales como la pesca artesanal, el transporte fluvial, actividades náuticas y el óptimo aprovechamiento de las condiciones de calidad del agua y en especial del oxígeno disuelto (OD).

El cultivo bajo esta modalidad generalmente se presenta en las siguientes tres fases de manejo:

- **ALEVINAJE:** los animales son sembrados con un peso promedio entre 15 a 25 g, utilizando una densidad de siembra de 400 peces/m^3 y estos se levantan hasta un peso aproximado de 150 g.

- **JUVENIL:** en esta fase los animales alcanzan un peso promedio de 250 g, donde la densidad recomendada es de 350 peces/m^3.

- **ENGORDE:** en esta fase con una densidad final de 300 peces/m^3 se llega a un peso final de 400 g en promedio.

Con el fin de homogenizar el tamaño de los animales de cada jaula se aconseja clasificarlos por talla, sin embargo, no se deben realizar más de dos selecciones por ciclo de cultivo debido a que los peces se estresan por la manipulación, viéndose reflejado esto en disminución del peso y aumento de la mortalidad por enfermedades ocasionadas por esta práctica.

Los animales deben ser muestreados quincenalmente o por lo menos una vez al mes y así establecer el peso promedio para ajustar la tasa de alimentación de acuerdo con la rutina de alimentación de la granja o con lo establecido en la tabla de alimentación del alimento balanceado que se esté utilizando. Un aspecto que se debe tener en cuenta es que el medio ambiente en donde se tiene el cultivo es variable, por lo tanto habrán días de muy baja temperatura o con turbidez excesiva, donde el animal baja su apetito y no comerá toda la ración que se ha calculado, de acuerdo con esto no se debe mecanizar a tal punto la rutina alimenticia pues se podrán ocasionar pérdidas de alimento y por lo tanto disminución de la rentabilidad del proyecto.

El tiempo para alcanzar la talla comercial es variable dependiendo del tamaño de siembra de los alevinos. Si los alevinos se siembran entre 15 a 25 g alcanzarán un peso final entre 600 – 650 g en aproximadamente siete meses (Tabla 1).

Tabla 1. Tasa de alimentación de acuerdo con el peso esperado

Fase	Alevinaje		Juvenil		Engorde			
Tiempo (dias)	0	30	60	90	120	150	180	210
Peso Esperado (g)	25	60	120	190	270	365	475	600
Incremento dia (g)		1.2	2.0	2.3	2.7	3.2	3.7	4.2
% Alimentacion	4.5%	4.0%	3.6%	3.0%	2.6%	2.2%	2.0%	
Mortalidad (%)	5.0%			3.0%				2%

Factor de Conversión Alimenticia = 2.0 : 1

En la producción final se obtienen diversos rangos de tallas, denominadas cabezas, colas y población intermedia, productos tales como mojarrín, media, trescuartos, libra, especial, superespecial, que se comercializan por rangos de precio.

5. IMPACTO AMBIENTAL

Para la implementación de los cultivos intensivos de peces en jaulas flotantes se requiere un amplio conocimiento de los ecosistemas estratégicos en donde van a ser implementados, teniendo en cuenta los criterios de la convención RAMSAR sobre la protección de humedales (Ramsar, 1999) y de las posibles repercusiones sobre el medio ambiente y las características socioeconómicas regionales. Sin desconocer la importancia de estos últimos se centrará la atención en los impactos ecológicos sobre la calidad del agua, que a su vez repercute en el óptimo desarrollo del cultivo y en la calidad e inocuidad del producto pesquero (Tabla 2).

TABLA 2. Valores de importancia para preservar los ambientes acuaticos

Componente	Unidad	Kinkelin *et al.* - 1985 (*)	Ramírez y Viña (1998)		
			Aguas Oligotróficas	Aguas Mesotróficas	Aguas Eutróficas
Oxígeno	mg / L	> 70	> 80	80 —— 10	< 10
DBO	mg / L	< 3			
Fosfatos	mg / L	< 0.3	5 ——30		
Fosforo Total	mg / L		< 0.027	0.05	>0.05
Amoniaco	mg / L	< 0.025	0 —— 0.3	0.3 —2	2 —15
Nitritos	mg / L	< 0.01 (**)	0 — 1	1 — 5	5 —50
Nitratos	mg / L		0 — 0.5	0.5 — 5	5 —15
Alcalinidad Total	mg / L	> 25			
Transparencia	m		> 1.6	1.6 — 0.8	< 0.8
Material en suspensión	mg / L	< 75			
Dureza	mg / L	> 20			
Densidad plancton	Cel / ml		10 — 100		100 - 10000

(*) Normas de calidad de agua dulce recomendadas para salvaguardar la vida acuática.
(**) 0.02 si la Dureza es de 70 mg $CACO^3$

La calidad del agua está relacionada con la composición de las sales minerales y la cantidad de nutrientes disueltos, de tal manera que se presentan aguas ricas en nutrientes denominadas (eutróficas), aguas pobres (oligotróficas) y moderadas (mesotróficas) (Roldán, 1992). Considerándose de mejor calidad para cultivos de peces en jaulas flotantes, las oligotróficas, que se caracterizan por mayor transparencia del agua y además se asientan en menor densidad las poblaciones planctónicas (Beverigde, 1982).

El aporte de materiales inorgánicos a la columna de agua de elementos como el fósforo, es el más importante en el metabolismo biológico y en comparación con los demás nutrientes es el menos abundante y el factor más limitante de la productividad primaria (fotosíntesis) (Roldan, 1992). El fósforo hace parte de las moléculas de ATP portador de energía y de los ácidos nucleicos ADN y ARN. Su principal fuente proviene de el arrastre de suelo por las lluvias de acuerdo con la geomorfología del terreno y el aportado en grados contaminantes por los centros urbanos, la industria y la agricultura.

En forma de fosfato es rápidamente asimilado por el fitoplancton, en el proceso fotosintético y reciclado a través de los componentes del zooplancton a la columna de agua.

El nitrógeno en forma de nitratos (NO_3) es utilizable por las algas y las plantas para la producción de proteínas y a través de los procesos metabólicos, los organismos lo devuelven al agua en forma de heces, orina y por la descomposición de la materia orgánica. Los nitritos y el amonio tratados anteriormente completan el ciclo.

El equilibrio biológico generado principalmente por la actividad de los ciclos del fósforo y del nitrógeno, en el cual se desarrollan las poblaciones animales, vegetales y de bacterias, puede alterarse cuando por el exceso de sus concentraciones acelera la degradación del ecosistema acuático, reduciendo drásticamente la concentración de oxígeno disuelto (OD) en el agua.

El cultivo de peces en jaulas flotantes incrementa las concentraciones de fósforo y de nitrógeno en el ecosistema acuático, por medio de los desechos de los alimentos metabolizados (Schmittou, 1993), hasta determinado límite beneficia a la productividad natural, y de acuerdo con el nivel trófico del cuerpo de agua se pueden convertir en contaminantes, causando severos impactos en el hábitat. Por tanto, el límite para un ambiente oligotrófico es mayor que para un ambiente eutrófico (Schmittou, 1993).

Un ambiente acuático en condiciones eutróficas produce una reducción de la diversidad de las especies nativas, altera el equilibrio entre las especies y se desestabilizan las relaciones físicas, químicas y biológicas del ecosistema (Schmittou, 1993).

En los embalses, considerados cuerpos intermedios entre río y lago, los niveles de aporte de alimento pueden variar de acuerdo con la tasa de renovación del volumen hídrico, por ésta razón es indispensable el conocimiento del régimen hidrológico de la cuenca.

6. VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL CULTIVO EN JAULAS

El sistema de cultivo en jaulas flotantes ofrece ventajas, pero también presenta limitaciones respecto a otros sistemas de cultivo, tal como se describe a continuación:

6.1 VENTAJAS

- Baja inversión de capital en infraestructura y empleo de tecnología sencilla, debido a que se colocan en cuerpos de agua ya existentes y su manejo no es complejo.
- Facilidad de movimiento y traslado.
- Intensificación de la producción de peces, es decir, aumento de las densidades de siembra, mejora de las tasas de crecimiento y reducción del período de cría si se optimiza la alimentación.
- Empleo de altas densidades de siembra, ya que los excrementos de los peces y los productos tóxicos no permanecen en las jaulas, puesto que la circulación del agua es permanente.
- Los peces no pueden reproducirse por la alta densidad a la que se encuentran y la ausencia de sustrato adecuado en algunos casos, por lo tanto el riesgo de la aparición de alevinos que aumenten la población queda eliminado.
- Utilización óptima de alimentos artificiales y aumento en la eficiencia de la conversión alimenticia por el consumo permanente del alimento natural, en el caso de las especies filtradoras y en la zona tropical donde es mayor.
- Facilidad en el control de competidores y predadores, permitiendo la observación continua de los peces.
- Utilización como alternativa de producción para las comunidades de pescadores artesanales, en razón a la disminución del recurso en las ciénagas y embalses que habitan, puesto que se intensifica la producción de peces (ton/ha/año), en volúmenes pequeños y relativamente a bajo costo.

6.2 LIMITACIONES

- Sólo pueden utilizarse en zonas protegidas donde la superficie del agua no esté muy agitada, pero a su vez debe existir un adecuado intercambio de agua en las jaulas, que garantice la eliminación de los metabolitos y mantenga a un nivel aceptable el nivel de oxígeno disuelto dentro de la jaula.

- Muchos organismos como algas se fijan sobre las mallas de las jaulas, por lo que es necesario efectuar una limpieza frecuente para evitar su fácil obstrucción o la utilización de productos aplicados a las mallas para evitar la fijación.

- Se deben emplear alimentos concentrados, peletizados y flotantes, cuyo costo generalmente es más elevado.

- El tratamiento de las enfermedades y parásitos se hace más difícil.

- Presencia de predadores que hostigan constantemente a los peces de cultivo, lo cual puede ser solucionado mediante la postura de otra malla alrededor de las jaulas que los mantenga alejados.

- Se aumentan los riesgos de hurto, por lo que se necesita una vigilancia permanente.

- Pueden existir interferencias por parte de la población natural de peces, debido a la penetración de éstos en las jaulas y a la competencia por espacio y alimento.

- La malla debe tener un diámetro que impida la entrada permanente de otras poblaciones de peces, en especial las Sardinas (*Astianax* spp.) que compiten por el espacio y el alimento.

- El tiempo de vida útil de la infraestructura en contacto permanente con el agua (flotación y malla) es menor, y de acuerdo con el manejo otorgado, especialmente de la malla, y puede ser de 3 a 5 años.

Una extensión particular de la tecnología del cultivo de peces en jaulas flotantes está en la implementación de este sistema en reservorios menores de 5 ha, instalaciones comunes en la zona cafetera, bajo condiciones diferentes en cuanto a transparencia y temperatura del agua, recambio, condiciones un tanto diferentes a las óptimas esperadas.

BIBLIOGRAFÍA

BARD, L.; L. KIMPE; J. LEMASON y P. LESSENT. 1975. Manual de piscicultura destinado a la América Tropical. Centre Téchnique Forestier Tropical. Segunda edición. 164 p.

BEVERIGDE, M. C. M . 1982. Piscicultura en jaulas y corrales. Modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente. FAO. Doc. Tec. Pesca No. 225:100 p.

DORADO, M. 1993. Cultivo de peces en jaulas flotantes y corrales. 263- 271 p. En: Rodríguez H., G. Polo y G. Salazar (Eds.). Fundamentos de Acuicultura Continental. INPA Bogotá. Colombia. 296 p.

GARCIA-BADELL, J. J. 1978. Sistemas modernos en acuícultura (prefabricación y automatización). Colección Monografías I.N.I.A. No.21. Inst. Nal. de Investigaciones Agrarias. Madrid-España.

INPA. 1995. Resolución No. 000641 de Noviembre 8 de 1995. "Por la cual se establecen los requisitos para el cultivo de mojarra roja o mojarra plateada en ambientes naturales o artificiales controlados". 3 p.

KINKELIN, P. y P. GHITTINO. 1985. Tratado de las enfermedades de los peces. Editorial Acribia S. A. Zaragoza (España).

MERCADO, J. y P. SIEGERT, 1995. Cultivo en jaulas de tilapia roja *Oreochromis spp* en aguas salobres. 209-225 p. En: Rodríguez, H.; G. Polo y O. Mora. (Eds.) Fundamentos de Acuicultura Marina. INPA. Bogotá, Colombia. 225 p.

RAMSAR, 1999. Criterios para la identificación de humedales de importancia internacional. Convención de Ramsar. Documento Informativo No. 5. Suiza.

ROLDÁN, G. 1992. Fundamentos de Limnología Tropical. Editorial Universidad de Antioquia. 529 p.

SCHMITTOU, H. R. 1993. Cultivo de Peces a Alta Densidad en Jaulas de Bajo Volumen. Edición al castellano. Asociación Americana de Soya. Caracas.

Capítulo XVIII. POLICULTIVOS Y CULTIVO DE PECES EN CORRALES

Carlos Arturo Useche López[1]

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de cultivo de peces, realizados con base en el aprovechamiento de la productividad natural (ciclos tróficos en el agua), están dirigidos a una gran mayoría de productores piscícolas distribuidos en diversas regiones del país que cuentan con limitados recursos hídricos, lo que a su vez reduce las posibilidades de efectuar los recambios de agua requeridos en la siembra de peces a mayores densidades, en especial por las deficiencias en las concentración del oxígeno disuelto.

Para adelantar un sistema de **policultivo** se requiere contar con un volumen mínimo de agua que permita mantener el nivel adecuado del estanque y recuperar las pérdidas naturales ocurridas por la filtración y evaporación.

Los peces pueden ser criados en **corrales** dentro de un lago poco profundo, estos son construidos con redes y estacas de bambú u otras plantas, insertadas en el fondo y luego cubiertas de una red y los peces en este sistema tienen acceso a mayor cantidad de alimento (Ramos, sin fecha).

1. BASE ECOLÓGICA DEL POLICULTIVO

La estrategia del policultivo es un modelo de producción sostenible basada en principios ecológicos que le permiten tanto al extensionista como al piscicultor una mayor integración con los procesos que ocurren en éste ecosistema acuático que se establece tanto en el estanque como en los corrales instalados en cuerpos naturales de agua (Fig. 1).

El policultivo de peces o cultivo de varias especies en un mismo estanque o corral tuvo su origen en China, en reservorios en donde se cultivan un amplio número de especies que presentan diferentes hábitos alimenticios, utilizando para su alimentación los aportes de abonos orgánicos, forrajes y subproductos agrícolas bien sea para incrementar la productividad del cuerpo de agua o para su consumo directo.

En el policultivo de peces se utilizan dos o más especies con hábitos alimenticios diferentes para aprovechar de una manera más eficiente los diferentes hábitats que se constituyen dentro del estanque o corral. Como en la mayoría de ecosistemas naturales, en el estanque o corral se establece una pirámide trófica y se comienzan a desarrollar los ciclos biogeoquímicos.

2. CADENAS TRÓFICAS DEL ECOSISTEMA ACUÁTICO

Cada especie de pez utilizada en el policultivo se alimenta de una fuente natural distinta y el número de alevinos de cada especie se siembra de acuerdo con la mayor o menor disponibilidad de alimento natural. Dentro de la cadena trófica de este ecosistema acuático la base productiva la ocupan organismos denominados productores (fitoplancton), por tanto el mayor número de peces a sembrar debe tener el hábito alimenticio de filtrar y aprovechar el plancton y dentro de estas se cuenta por ejemplo con la tilapia (mojarra roja y plateada).

El trópico suramericano se caracteriza por la conformación de un hábitat acuático denominado planos inundábles, que incluyen ríos, meandros, ciénagas y zonas de inundación provocada por las lluvias (Welcomme, 1979), en este

[1] Biólogo. Coordinador Estación Piscícola de Gigante (Huila). E-mail: caruselop2@colombiamix.com

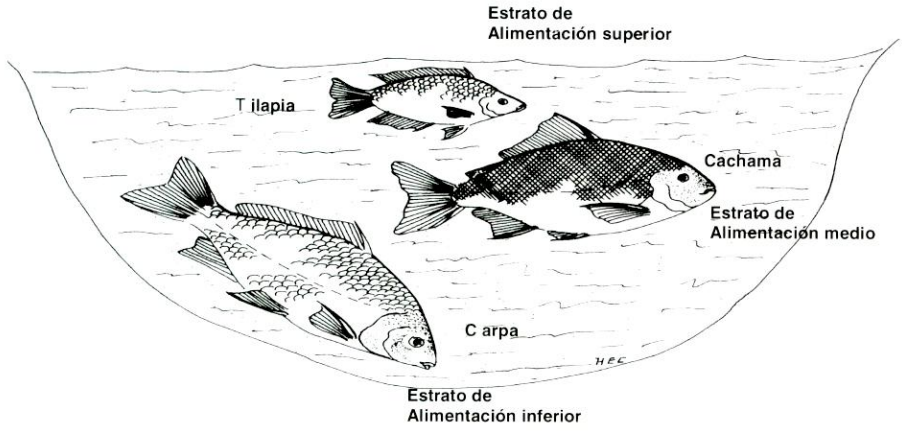


FIGURA 1. Esquema distribución espacial de los peces en un policultivo de acuerdo con sus hábitos alimenticios.

medio ambiente prevalece la cadena trófica detritívora (material orgánico en descomposición), constituyendo la base productiva que ocupan algunos peces como el bocachico (*Prochilodus magdalenae*), especie de gran importancia en la pesquería natural del río Magdalena (Kapestky, 1976). Otra especie detritívora utilizada comúnmente en policultivo es la carpa (*Cyprinus carpio*).

El sistema de policultivo se basa en la utilización de dos grandes eslabones básicos como son el plancton y los detritus, los cuales son la base para el aprovechamiento por parte de los peces de la cadena trófica del ecosistema acuático artificial (Fig. 2). Otros eslabones de menor importancia son las plantas superiores, los insectos, invertebrados acuáticos, entre otros, que son utilizados por los peces omnívoros.

La morfología del tracto digestivo (Fig.3), las formas típicas de dentición y la presencia o no de rastrillos branquiales determinan la habilidad evolutiva de las especies ícticas para la captura del alimento.

En los planos sometidos a inundaciones periódicas que incluyen bosques se encuentran poblaciones de peces omnívoros que en ésta temporada aprovechan la abundancia de las frutas, flores y hojas para alimentarse y en temporadas de aguas bajas consumen otros recursos, con la función natural de ser dispersores de semillas, durante los ciclos de migración (Welcomme, 1979). Dentro de éstos se encuentran algunas especies como la cachama y el yamú (Useche *et al.*, 1993), de quienes se conocen aspectos básicos de su biología y los sistemas de producción y obtención de alevinos en cautiverio.

3. REQUERIMIENTOS DE OXÍGENO DISUELTO

La fuente de oxígeno del estanque proviene principalmente del proceso de fotosíntesis y del intercambio de aire atmosférico con el agua y su disolución depende de la temperatura y de la presión sobre la superficie del agua .

La solubilidad del oxígeno que se presenta en agua fría (10 - 15°C) está entre 10.92 a 9.76 mg/lt de oxígeno, mientras que en los cultivos de peces de aguas cálidas (20 - 30° C) está entre 8.84 y 7.53 mg/lt (Boyd y Lichtkoppler, 1979). Por tanto cuando todo el oxígeno se ha disuelto a determinada temperatura se llega al punto de saturación y al sobrepasar este punto el estanque comienza a liberarlo a la atmósfera.

El consumo de oxígeno mediante la respiración y descomposición de la materia orgánica también determina su concentración, el cual en condiciones de bajo movimiento del agua aumenta hasta en un 20 %, produciendo una sobresaturación (Hepher, Sin fecha).

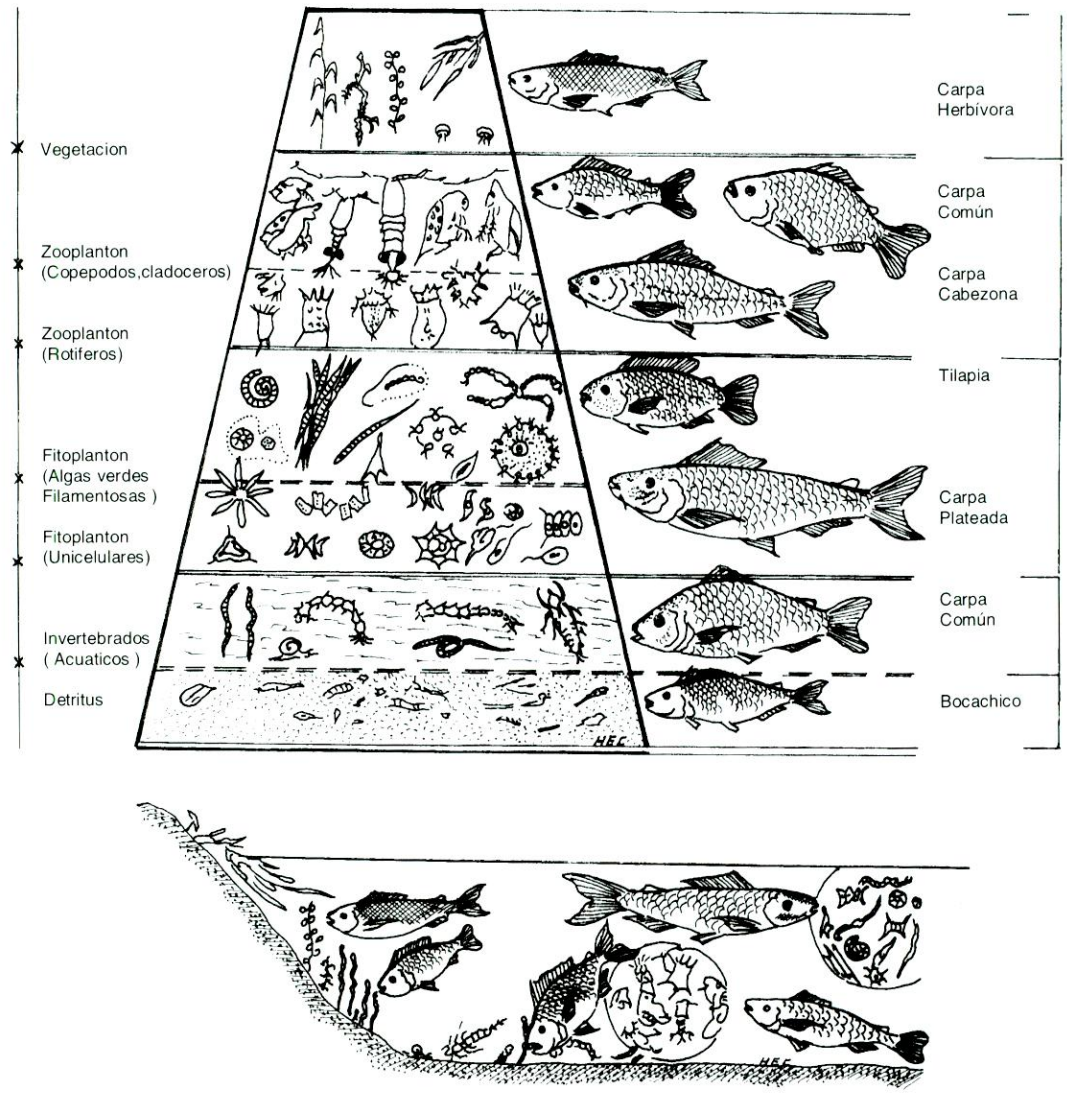


FIGURA 2. Especialización de diversos peces para aprovechar la productividad natural (Modificado de cartilla Piscicultura - Codevas - Brasil.)

En estanques ricos en fitoplancton, en las horas de la noche, la concentración de oxígeno se reduce por debajo del punto de saturación, pudiendo llegar hasta cero y causan la muerte de peces por asfixia (Fig. 4). La deficiencia de oxígeno se puede prevenir agregando agua (flujo continuo) o por aireación mecánica. El óptimo nivel de desarrollo y crecimiento de peces puede estar cerca al nivel de saturación de oxígeno (Boyd y Lichttkopper, 1979).

4. RECAMBIO DE AGUA EN ESTANQUES EN TIERRA

El objetivo principal del recambio de agua en los estanques es la remoción de metabolitos tóxicos (evitar su concentración), sin perjuicio de los beneficios de la oxigenación y el aporte de nutrientes.

Por otra parte los requerimientos de recambio de agua varían de acuerdo con las especies, el manejo y las densidades de siembra del cultivo, por tanto es difícil generalizar en cuanto a cantidades absolutas.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

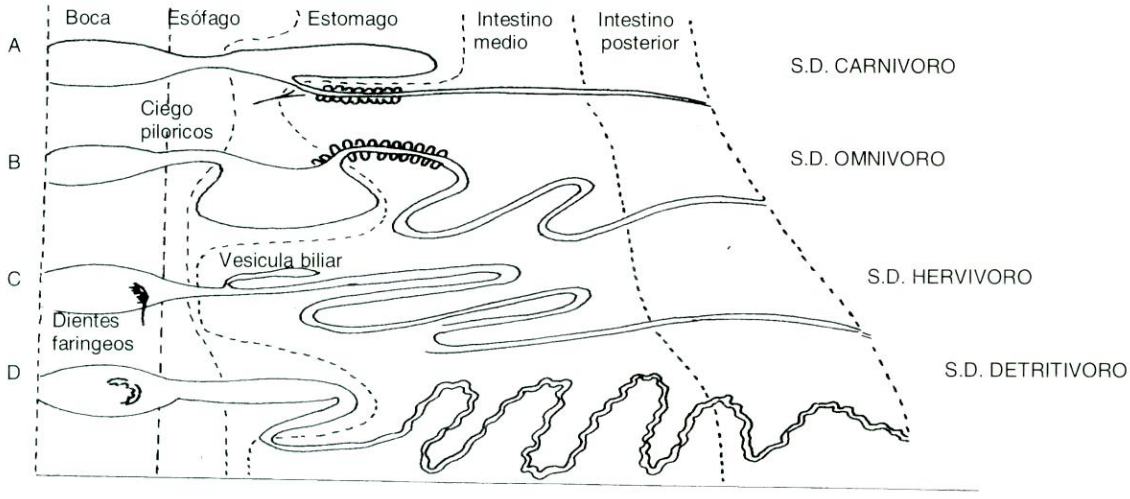


FIGURA 3. Especialización del sistema digestivo (S.D.) de los peces para aprovechar la productividad natural (Tomado de Soler, 1996)

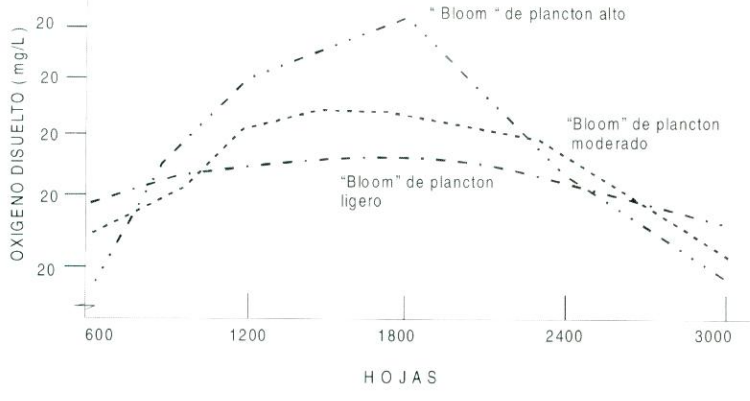


FIGURA 4. Ciclo del oxígeno en un período de 24 horas (Tomado Boyd y Lichtkopper, 1979)

5. ESPECIES APTAS PARA EL POLICULTIVO Y EL CULTIVO EN CORRALES

Para la siembra del policultivo en estanques y en corrales se debe considerar una o dos especies principales, las cuales deben tener adecuados canales de mercadeo que permitan mantener la actividad económica. Entre estas especies se puede contar con las tilapias, las cachamas, las carpas, el yamú y el bocachico (Fig. 5).

5.1 TILAPIA ROJA (*Oreochromis* spp.)

La tilapia roja es de tendencia de alimentación filtradora de plancton, consumidora de detritus, macrofitas, algas bénticas, perifiton, etc. Las características morfológicas del sistema digestivo de estel híbrido son variables y se puede considerar omnívora con aprovechamiento del plancton en las etapas juveniles.

La tilapia roja tolera amplios rangos de temperatura del agua, creciendo de una manera óptima entre los 24 y 28 °C, y se observan buenos rendimientos hasta una altitud de 1400 msnm. En el policultivo se puede obtener una producción de 1 Kg por m^2, con la siembra de tres ejemplares por m^2, con tallas entre los 250 y 400 g en un tiempo de cultivo de seis meses.



FIGURA 5. Algunas especies aptas para el policultivo. 1. Tilapia roja *Oreochromis* spp. 2. Tilapia plateada *Oreochromis niloticus* 3. Cachama blanca *Piaractus brachypomus*. 4. Carpa común *Cyprinus carpio*. 5. Yamú *Brycon siebenthalae*. 6. Bocachico *Prochilodus magdalenae*.

5.2. CACHAMA BLANCA (*Piaractus brachypomus*)

La cachama se considera como la especie principal en las zonas geográficas de mayor consumo y aceptación como son los Llanos orientales. En la zona andina se estableció su límite altitudinal a 1350 msnm.

En el policultivo, con el fin de obtener tallas de mercado en seis meses y lograr dos cosechas al año, la densidad de siembra recomendada es de 1 ejemplar/ m^2 ó 1 ejemplar/ 5 m^2 para alcanzar pesos superiores a 1 kg .

5.3 YAMÚ (*Brycon siebenthalae*) Y DORADA (*Brycon moorei moorei*)

El yamú, originario de la cuenca del Orinoco/Amazonia y la dorada, de la cuenca del río Magdalena y del río Sinú, son consideradas en general como omnívoras (oportunistas), de hábitos similares a la cachama, pero con mayor movilidad para la consecución de los recursos alimenticios.

En el policultivo estas especies pueden ser sembradas en reemplazo de la cachama, ya que se trata de no crear competencias dentro del estanque.

5.4 TILAPIA PLATEADA (*Oreochromis niloticus*)

En algunas regiones del país que cuentan con embalses hidroenergéticos, la tilapia plateada es un componente importante en la explotación del recurso pesquero, actividad de la cual se sustenta un amplio número de familias de los pescadores artesanales. En estas áreas es menos competitiva su producción en estanques.

Su producción está destinada al autoconsumo y mercadeo veredal y por lo tanto su densidad de cultivo debe ser baja por su limitado mercado y producción natural. Pero si se quiere incentivar el autoconsumo se recomienda sembrarla a una densidad de 1 ejemplar/ 5 m^2 de área de estanque.

5.5 Carpa común, espejo y carpa roja (*Cyprinus carpio y Cyprinus carpio* var. *specularis*)

Estas especies exóticas se adaptan a amplios rangos de temperatura. En Policultivo se ha experimentado hasta los 1600 msnm y son conocidas otras experiencias en monocultivo hasta los 1900 msnm. Puede ocupar una franja altitudinal entre aguas cálidas y las aguas frías; su mercadeo es bastante limitado, siendo importante para autoconsumo, venta veredal y generación de procesos cárnicos.

Su hábito alimenticio es omnívoro con tendencia a alimentarse en el fondo de invertebrados acuáticos y detritus, presentes en el bentos, reciclando los materiales decantados, pero presenta como inconveniente que incrementa la turbidez del agua. Se recomienda sembrarla a baja densidad, un ejemplar por cada 10 ó 15 m^2, debido a que su zona de alimentación se limita sólo al fondo del estanque. En estanques en áreas de terreno demasiado arcilloso se considera mejor no utilizarla.

La variedad carpa roja, al parecer un recesivo de la poblaciones de las carpas común y espejo, presenta un mayor potencial para el mercadeo.

5.6 Bocachico (*Prochilodus magdalenae*)

Esta especie de amplia oferta del medio natural presenta ciclos periódicos de producción y con una marcada tendencia a la reducción de la captura por problemas ambientales y de sobrepesca de las cuencas hídricas que sustentan sus poblaciones naturales.

Se recomienda efectuar la siembra anual, calculando que no coincida con las temporadas de subienda de bocachico de río, por la mayor oferta y bajos precios. La densidad es igual que para la carpa común o espejo (10 a 15 ejemplares por m^2), siendo mutuamente excluyentes, preferencialmente en aguas cálidas, por debajo de 1000 msnm, mientras la carpa incrementa mejor la productividad del policultivo en clima medio o zona cafetera.

6. EXPERIENCIAS DEL POLICULTIVO EN COLOMBIA

El proyecto "Desarrollo de la Acuicultura en Colombia" INDERENA - INPA- CIID- COLCIENCIAS, 1988-1991, adelantó las experiencias preliminares de policultivos, efectuados en varias regiones del país y en países como Brasil, estructurando un proceso investigativo con varias estrategias, vinculando las especies de tilapias, cachamas y carpas, sembradas a diversas densidades, con el fin de incrementar la productividad por área la diversificación en el consumo de especies.

Los modelos de policultivo propuestos han sido el resultado de un diseño experimental. Para cada modelo se ensayaron tres densidades de siembra con su respectiva réplica y un grupo control con monocultivos. Posteriormente los resultados obtenidos fueron validados con piscicultores de las zonas cafeteras, media y cálida de Colombia.

Los modelos técnico-económicos escogidos por su mayor productividad para la zona cálida, por debajo de 1350 msnm incluyen a la cachama (Tablas 1, 2 y 3) y para la zona cafetera, entre 1200 a 1550 msnm.

En los modelos anteriores se observaron las mejores relaciones de eficiencia económica, un bajo costo unitario de producción y un índice de beneficio bruto cercanos al 60%.

6.1 Policultivo tilapia - carpa espejo

Esta alternativa de policultivo se practica principalmente en la zona cafetera (Tabla 4) por encima de 1350 msnm, en donde la cachama no es recomendable por su lento crecimiento, en un tiempo comprendido de 6 meses, también puede ser realizado en la zona cálida.

TABLA 1. Policultivo de cachama blanca - tilapia - carpa espejo

Factores	Cachama	Tilapia	Carpa
Densidad individual	1 pez / 2m²	1 pez / 1 m²	1 pez / 15 m²
Peso inicial (g)	10	20	15
Rango peso final (g)	632 - 719	335 - 365	712 - 1276
Incremento día (g)	3.5 - 4.0	2 - 2.2	4.5 - 8.0
Densidad total		1.57 pez / m²	
Factor conversión alimenticia		1.12 : 1	
Producción Kg/m²		0.660 - 1.360	

TABLA 2. Policultivo de cachama blanca - tilapia

Factores	Cachama	Tilapia
Densidad individual	1.0 pez / 2m²	1 pez / 2 m²
Peso inicial (g)	10	20
Rango peso final (g)	626 - 744	291 - 408
Incremento día (g)	3.6 - 4.4	1.7 - 2.5
Densidad total	1.0 pez / m²	
Factor conversión alimenticia	1.42 : 1	
Producción Kg/m²	0.501 - 625	

TABLA 3. Policultivo de cachama blanca - tilapia

Factores	Cachama	Tilapia
Densidad individual	1.0 pez / m²	1 pez / 4 m²
Peso inicial (g)	10	20
Rango peso final (g)	577 - 651	333 - 448
Incremento día	3.3 - 3.6	2.0 - 2.6
Densidad total	1.25 pez / m²	
Factor conversión alimenticia	1.21 : 1	
Producción Kg/m²	0.501 - 625	

TABLA 4. Policultivo tilapia - carpa espejo

Factores	Tilapia	Carpa
Densidad Individual	1.5 pez / 2m²	1 pez / 10 m²
Peso inicial (g)	20	15
Rango peso final (g)	224 - 291	408 - 531
Incremento día	1.4 - 1.75	2.3 - 3.4
Densidad total	1.51 pez / m²	
Factor conversión alimenticia	1.5 : 1	
Producción Kg/m²	0.477 - 503	

7. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE MANEJO

Este sistema de cultivo se puede ubicar como semi - intensivo con el cual se aprovecha la productividad natural del cuerpo de agua, pero adicionalmente requiere del aporte de alimento balanceado cuyo suministro se calcula con base en la biomasa de la especie principal.

8. PREPARACIÓN DE ESTANQUE

El policultivo se puede realizar en estanques de cualquier forma y área, siempre y cuando se mantengan las densidades recomendadas; sin embargo, para obtener un rendimiento económico los estanques deben de ser de áreas superiores a 400 m^2.

Antes de iniciar el cultivo deben ser retirados los lodos decantados y las hierbas de las zonas menos profundas, dejando expuesto el estanque al sol directo, mínimo tres días. Una vez lleno se requiere calcular su área de espejo de agua en metros cuadrados. De acuerdo con la altitud y el tipo de suelo escoger los modelos para la zona cálida o para la zona cafetera.

9. FERTILIZACIÓN

Mediante la fertilización con abonos orgánicos o químicos le aportamos al estanque los elementos minerales requeridos para incrementar en forma constante la productividad natural, alimentando los ciclos biológicos y químicos con elementos como el fósforo (P) y nitrógeno (N) de acuerdo con la tabla 5.

TABLA 5. Proporción de fertilizante orgánico e inorgánico que se puede suministrar a un estanque.

Fertilizantes orgánicos (g / m^2)		Fertilizantes inorgánicos (g / m^2)	
Gallinaza	100	Superfosfato	10
Porquinaza	200	Triple 15	15
Boñiga	400		

Se debe fertilizar una semana antes de la siembra para que los alevinos cuenten con oferta de alimentos provenientes de la productividad natural. Se debe efectuar la fertilización en forma mensual, determinando previamente que la transparencia del agua esté por debajo de los 50 cm, si se encuentra menor a 20 cm, no se realiza el abonamiento, siendo recomendable incrementar el flujo de agua para evitar déficit de oxígeno en las noches.

10. ALIMENTACIÓN

El rendimiento económico del Policultivo exige el aporte de alimento balanceado para los peces y varía de acuerdo con el número de especies sembradas. Para obtener mejores resultados se debe suministrar un alimento balanceado que contenga un 30 % de proteína hasta alcanzar aproximadamente los 90 días y continuar con un alimento de aproximadamente 24% hasta la fase final, de acuerdo con las siguientes tablas de aportes de alimentación (Tablas 6 y 7).

TABLA 6. Suministro de alimento balanceado en la fase siembra hasta juvenil

Tiempo (días)	**0**	**30**	**60**	**90**
Peso esperado (g)	**5**	**20**	**50**	**95**
Alimentación (%)	**10**	**4.5**	**4.0**	**3.5**

TABLA 7. Suministro de alimento balanceado en la fase juvenil - engorde

Tiempo (días)	120	150	180	210
Peso esperado (g)	155	220	295	375
Alimentación (%)	3.0	2.5	2.0	

La ración diaria se divide en dos o tres y se suministra durante seis días de la semana.

10.1 Muestreo, ajuste de dieta y eficiencia del policultivo

Es conocido que cada estanque ofrece diferentes resultados originados en la diversidad de condiciones de altitud, de temperatura del agua, del tipo de suelo y en especial el manejo técnico de todas las variables del cultivo; por tanto se requiere efectuar un muestreo mensual para evaluar el crecimiento de cada una de las especies.

El muestreo se realiza pescando con la atarraya un porcentaje aproximado al 10 % de la población de peces sembrados, determinando el peso individual de cada especie, multiplicando por el número de peces sembrados, descontando si ha ocurrido mortalidad y multiplicando por el porcetaje de alimentación de acuerdo con el mes de cultivo y el porcentaje recomendado.

Se debe llevar un formato para registraer los aportes de alimento, el crecimiento mensual y el aumento de peso final; realizando la sumatoria del alimento aportado mes a mes, sobre el incremento de la biomasa de peces (restando la biomasa de alevinos adquiridos de la biomasa final alcanzada), se obtiene el factor de conversión alimenticia (FCA) que expresa cuánto alimento se consume por kilo de pez, el cual en zona de clima medio o cafetero supera el valor de 2 : 1 y en zonas cálidas aproximadamente 1.5 : 1.

11. DESARROLLO DEL CULTIVO EN CORRALES

El cultivo de peces en corrales se realiza con el fin de aprovechar los cuerpos de agua naturales, tales como lagunas, ciénagas, madreviejas de ríos, o amplios reservorios, delimitando un área específica, generalmente en la orilla hasta una profundidad que permita la recuperación de los peces por medio de mallas o chinchorros. El cercamiento del área se realiza con estacas de madera, en un todo un trayecto de orilla a orilla opuesta; sobre este estacamiento se coloca una malla generalmente de plástico reforzado, y anclado en el fondo con segmentos de varilla, para evitar la fuga de los peces.

El cultivo de peces en corrales no ha tenido una importancia significativa en el país, ya que han sido muy pocas las experiencias efectuadas con este sistema. A nivel mundial se remonta al Japón, donde a comienzos de la década de 1920 se le empezó a utilizar y posteriormente en China, en la década de 1950, donde fueron empleados para la cría de carpas en lagos de agua dulce (Dorado, 1995).

Los corrales presentan mayor área de oxigenación por acción del viento sobre la superficie. Generalmente no se requiere fertilizarlos, ya que frecuentemente son utilizados como abrevaderos para el ganado, que a su vez con sus excrementos y orina aportan elementos minerales que incrementan la productividad natural. El área de cercamiento debe ser previamente determinada para evaluar el costo de la malla y establecer el área en m^2, dato requerido para conocer el número de los diferentes peces que van a ser sembrados.

El sistema del policultivo es el más adecuado para la piscicultura en corrales, porque existe mayor diversidad de fuentes alimenticias.

En experiencias realizadas de policultivo en una pequeña laguna (aprox. 1 ha), a una latitud de 900 msnm en la zona rural del municipio de Gigante (Huila), se estableció un **corral** de un área de 1500 m^2 (Fig. 6), mediante la extensión de una malla plástica de 80 metros de largo (INPA, 1990), las especies y su densidad de siembra se observan en la tabla 8.

Tabla 8. Factores que deben tenerse en cuenta para realizar un policultivo cachama negra - tilapia - carpa espejo

Factores	Cachama	Tilapia	Carpa
Densidad individual	1 pez / 20 m^2	1 pez / 1 m^2	1 pez / 10 m^2
Número de peces	75	1500	150
Peso inicial (g)	30.7	18.8	56
Rango peso final	404	289	925
Incremento día (g)	2.0	1.5	4.8
Densidad total		0.8 / m^2	
Tiempo de cultivo		180 dias	
Factor conversión alimenticia		2.67 : 1	
Alimento preparado		Mezcla pescado + harina de arroz	
Producción Kg/m^2		0.402	

El cultivo de peces en corral es una alternativa para la utilización de cuerpos de agua, reservorios y pequeñas lagunas naturales, y para este ejemplo en particular se suministró un alimento preparado con base en peces capturados (Tilapia plateada) en el exterior del corral, más los peces descartados por selección sexual, realizando un proceso de molida y mezclada con harina de arroz, en una proporción 40 : 60. Una posible desventaja del cultivo de peces en corral es la depredación por animales, tales como nutrias, babillas, culebras, etc., para lo cual se requiere aumentar la presencia y el cuidado y así para evitar importantes pérdidas.



FIGURA 6. Malla sujeta a estacas para formar un corral

R.F.

BIBLIOGRAFÍA

BOYD, C. E. y F. LICHTKOPPLER. 1979. Water Quality Management in Pond Fish Culture. International center for Aquaculture. Auburn. Alabama. 29 p.

DORADO, M. DEL P. 1995. Cultivo de Peces en Jaulas y Corrales. 262-271 p. En: Rodríguez, H.; G. Polo y G. Salazar (Eds). Fundamentos de Acuicultura en Colombia. INPA, Bogotá, Colombia. 286 p.

HEPHER, B. (sin fecha), Limnología de Estanques para Peces. Estación de Investigación de Piscicultura DOR. Departamento de Pesqueria. Israel. 72 p.

INPA. 1990. Proyecto Desarrollo de la Acuicultura en Colombia -CIID - INPA - COLCIENCIAS. Informe técnico. 400 p.

KAPESTKY, J. 1976. Evaluación preliminar de la Limnología y de las poblaciones de peces en los planos inundables del canal del Dique. INDERENA - FAO. Rev. Investigaciones, 1(3): 1- 60.

RAMOS, A. (sin fecha). Fundamentos de la Piscicultura Agrícola. Universidad de Caldas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Sección de Piscicultura / Comité de Cafeteros de Caldas.

SOLER, M. P. 1996. Sistema digestivo de los peces, camarones y su fisiología. 23-51 p. En: Soler, M. P., H. Rodríguez y P; Victoria (Eds). Fundamentos de nutrición y alimentación en acuicultura. INPA. Bogotá, Colombia. 342 p.

USECHE, C. A.; C. CALA y H. HURTADO. 1993. Sobre la ecología de *Brycon siebenthalae* y *Mylossoma durivestris* (Pisces: Characidae) en el Río Cafre, Orinoquía. Caldasia, 17 (2): 341 - 352.

WELCOMME, R. 1979. Fisheries Ecology of flood plain rivers.

Capítulo XIX. PISCICULTURA INTEGRADA A OTRAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS

María Claudia Merino Archila[1]

INTRODUCCIÓN

La piscicultura integrada a otros cultivos es una forma organizada y diversificada de la producción agropecuaria, en donde el producto principal son los peces y los diferentes productos de la finca pueden ser usados como fuente de alimentos, de fertilizantes y de ingresos económicos.

El uso de fertilizantes en acuicultura tiene como objeto principal el aumentar la producción de peces en los estanques a partir de la producción de alimento natural (fitoplancton y zooplancton) mediante el aporte de material orgánico o inorgánico. El fitoplancton es la base de la cadena alimenticia para los peces, el cual se produce gracias a la radiación solar y a elementos esenciales como el agua, el nitrógeno, el fósforo y el potasio, aportados por los fertilizantes, los cuales se integran al ciclo biológico después de su descomposición. La cadena alimenticia se inicia a partir de la formación del fitoplancton que es consumido por los peces y por los organismos que conforman el zooplancton (pequeños crustáceos, larvas de moluscos e insectos y otros microorganismos), que a su vez sirven de alimento también a los peces.

Una adecuada integración entre las diferentes actividades agropecuarias en una granja permite una mejor utilización de la tierra y del agua, mejor distribución de la mano de obra y del equipo, el reciclaje de basuras y subproductos, disminuye los gastos de operación en alimentos y fertilizantes y mantiene balanceado el ecosistema.

El desarrollo de una economía diversificada depende de la interacción armoniosa entre las condiciones socioeconómicas, la producción agrícola y las condiciones medioambientales de la región.

En el sistema integrado las plantas son los productores, los animales de campo y los peces son los consumidores y los microorganismos acuáticos, incluyendo los del fondo, son los descomponedores, constituyendo un ecosistema completo (Fig. 1) (Naca, 1989).

La mayor parte de la producción agrícola en los países en vías de desarrollo la ejercen los pequeños agricultores. Para ellos en especial, la piscicultura integrada es muy beneficiosa, pues les mejora las condiciones de vida debido al incremento de sus ingresos y les permite cultivar peces a bajo costo para su familia, diversificando así la producción de alimentos y repartiendo el riesgo de una mala cosecha.

Más de un cuarto de la proteína animal que es consumida por los seres humanos mundialmente es de origen acuático; en el caso de Suramérica, menos del 10% de la proteína animal proviene de esa fuente, pero en Asia sólo los peces constituyen más del 25% de dicha proteína y la mayor parte de ellos es producida en sistemas integrados (Dorado y Salazar, 1993).

1. VENTAJAS DE LA PISCICULTURA INTEGRADA

La principal característica de la integración de cultivos de peces con animales de campo y productos agrícolas, es la de ser un modelo que puede ser utilizado tanto en pequeña escala (a nivel de pequeño productor) como en gran escala (con carácter industrial-comercial).

---

[1] INPA, Regional Oriental, Villavicencio (Meta). E-mail: maclamerino@hotmail.com

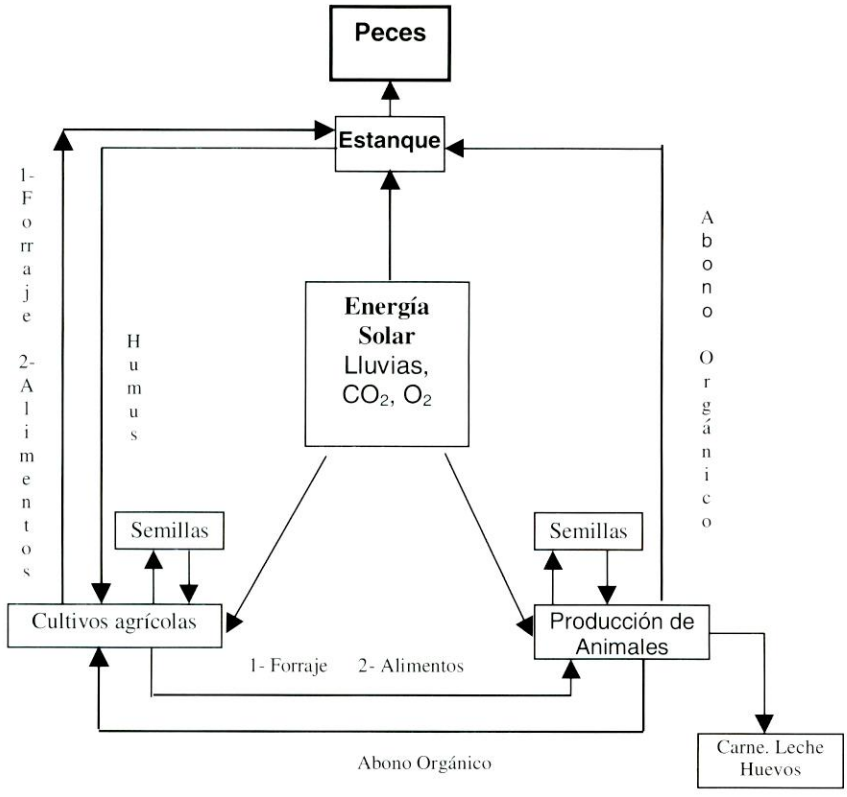


FIGURA 1. Reciclaje de materiales en una granja de piscicultura integrada bien manejada.

Llevar a cabo dicha integración tiene las siguientes ventajas:

a) **Ecosistema artificial sin desperdicios**. Cuando se cultivan animales de campo, los desperdicios restantes de la alimentación y el estiércol de los mismos se pierden y polucionan el ambiente; si dichos cultivos se integran con la piscicultura, los desperdicios originados pueden ser usados para abonar los estanques y a su vez el fango de los estanques puede ser usado como fertilizante para cultivo de plantas con las que se pueden alimentar los animales como pollos, patos, cerdos e inclusive los mismos peces; así es creado el reciclaje en el ecosistema.

b) **Incremento de la oferta de alimento a bajo costo**. Para levantar peces, el alimento concentrado peletizado es muy costoso, así como también lo es el suministro de cualquier clase de proteína animal. Alimentar con organismos naturales cultivados en estanques mediante el uso de abono orgánico puede reemplazar, si no completamente, por lo menos en buena parte el alimento concentrado y resulta mucho menos costoso; la fertilización de los estanques con abono animal no cambiará la calidad de los peces.

   En una piscicultura integrada con animales de campo y plantas se pueden cultivar patos en los estanques, los diques pueden ser usados para cultivar árboles frutales de poca altura o para cultivar cerdos y las laderas de los diques para el cultivo de plantas para alimentar los cerdos o a los mismos peces. Así la granja producirá no sólo peces sino también carne, huevos, frutas, vegetales, etc.

   La piscicultura integrada puede utilizar completamente el cuerpo de agua, la superficie del agua, la tierra y el fango para incrementar el alimento disponible para consumo humano y a un costo menor que si se cultivaran independientemente.

c) **Generación de empleo**. Por la naturaleza variada de la piscicultura integrada se puede incrementar el empleo disponible comparado con el que se requiere en una granja piscícola solamente.

d) **Incremento de la producción y beneficio económico**. La integración de cultivos incrementa la producción de proteínas, tanto animal como vegetal, en un espacio que de otra forma sería sólo usado para producir un monocultivo. El aporte del estiércol producido por los animales de campo a los estanques y el consumo del alimento desperdiciado por ellos incrementa la productividad en dichos estanques y por consiguiente beneficia el crecimiento de los peces, disminuyendo los costos en insumos (principalmente alimento y fertilizantes) al presentarse una optimización en el uso de los recursos y un reciclaje de nutrientes.

2. FERTILIZANTES ORGÁNICOS

El estiércol de los animales y los desechos de las plantas son los principales abonos orgánicos. El estiércol de gallinas, cabras, ovejas, patos, cerdos, conejos, ganado bovino y caballar es excelente para utilizarlo en los estanques. El sedimento de los biodigestores de gas, la melaza de los ingenios de azúcar, el compost vegetal, los desperdicios de cocina y el agua utilizada en los mataderos de animales son fertilizantes orgánicos que también pueden utilizarse en los estanques de peces.

En cambio la cáscara de arroz, el bagazo de la caña y el aserrín no es conveniente utilizarlos como abono, debido a que se demoran mucho tiempo en descomponerse.

La composición y cantidad de estiércol diario producido por los diferentes animales de una granja (cerdos, patos, pollos, gansos, ovejas y ganado, entre otros), varía dependiendo del peso del animal, edad, características alimenticias, clima y manejo. La tasa de producción de estiércol húmedo total (heces + orina), por día y su composición promedio en animales de granja se muestran en la tabla 1.

TABLA 1. Tasa de producción de estiércol húmedo (heces + orina) por día, en animales de granja (Tomado de Dorado y Salazar, 1993).

ITEM	CERDOS ENGORDE (%)	POLLOS (%)	VACA LECHERA (%)
Como porcentaje del peso total por día	5.10	6.60	9.40
Sólidos totales como porcentaje del peso húmedo	13.50	25.30	9.30
Sólidos orgánicos volátiles totales como porcentaje de sólidos totales	82.40	72.80	80.30
Contenido de nitrógeno total como porcentaje de sólidos totales	5.60	5.90	4.00
Contenido de fósforo total como porcentaje de sólidos totales	1.10	2.00	0.50
Contenido de potasio total como porcentaje de sólidos totales	1.20	1.70	1.40

Igualmente, la calidad del estiércol producido por los animales depende del alimento que consuman. En el caso de los pollos y los cerdos que se alimentan con concentrado comercial, el estiércol es de mayor calidad que el del ganado y caballos, cuya alimentación es, en su mayor parte, pasto natural y forraje. Por esta razón la cantidad de estiércol de aves y cerdos que se debe adicionar a los estanques es menor que si se utiliza estiércol de ganado vacuno o caballos.

En la tabla 2 se pueden observar los contenidos nutritivos de los excrementos de los principales animales utilizados en la integración peces-animales de campo (Dorado y Salazar, 1993 y Naca, 1989).

TABLA 2. Contenido físico químico en porcentaje del estiércol producido por algunos animales (Tomado de Dorado y Salazar, 1993 y Naca, 1989).

Animal	Humedad %	Materia orgánica %	Nitrógeno (N) %	Fósforo (P_2O_5) %	Potasio (K_2O) %
Cerdos de engorde	71	15.0	0.50-0.60	0.20-0.60	0.35-0.60
Patos	57	26.00	1.00	1.40	0.60
Pollos	76	26.00	1.60	1.50	-
Vaca lechera	79	14.6	0.30-0.45	0.15-0.25	0.05-0.15

La producción promedio de estiércol húmedo al día en cerdos de engorde es de 6.5 a 7.4 kg; en patos de 150 a 205 g; en pollos de 40 a 68 g y en vacas lecheras de 20 a 40 kg (Dorado y Salazar, 1993).

3. SISTEMAS INTEGRADOS CON PISCICULTURA

De acuerdo con los organismos que se pretendan producir, tres son los principales sistemas de integración con piscicultura:

- **Manejo integrado con cultivos agrícolas**
- **Manejo integrado con animales de campo**
- **Manejo integrado con animales de campo y cultivos agrícolas**

En cada uno de estos sistemas los desperdicios orgánicos pueden ser utilizados en diversas vías. Por ejemplo, el estiércol fresco puede ser aplicado directamente a los estanques evitando la pérdida de energía resultante de su procesamiento y transporte; el alimento de los animales de campo que no es totalmente digerido puede ser usado directamente por los peces; los residuos de la fermentación anaeróbica al producir biogás pueden usarse para fertilizar los estanques, así como también el compost que resulta de esta fermentación.

El abono animal puede ser usado indirectamente a través de uno o dos niveles tróficos de la cadena alimenticia; por ejemplo, puede utilizarse para cultivar plantas para alimentar peces u otros animales y también puede usarse para producir lombrices para alimentar peces o como componente para el alimento concentrado. La gallinaza, luego de un procesamiento adecuado, sirve para alimentar cerdos y a su vez la porquinaza sirve para fertilizar los estanques de los peces.

3.1 MANEJO INTEGRADO DE PECES Y PLANTAS

La integración de la piscicultura con el cultivo de plantas está dirigida a abastecer la demanda de alimento para los peces y para otros animales a la vez que se elimina el exceso de fango de los estanques; la abundancia de fango en los estanques deteriora el agua del cultivo, pero, por el contrario, es un abono de alta calidad para cultivar plantas terrestres. El ciclo completo utiliza la luz solar, la tierra, el fango y el agua fertilizada de los estanques mejorando las condiciones ecológicas del estanque.

El fango se forma como resultado de las grandes cantidades de alimento y abono que son aplicados a los estanques, adicionado al estiércol de los peces y de otros animales acuáticos. El material orgánico descompuesto por las bacterias forma un considerable volumen de humus, el cual, combinado con el lodo del fondo forma el fango.

Una cantidad apropiada de fango es benéfica para el estanque como fertilizante, pero en demasiada cantidad va en detrimento de la calidad del agua puesto que el pH del agua desciende, la demanda biológica de oxígeno (DBO) se incrementa y los compuestos nitrogenados (nitritos, nitratos, amoniaco) y gases tales como amoniaco (NH_3), ácido sulfídrico (H_2S) y metano (CH_4) se acumulan y causan daño a los peces, lo cual se refleja directamente en la

pérdida de apetito, disminución del crecimiento, susceptibilidad a enfermedades y adicionalmente, dicho exceso hace que los estanques pierdan profundidad.

La capa promedio del fango que se forma en un estanque en tierra con una producción de 7500 kg/ha es de 10 a 20 cm, lo que quiere decir que anualmente se pueden acumular entre 750 y 1425 m^3. El ingrediente activo del fango es equivalente 1785 kg/ha de fertilizante que contiene nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). En la tabla 3 se presentan las cantidades de fertilizantes que puede contener el fango de un estanque de cultivo de peces el cual, usado como abono para plantas terrestres, incrementa la capa de suelo para cultivo, mejora la estructura de las partículas del suelo, refuerza su habilidad para absorber N, P y K y mejora la capacidad para retener el agua (Naca, 1989).

TABLA 3. Peso equivalente de fertilizantes (kg) en el fango de estanques piscícolas (Tomado de Naca, 1989)

FERTILIZANTE	NPK TOTAL		NPK ACTIVO	
	En 100 kg de fango seco	En el fango seco producido por ha/año	En 100 kg de fango seco	En el fango seco producido por ha/año
Sulfato de amonio (21% N)	0.962	7215	0.134	1005
Úrea (46% N)	0.435	3255	0.061	465
Superfosfato de calcio (16% P como P_2O_5)	1.00	7500	0.061	465
Óxido de potasio (60% K como K_2O)	1.67	12510	0.041	315

El fango puede mezclarse con plantas para hacer compost que, luego de fermentarse, se convierte en un fertilizante más efectivo. Este compost se prepara haciendo un hueco en la tierra de 5 x 5 m y una profundidad de 1 m el cual se llena con el fango y las plantas, luego de lo cual se tapa el hueco con lodo. Luego de un tiempo, el abono ya fermentado se puede usar como fertilizante para los cultivos agrícolas aplicando entre 75 y 225 kg/ha.

El uso de este compost puede reducir los costos del cultivo integrado por cuanto no es necesario comprar y transportar el abono para las plantas y, a su vez, se produce alimento para los peces y otros animales.

Por su parte, en muchas partes del mundo, se utilizan plantas terrestres (especialmente algunos pastos como el rabo de zorro) para abonar directamente los estanques de alevinaje, aplicando entre 6 y 10 ton/ha antes de la siembra de alevinos y, posterior a ella, 3 ton/ha cada 3-4 días, en dos aplicaciones. Algunas plantas acuáticas (como el buchón), previamente molidas, pueden también utilizarse para fertilizar estanques; la cantidad a aplicar debe ser 2 ton/ha antes de la siembra de alevinos y luego entre 0.9 y 1.2 ton/ha dos veces por día durante el período de alevinaje para mantener la biomasa de plancton (IFFC, 1998). Luego de su descomposición, los restos de las plantas deben ser retirados de los estanques.

La integración peces-cultivos agrícolas puede ser aplicada de otra forma, mediante la rotación del cultivo de peces y plantas de rápido crecimiento como los pastos de corte, en los estanques; luego de la cosecha de los peces y el correspondiente drenado de los pozos, las plantas se siembran en el fondo y en las laderas. Una vez los productos agrícolas son cosechados, parte de las plantas es dejada para que, junto con abono adicional, se fermenten, cuidando de no dejar mas de 4-5 kg/m^2 de material vegetal, luego de lo cual se llena el estanque; ésta práctica mejora la calidad del agua e incrementa la fertilidad del suelo. Durante el proceso de llenado y por unos días más, es necesario monitorear la calidad del agua y, si el nivel de oxigeno se baja, se debe adicionar agua al estanque. Los alevinos de peces pueden ser sembrados 11 a 15 días después.

3.2 Manejo integrado de peces con animales de campo

La integración del cultivo de peces con animales como aves, ganado vacuno y cerdos, produce un beneficio no sólo para el cultivo de los peces en sí, sino principalmente para incrementar la producción total de las fincas, mejorando el retorno económico y disminuyendo las pérdidas de energía por compra o desperdicio de productos externos.

Desde el punto de vista de la relación ingresos-producción, la integración peces-patos es el mejor modelo de integración. Desde el punto de vista económico, la eficiencia de peces-cerdos no es tan buena y la ganancia es baja pues los cerdos excretan buena parte del alimento consumido sin digerir, razón por la cual debe suministrárseles mucho alimento. La integración peces-pollos carece de una relación simbiótica y en la relación peces-gansos, aun cuando existe una relación simbiótica, la cantidad de huevos puestos por ganso y su demanda en el mercado es mucho más baja.

La inversión en proteína para la producción integrada peces-patos y peces-vacas es similar; sin embargo, es mucho más fácil el levante de patos que el levante de vacas y por consiguiente la eficiencia económica y los ingresos generados con patos son superiores que con la integración con vacas (Naca, 1989).

Es importante tener en cuenta que una eficiente integración peces-animales depende de la utilización completa de los organismos que sirven de alimento a los peces en el estanque abonado con el estiércol. Lo mejor es utilizar especies filtradoras y omnívoras, pues ellas son capaces de consumir el plancton y el detritus producido. Tal es el caso de especies como las tilapias, las carpas, los bocachicos y, en menor proporción, las cachamas.

La cantidad de peces y animales de campo a utilizar en la integración debe ser balanceada teniendo en cuenta que la utilización de abonos orgánicos produce una disminución del oxígeno disuelto en el agua de los estanques, al ser el mismo consumido por los distintos organismos que habitan en ellos y por los diferentes procesos biológicos que allí se suceden.

Se recomienda colocar cerca de los estanques las instalaciones para la producción de los animales o de los vegetales que se vayan a integrar a la actividad acuícola de la granja, de manera que se aproveche de la forma más eficiente el alimento no consumido y que se tenga un menor gasto en la mano de obra empleada en la recolección y transporte de los subproductos que se integran al cultivo.

Por ejemplo, se pueden tener las instalaciones de los cerdos y de los pollos ubicadas en un mismo lugar y cerca del estanque, para que el alimento no consumido por estos y el estiércol caigan directamente o mediante lavado (Fig. 2).

En la Tabla 4 se presenta el porcentaje aproximado de consumo de oxígeno en el agua en un estanque piscícola, según Naca (1989).



FIGURA 2. Integración de la producción pollos-cerdos al estanque (Tomado de Dorado y Salazar, 1993).

TABLA 4. Consumo de oxígeno disuelto en el agua (Tomado de Naca, 1989)

FACTOR CONSUMIDOR	% APROXIMADO DE CONSUMO DE OXÍGENO
Respiración de los peces	5-15
Respiración de organismos naturales	4.5
Consumo del bentos	0.2
Descomposición de abono y sedimento en estanques	8
Descomposición de alimento artificial y de heces de peces	32
Consumo de las microbacterias (incluido el fitoplancton)	50

4.2.1 Integración peces - patos

Un estanque de peces es un sistema biológico semi-cerrado en donde hay muchos animales acuáticos y plantas, la mayoría de los cuales son alimento natural para los peces y algunos que los afectan o compiten bien sea por espacio, oxígeno o alimento, pueden ser aprovechados por los patos. Los patos consumen renacuajos, sapos jóvenes e insectos como las larvas de la libélula, erradicando de paso muchos predadores de larvas y alevinos de peces. El contenido de proteína de esos organismos, que son alimento natural para los patos, es alto; por esto, levantar patos en estanques de peces reduce la demanda de proteína en la comida a suministrar a los patos; el contenido de proteína digerible para patos levantados en confinamiento debe ser de 16-20%, mientras que para patos levantados en estanques puede reducirse al 13-14%. Esto puede ahorrar entre 200 y 300 g de proteína por cada pato cultivado, lo cual incrementa el retorno económico del cultivo integrado (IFFC, 1998).

Además, el alimento concentrado para los patos es completamente utilizado en esta integración peces-patos, pues los patos desperdician entre el 10 y el 20% del alimento, el cual es consumido por los peces y el excremento de los patos va directamente a los estanques suministrando nutrientes (principalmente C, N y P) y estimulando de esta manera el crecimiento de microorganismos. Esta fertilización directa tiene dos ventajas: primero, no se desperdicia abono y segundo, la fertilización es más homogénea y evita cualquier acumulación de heces. Esta integración también beneficia el reciclaje de nutrientes en el ecosistema del estanque, pues en áreas poco profundas los patos sumergen su cabeza al fondo del estanque en busca de alimento y mueven el fango con lo cual se liberan elementos nutricionales depositados en este. Por estas razones, el levante de patos en estanques promueve el crecimiento de los peces, incrementa el rendimiento y elimina los problemas de polución que pueden ser causados por los excrementos de los patos en confinamiento.

En Naca (1989) se reporta un ensayo de cultivo de carpa común, tilapia, carpa plateada y carpa herbívora en estanques de 400 m^2 con patos a los que se les suministró alimento concentrado balanceado. Entre los días 21 y 30 se suministró 194 g/pato/día, durante los 10 días siguientes se suministró 227 g/pato/día y durante los últimos 10 días se suministró 248 g/pato/día, observándose que los patos desperdiciaban en promedio, el 15% del alimento concentrado durante todo el ensayo. Al principio del ensayo se calculó la aplicación de estiércol de patos a una tasa de 85 kg/ha (peso seco) y al final se calculó en 95 kg/ha. No hubo otros abonos o alimentos aparte de la excreta de los patos y del alimento concentrado desperdiciado por los patos (Tabla 5).

TABLA 5. Cantidades diarias (g) de excreta de patos y de alimento desperdiciado por ellos en un estanque de 400 m^2

TIEMPO (Días)	ALIMENTO CONCENTRADO POR CADA PATO		CANTIDAD DE EXCRETA POR PATO	
	Aplicado	Desperdiciado	Peso húmedo	Peso seco
21-30	194	29 (15)	127	68
31-40	227	34 (15)	248	74
41-50	248	37 (15)	420	73

Los valores entre paréntesis son los porcentajes de alimento desperdiciado.

Como resultado del ensayo se determinó que el rendimiento de los peces alcanzó 36,5 kg/ha/día sin aplicación de comida adicional. La conversión alimenticia en la integración peces-patos fue reducida de 3.84 (sólo en patos) a 2.64 en la integración.

Con respecto a los patos se observó que, comparado con el levante en corrales, la tasa de crecimiento, la eficiencia del alimento, la vitalidad y la limpieza de las plumas y de la piel de los levantados en estanques fue mejor; igualmente la eficiencia del alimento y el peso de cada pato fue mejor y la tasa de sobrevivencia se incrementó en 3.5% por cuanto el estanque provee un ambiente limpio para los patos.

Anteriormente se creía que los patos podrían comerse los peces si todos eran cultivados en el mismo estanque, pero luego de muchos años de experiencia en granjas piscícolas en China se determinó que los patos pueden consumir peces de menos de 4 g (5.5 cm en promedio), pero los de más de 5 g pueden escapar de ser comidos.

Según IFFC (1998) el método más usado para el mantenimiento de los patos en el cultivo integrado es practicado en estanques entre 3500 m^2 y 7000 m^2 ; para construir la patera, parte de los diques y una parte sumergida de los estanques de engorde son encerradas con una red metálica para formar un área seca (cobertizo y declive) y un área húmeda (sumergida); dicha red se instala 40-50 cm por arriba y 40-50 cm por debajo de la superficie del agua, de tal manera que los peces puedan entrar en el área húmeda por alimento, pero los patos no puedan escapar por debajo de la red. La proporción de las áreas de construcción del cobertizo, del declive y del área húmeda debe ser 1:1.5:2. (Figs. 2 y 3). En la patera se debe tener un número no mayor de 4.5 patos/m^2 en el área seca y 3-4 individuos/m^2 en el área húmeda.

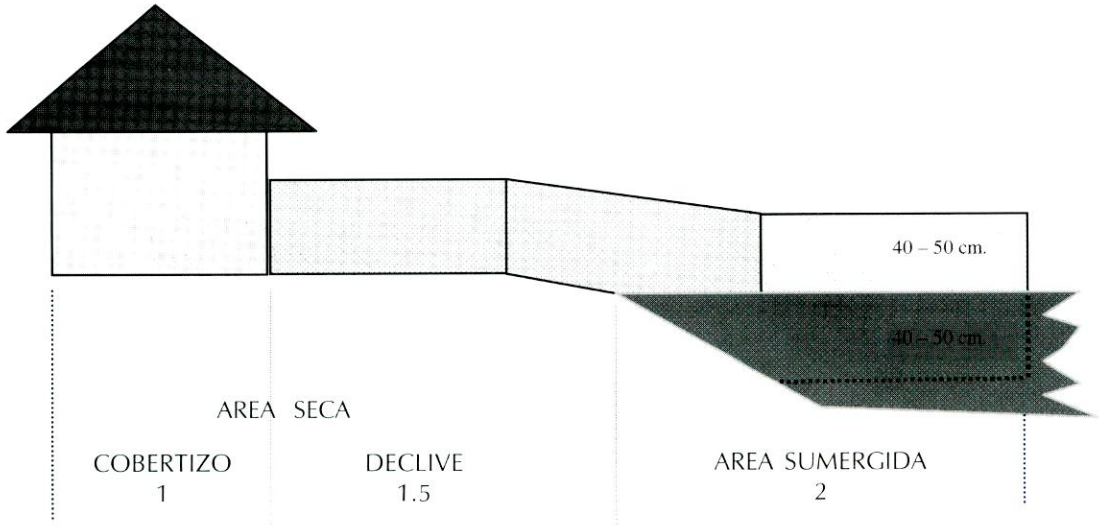


FIGURA 3. Posición proporcional de adecuaciones para cultivo de patos en estanques.

La cantidad de patos a cultivar debe estar entre 1200 y 2250 animales/ha, dependiendo de la calidad del agua, la cual debe tener las siguientes características:

pH	6-8
Biomasa de plancton	100 mg/l
Transparencia	25 – 40 cm
BOD	20 – 40 mg/l
Amonio	0.05 – 0.5 mg/l

En estas condiciones, y alimentando solamente los patos de acuerdo con sus requerimientos nutricionales, es posible producir individuos de 2 kg y cada uno de ellos a su vez puede producir entre 2 y 2.5 kg de peces omnívoros en 10 meses y obteniéndose además 200 huevos por año por unidad, en el caso de patos ponedores. Según experiencias logradas en China, el crecimiento de los peces puede incrementarse en cerca del 17% en estanques de cultivo integrado peces-patos (Fig. 4).

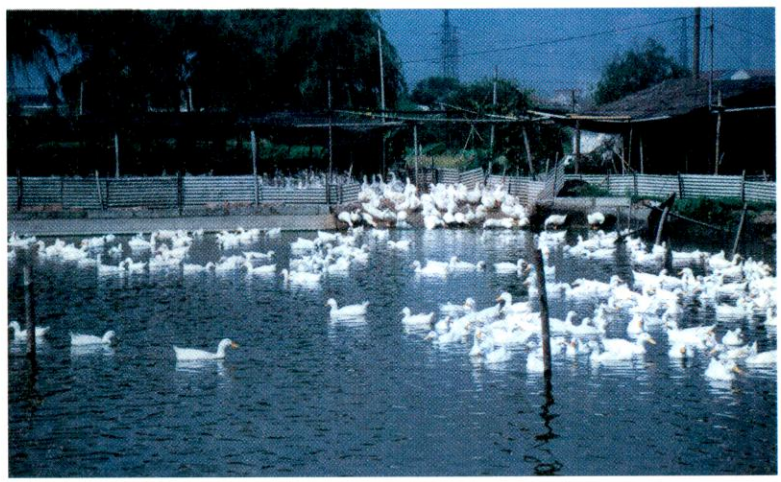


FIGURA 4. Cultivo integrado peces-patos donde se observa la patera sobre los diques y el estanque.

Otro sistema utilizado para integrar el cultivo patos-peces consiste en ubicar el corral dentro del estanque para que el alimento no consumido por los patos, al igual que el estiércol, caigan al agua directamente o mediante los lavados de limpieza periódicos (Fig. 5) (Dorado y Salazar, 1993).

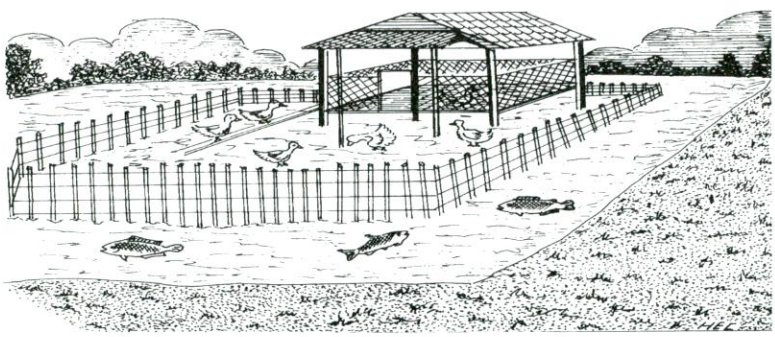


FIGURA 5. Cultivo integrado patos-peces en donde se observa al corral y la patera dentro del estanque.

3.2.2 Integración peces-cerdos

La integración peces-cerdos se da mediante la utilización de los desperdicios y residuos de las cocinas, de plantas acuáticas y de productos y desperdicios de la agricultura como alimento para los cerdos, pues estos tienen una alta tolerancia a toda clase de alimentos (hasta la gallinaza, incluyendo la "cama", sí se le hace un proceso de descontaminación). La excreta de los cerdos es usada a su vez como abono orgánico para los estanques de peces, el cual se caracteriza por ser un abono de alta calidad.

Para utilizar efectivamente el abono de los cerdos, el método de aplicación debe ser apropiado. Las marraneras pueden ser construidas en los diques de los estanques, siendo entonces el número a construir dependiente del tamaño de la piscicultura, o puede ser una marranera centralizada. La primera es ventajosa por su bajo costo y por

la facilidad de su manejo por cuanto los excrementos pueden caer automáticamente en los estanques, lo que ahorra trabajo, pero se recomienda que sea levantada en estanques de menos de media hectárea y con menos de 30 cerdos por marranera pues de lo contrario, el abono se acumula en el fondo del estanque, causando un deterioro parcial de la calidad del agua. (Fig. 4, Dorado, 1993). La marranera centralizada es ventajosa por cuanto se puede controlar la aplicación del estiércol en los estanques, pero es más costosa su construcción.

Según IFFC, 1998, un cerdo, hasta la talla de mercadeo (8 meses de engorde) produce en promedio 950 kg de estiércol seco y 1200 kg de orina (80-85% de agua). La porquinaza tiene entre 0.5 y 0.6% de N, entre 0.2 y 0.6% de P_2O_5 y entre 0.35 y 0.6% de K_2O, y material indigerible (por los cerdos), suministrado al agua puede producir 217 mg/lt de partículas en suspensión, en la siguiente relación:

Fitoplancton	19.3%
Zooplancton	3.2%
Partículas en suspensión	77.6%

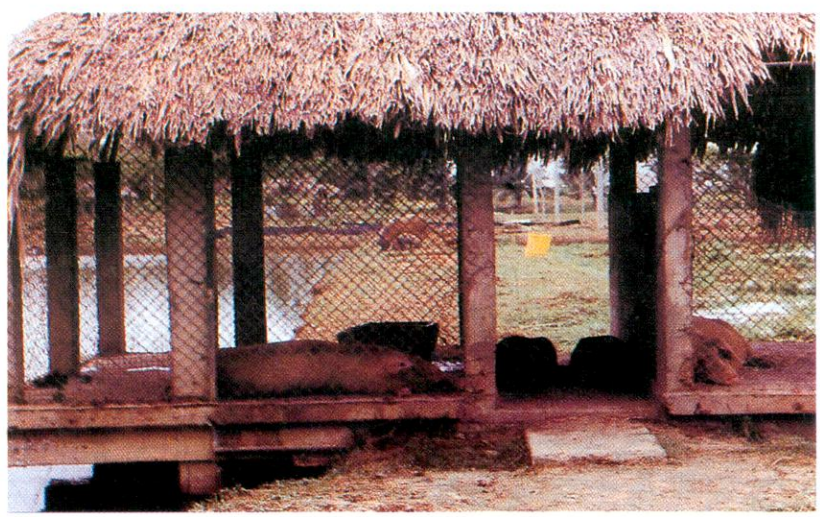


FIGURA 6. Cultivo integrado peces-cerdos. Porqueriza instalada sobre el dique con tubo de desagüe directo sobre el estanque (Estación Piscícola de Lorica, CVS, Córdoba) (Tomado de Dorado y Salazar, 1993).

El número recomendado de cerdos a engordar es entre 15 y 75 animales/ ha, si la fuente del abonamiento es sólo por estos animales y no más de 15/ha si además de ellos se tienen otras fuentes de abono, pero el número exacto depende de la cantidad de abono requerido, de las condiciones medio ambientales y de las técnicas de manejo. Lo recomendado es aplicar entre 300 y 600 kg/ha/día de porquinaza fresca, esparcida sobre todo el estanque. Una aplicación descontrolada de la porquinaza puede producir sobreproducción (blooms) de algas verdes, que causan la desaparición de algunas especies del zooplancton. El tamaño de la marranera debe ser el adecuado para mantener 1 cerdo/ m^2, pero en ningún caso debe exceder los 30 m^2.

En un monocultivo de carpa común, 50 kg de porquinaza pueden ser convertidos en 1.25-1.5 kg de pescado; en un policultivo de carpa común como especie principal, 50 kg de porquinaza pueden ser convertidos en 1.75 a 2.0 kg de pescado. Por la variedad de hábitos alimenticios de la tilapia, ésta especie sirve como limpiador en los estanques abonados con estiércol de cerdo.

3.2.3 Integración peces-ganado vacuno

La integración de peces con ganado vacuno reduce la necesidad de compra de fertilizantes y de alimento concentrado para los peces y por consiguiente se incrementan los ingresos de la piscicultura. De todos los excrementos de los animales de campo, el estiércol de los vacunos es el más abundante, en términos de disponibilidad.

Aun cuando el contenido nutritivo de este excremento es un poco menor que el del estiércol de cerdo, si se aplican 0.024 kg de abono fresco a 1 m^3 de agua cada día, la cantidad promedio de fitoplancton en un estanque alcanza 19.2 ± 6.5 mg/ l y la biomasa promedio de zooplancton es de 5,61 mg/l, según las experiencias obtenidas China, con lo cual se logran mejores resultados que al abonar con porquinaza (Naca, 1989).

Debido al molido repetido y a la digestión catalizada por los muchos microorganismos del rumen de los vacunos, las partículas del estiércol de las vacas son muy finas, por lo que tienen un período de hundimiento en el agua del estanque de 2.6 cm/minuto, a diferencia de la porquinaza, cuyas partículas se hunden a una velocidad de 4.3 cm/ min, es decir, que las partículas del estiércol de vacas permanecen más tiempo suspendidas en el agua. Esta característica permite que haya más alimento para los peces, a la vez que se reduce el consumo de oxígeno causado por la acumulación de materia orgánica en el fondo y se evita la formación de gases tóxicos. Además el DBO del estiércol de vacunos es menor que el de la porquinaza puesto que el alimento es descompuesto previamente por los microorganismos del rumen, y por lo tanto su uso es más seguro que el abono de otros animales.

Los cobertizos para las vacas deben ser construidos cerca de los estanques para simplificar el manejo del abono, pero lo recomendado es regar el estiércol y la orina por la superficie de los estanques (Fig. 7). La cantidad de ganado a levantar varía mucho dependiendo de la cantidad de estiércol producido por animal, de la calidad y cantidad de comida suministrada y desperdiciada por ellos, de la calidad y cantidad de humus del estanque, etc.; sin embargo, una cantidad apropiada es 8 vacas/ha, las cuales pueden producir 3750 kg de peces herbívoros (10% del total), omnívoros y filtradores (90% del total). El estiércol puede ser aplicado en pequeñas cantidades una vez todos los días, haciendo ajustes de acuerdo con el estado del tiempo, el color del agua y el crecimiento de los peces.

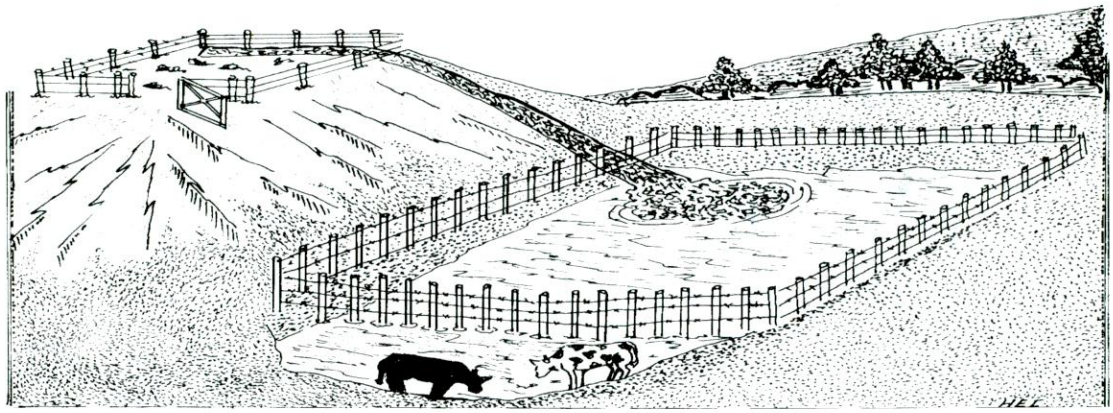


FIGURA 7. Integración de un establo con ganado al cultivo de peces. La cerca se coloca para evitar la entrada de ganado al estanque (Tomado de Dorado y Salazar, 1993).

Algunas densidades recomendadas de animales y peces-camarones por unidad de área del estanque se dan en la tabla 6.

3.3 Manejo integrado de peces con animales de campo y cultivos agrícolas

La integración peces-animales de campo y agricultura es una combinación de los modelos peces-animales y peces-cultivos agrícolas; por ejemplo, el abono animal y el fango de la integración peces-animales son usados como fertilizante y los productos agrícolas de la integración peces-cultivos agrícolas son usados como ingredientes para la alimentación de peces y animales de campo.

En la integración peces-cerdos, el excremento de los cerdos es utilizado para fertilizar los estanques con peces planctófagos (filtradores) cuando estas son las especies principales. Mientras que en la integración cerdos-peces herbívoros, una parte del excremento se utiliza para fertilizar los cultivos de plantas terrestres y acuáticas. Las

TABLA 6. Producción y densidades de siembra de animales y peces- camarones recomendados por unidad y área del estanque (Tomado de Dorado y Salazar, 1993)

Especie	Rango reportado y producción	Policultivo peces-camarones	Referencias
Cerdo de engorde	50-80/ha 10.95 ton/ha/año	10000 peces/ha: 20% catla *(Catla catla)*, *rohu (Labeo rohita)*, 20% mrigal *(Cirrhina mrgala)*. 15% carpa plateada *(H. molitrix)*, 20% carpa herbívora *(C. idella)* y 5% carpa común *(C. carpio)*. Producción: 7.30 ton/ha/año.	India: Jhingran *et al.*, 1977
	40-60/ha 8.38-12.22 ton/ha/año	10000-20000 peces/ha: 85% de mojarra lora, 14% carpa común y 1% *Ophicephalus striatus*. Producción: 6.78-7.90 ton/ha/año.	Filipinas: Cruz y Shehadeh, 1990
	100/ha 9.0 ton/ha/año	20000 peces/ha: mojarra plateada. Producción: 8.0 ton/ha/año.	África: Vincke, 1985
	50-100/ha 57-61/ha 100/ha		África: Viveen *et al*,. 1985 USA: Malecha *et al.*, 1981. Panamá: Mida,1985a.
	60/ha 8.4 ton/ha/año	13000 peces/ha:77% mojarra plateada, 7.6% cachama negra, 7.6% cachama blanca y 7.6% bocachico. Producción: 4.5 ton/ha/año	Colombia: Fadul y Dorado, 1992
	250/ha	10000 peces/ha: tilapia híbrido macho. Producción: 4.2 ton/ha/año	Taiwan: Chen y Li, 1990
Patos	750-1250/ha	Mayor producción de pescado obtenida con 750 patos/ha y policultivo de 20000 peces/ha: 85% mojarra plateada, 14% carpa común y 1% *O. striatus*. Producción: 6.85 ton/ha/año.	Filipinas: Cruz y Shehadeh, 1980
	100-150/ha 1000-1500/ha 2000-2400/ha	Producción de peces: 4.3 ton/ha/año Producción de peces: 3.5 ton/ha/año Producción de peces: 2.7-5.6 ton/ha/año	India: Sharma *et al*, 1979. Taiwan: Woynarovich, 1979, Hong Kong: Woynarovich, 1979
	100/ha 0.25 ton/ha/año	10000 peces/ha: 10% Catla. 18% Rohu, 28%; Minjal, 15% carpa plateada, 19% carpa común. Producción: 4.3 ton/ha/año.	India: Jhingran y Sharma, 1972.
	2200/ha	10000 peces/ha: carpa herbívora, carpa plateada, carpa del lodo, percha marina, carpa común, anguila, mojarra híbrido. Producción: 5.6 ton/ha/año	Taiwan: Chen y Li, 1980
	573/ha 6.85 ton/ha/año	Policultivo 12000 peces/ha - 100000 camarones/ha; 83% mojarra plateada revesada, 8.3% cachama negra, 8.3% bocachico - 50% camarón marino, 50% camarón de agua dulce. Producción: 6.26 ton/ha/año.	Colombia: Valencia y Dorado, 1990

plantas son utilizadas para alimentar los peces herbívoros. Parte del excremento se utiliza para fertilizar el estanque y de esta manera se incrementa la productividad primaria y por consiguiente la oferta de alimento para el levante de peces filtradores. Finalmente, el fango acumulado en el estanque regresa a la tierra como fertilizante para los cultivos agrícolas (Fig. 8).

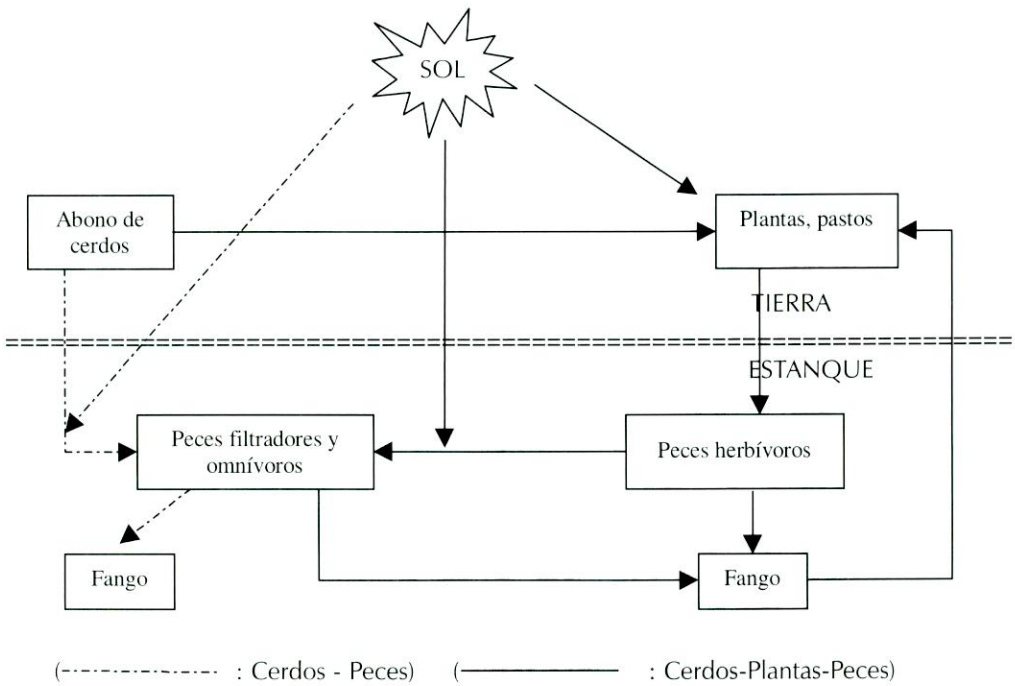


Figura 8. Esquema de los modelos de integración cerdos-plantas-peces y cerdos-peces.

Para elevar la eficiencia en la utilización de energía, disminuir los costos e incrementar la producción y los ingresos, varios sistemas pueden interactuar para crear una integración entrelazada a través de ciclos de nutrientes longitudinales y transversales y de flujo de energía (Fig. 9).

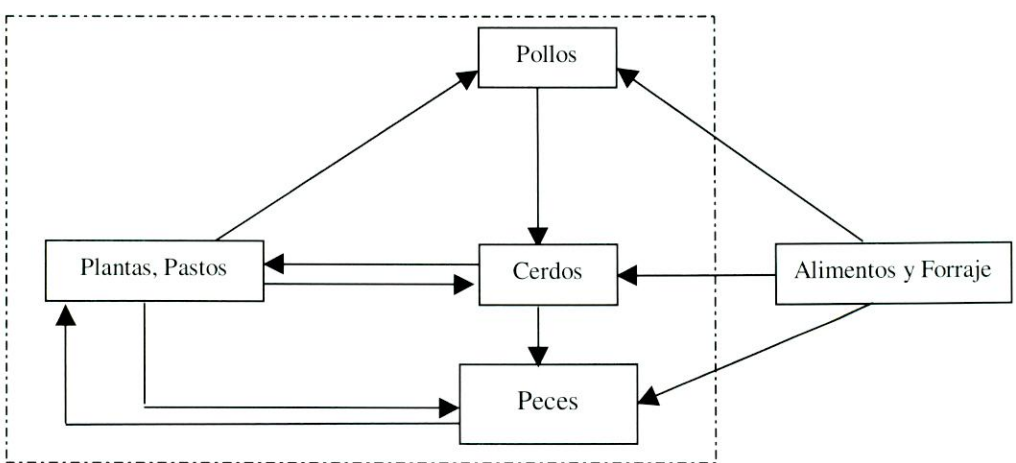


Figura 9. Modelo de piscicultura integrada con pollos-cerdos-peces.

En la gráfica anterior se presenta como la gallinaza y el alimento no ingerido por los pollos pueden ser completamente utilizados en la alimentación de cerdos ahorrando cerca de 25 kg de alimento por cada animal (Naca, 1989); con una simple deodorización y esterilización, el abono de pollos puede ser mezclado con ingredientes de buena calidad para producir pellet, el cual puede ser usado como alimento para cerdos. Este modelo se esquematiza en la figura 10.

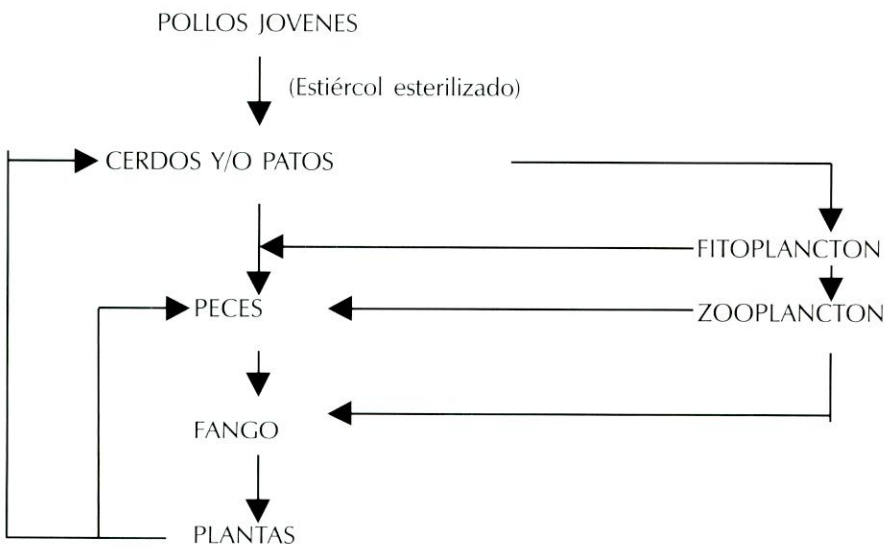


FIGURA 10. Modelo de manejo integrado de peces con otros animales y cultivos agrícolas.

Cuando se tiene esté tipo de integración se recomienda no mantener más de 10000 pollos, 15 cerdos y 90 patos por hectárea; de ésta manera es posible producir entre 5000 y 8000 kg/ha/año de peces con una inversión económica muy baja, por cuanto no se compran alimentos concentrados comerciales directamente para ellos sino que se utilizan los desperdiciados por los demás animales, además de las plantas, los granos y los subproductos agrícolas obtenidos en la granja.

En la figura 11 se muestra un ejemplo de lo que podría ser el flujo de elementos en una granja con un manejo integrado de peces con animales de campo y cultivos agrícolas. Los elementos que están dentro del cuadro punteado son reciclados dentro del sistema integrado y los que están por fuera son elementos introducidos o producidos para comercialización.

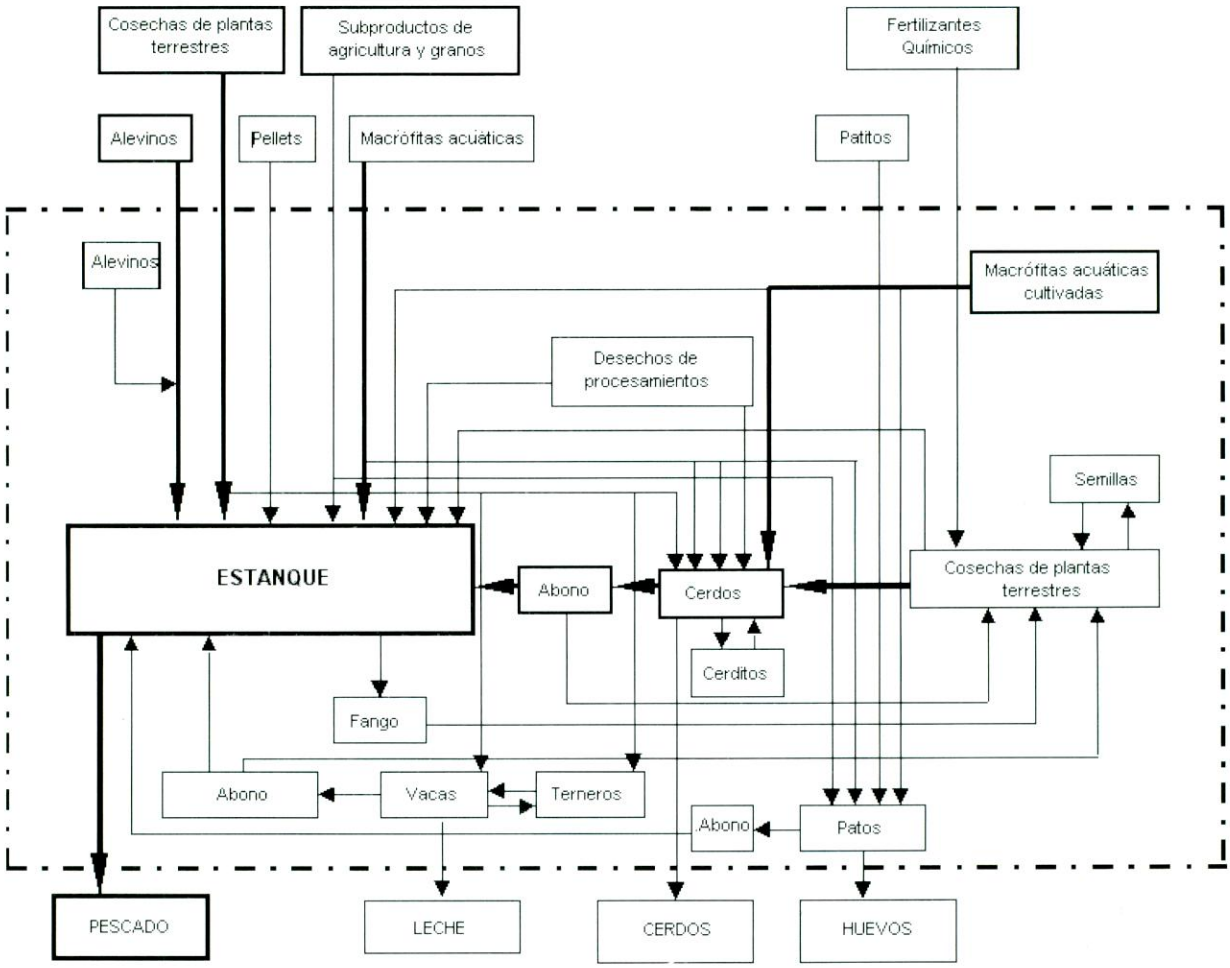


Figura 11. Esquematización de un manejo integrado de peces con animales de campo y cultivos agrícolas.

BIBLIOGRAFÍA

DORADO, M. y G. SALAZAR. 1993. Cultivos integrados a otras actividades agropecuarias. 251-262 p. En: Rodríguez, H., G. Polo y G. Salazar (Eds.), Fundamentos de Acuicultura Continental. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, INPA, Bogotá, 286 p.

IFFC, 1998. ASIAN-PACIFIC REGIONAL RESEARCH AND TRAINING CENTRE FOR INTEGRATED FISH FARMING, Wuxi, Jiangsu Province, China. 18th International Training Course on Integrated Fish Farming. Participación personal.

NACA. 1989. Integrated Fish Farming in China. NACA Technical Manual 7. A World Food Day Publication of the Network of Aquaculture Centres in Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand. 278 p.

Capítulo XX. PARÁMETROS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS PARA UN PROYECTO PISCÍCOLA RENTABLE (TRUCHA, TILAPIA ROJA Y CACHAMA)

Claudia Stella Beltrán Turriago[1]
Abraham Alberto Villaneda Jiménez[2]
Mauricio Carrillo Avila[3]
Francisco José Díaz Guzmán[4]
Gustavo Salazar Ariza[5]

INTRODUCCIÓN

Los paquetes productivos los ha formulado el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA) con el fin de brindar la información técnica y económica para hacer de la acuicultura una actividad rentable y sostenible. Estos modelos incluyen las necesidades de terreno, las características de la infraestructura física, los parámetros técnicos del ciclo productivo, los requerimientos de personal, los costos de inversión, fijos y variables, y la proyección de ingresos y rentabilidad, con una producción mensual de 9 toneladas de trucha en corte mariposa, 9 toneladas de tilapia roja eviscerada y 5 toneladas de cachama eviscerada.

Los costos se han proyectado como un promedio nacional ajustable a las condiciones de cada productor e incluyen desde la adquisición del terreno hasta los gastos mensuales de operación durante un período inicial de ejecución del proyecto de 4 años.

1. ASPECTOS GENERALES

Las premisas básicas que deben tenerse en cuenta para implantar un cultivo acuícola son:

- Todo proyecto debe formularse como una alternativa rentable, para lo cual requiere programar producción constante.
- Los parámetros técnicos deben estar bien definidos y realizar un permanente monitoreo sobre su comportamiento para efectuar los ajustes requeridos.
- Antes de iniciar la ejecución del proyecto se deben explorar las posibles estrategias de comercialización nacional o internacional, conocer los precios del mercado y los lugares donde se pueden ubicar los productos.
- Identificar las fuentes de financiación del proyecto (recursos propios, líneas de crédito de FINAGRO o de libre inversión de la banca comercial).
- Realizar un permanente registro de toda la información financiera que genere el proyecto (inversiones, costos e ingresos) para su análisis y seguimiento.

1 Economista INPA. División de Estudios Socioeconómicos y Mercadeo. Bogotá. E-mail: claudibe@inpa.gov.co
2 Biólogo Marino. Bogotá. E-mail: bran7585@usa.net
3 Biólogo Marino INPA. División de Recursos Acuícolas. Bogotá. E-mail: mauricar@inpa.gov.co
4 Ingeniero Agrónomo INPA. División de Acuicultura. Bogotá. E-mail: francdiaz@usa.net
5 Biólogo Marino INPA. División de Acuicultura. Bogotá. E-mail: gsalazar@inpa.gov.co

1.1 Contenido del proyecto

El proyecto debe incluir la siguiente información básica:

- Características generales: descripción de la empresa o grupo, ubicación de la finca o cuerpo de agua, especies a cultivar y entidades vinculadas (si las hay).
- Aportes financieros: capital aportado por los propietarios o socios y monto que se solicitaría a una entidad crediticia.
- Localización exacta del proyecto y parámetros físico-químicos del agua (caudal, recambio y temperatura).
- Requerimientos de personal: número de empleados y jornaleros necesarios para el mantenimiento del cultivo, cosecha y post-producción.
- Descripción de la infraestructura física (de cultivo, procesamiento, almacenamiento y área administrativa).
- Programa de producción: mono o policultivo, duración del ciclo productivo, densidades de siembra en cada fase, índices de mortalidad, índices de conversión alimenticia por etapa, porcentajes de pérdida por evisceración o deshuesada y peso final al momento de la cosecha.
- Aspectos comerciales: productos finales, estrategias de comercialización, plaza o lugares de venta (ventas directas, a través de cadenas comerciales, pescaderías, restaurantes, pesca deportiva, etc), precios de la competencia y de productos similares, posibilidades y conveniencia de participar en el mercado externo, acuerdos gremiales, entre otros.

1.2 Contenido del análisis financiero

Al realizar el análisis financiero los ítems que se deben calcular son:

- Valor de los activos fijos: terreno, infraestructura (de cultivo y post-producción) y equipos.
- Capital de trabajo: costo de los insumos requeridos para iniciar la producción (alimento, alevinos, reproductores, materiales, mano de obra) hasta obtener la primera cosecha.
- Costos fijos: remuneraciones (asistencia técnica, administración, mano de obra no calificada), transporte, materiales e insumos.
- Costos financieros: se deben calcular aunque no haya créditos pues los aportes de los socios reditúan mínimo la tasa de interés vigente en la banca comercial.
- Costos variables: alevinos, reproductores y alimento concentrado.
- Imprevistos: 5% de los costos fijos y variables de la producción.
- Ingresos por ventas (por producto): cantidad x precio.

Con los parámetros técnicos se construye un cuadro para calcular con precisión los costos variables, que generalmente representan entre un 60% y 80% del valor total del proyecto.

Esta información es la base para elaborar el flujo de origen y aplicación de fondos, por lo menos para los primeros cuatro años de ejecución del proyecto. Posteriormente se calculan índices de rentabilidad, tales como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Relación Beneficio Costo (B/C).

De los análisis anteriores se deben obtener conclusiones tendientes a:

- Visualizar el comportamiento del proyecto y los ajustes técnicos o económicos que se requieran para mejorar la rentabilidad.
- Ajustar el plan de mercadeo respecto a los productos, mejorar los precios del mercado, focalizar o ampliar la plaza y desarrollar estrategias de promoción.
- Analizar la incidencia del entorno y las condiciones macroeconómicas.
- Realizar las proyecciones de la empresa hacia el futuro.

A continuación se exponen los parámetros técnicos y económicos de los paquetes productivos para el cultivo de trucha, tilapia y cachama para productores que tengan una perspectiva comercial.

Es importante considerar que los valores aquí presentados son promedios nacionales, actualizados en el mes de noviembre de 2001, los cuales debe ajustar el productor de acuerdo a las características de su propio proyecto y a los precios de la región donde lo ejecute. En tal sentido, las dimensiones de la infraestructura física deben ser proporcionales al volumen de producción que se desee obtener.

2. PAQUETE PRODUCTIVO PARA EL CULTIVO DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*)

Se plantea producir nueve toneladas mensuales de trucha en corte mariposa para comercializarla a escala nacional.

2.1 Características de la infraestructura física

- Área requerida del terreno: una fanegada (6400 m^2).
- Ocho estanques elevados para alevinaje en concreto, cada uno de 6 m^2 de área (6 m x 1 m) y 0.50 m de profundidad.
- Doce estanques para dedinos en concreto, cada uno de 18 m^2 (9 m x 2 m) y 0.80 m de profundidad.
- Treinta y dos estanques para la etapa de engorde, cada uno de 62.5 m^2 (25 m x 2.5 m) y 1.20 m de profundidad, recubiertos en geomembrana de PVC.
- Acequia: desde la fuente de agua hasta la batería de estanques (40 cm de perímetro, 40 cm de profundidad y 200 m de longitud, revestida en concreto).
- Una bocatoma, un sedimentador (14.60 m^2) y un filtro (6.60 m^2).
- Una sala de proceso en cemento (8 m x 10 m).
- Una laguna de oxidación en tierra (40 m x 10 m) y 1.30 m de profundidad.

2.2 Parámetros técnicos para producir 9 toneladas mensuales de trucha en corte mariposa

- Cada siembra requiere cuatro estanques en la fase de alevinaje, cuatro para dedinaje y ocho en engorde.
- Ciclo productivo = 12 meses (2 meses en alevinaje, 2 meses en dedinaje y 8 meses en engorde).
- Cantidad de agua = 150 litros / segundo
- Temperatura del agua = 12 - 18° C
- Densidad de siembra en la etapa de alevinaje = 3333 alevinos / m^3
- Densidad de siembra para dedinos = 625 dedinos / m^3
- Densidad final de cosecha = 58 peces / m^3
- Peso de siembra en alevinaje = 3 gramos
- Índice de mortalidad total = 19%
- Índice de conversión alimenticia total = 1.8
- Porcentaje de pérdida por evisceración y deshuesada = 22%
- Peso final de cosecha sin eviscerar = 340 a 360 gramos
- Precio de venta = $ 5300/kilo

2.3 Requerimientos de personal

Para manejar este cultivo se requieren dos operarios de tiempo completo, incluyendo la celaduría nocturna; el costo del jornal es $ 11000. Adicionalmente, para las cosechas se requieren cuatro operarios más (vinculados a destajo) y ocho para post-producción durante cuatro días (una persona procesa 140 kilos/día, con remuneración de $ 65/kilo).

2.4 Parámetros económicos

El valor de las inversiones y los costos de operación de los primeros 4 años del proyecto se detallan en los anexos 1.1 a 1.3. Los principales costos son:

ANEXO 1.1

PRODUCCIÓN COMERCIAL DE 9 TONELADAS DE TRUCHA
FLUJO DE ORIGEN Y APLICACIÓN DE FONDOS

	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
ORIGEN (Ingresos)													
Saldo anterior	**0**	(95440704)	(103166790)	(111093396)	(119295888)	(128207245)	(138388856)	(150451650)	(164489384)	(181731758)	(203102067)	(229140666)	(259632517)
Aporte del inversionista	95440704	7726086	7926606	8202492	8911357	10181611	12062794	14037734	17242373	21370309	26038600	30491851	0
Ingresos por ventas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47694877
Total	**95440704**	**7726086**	**7926606**	**8202492**	**8911357**	**10181611**	**12062794**	**14037734**	**17242373**	**21370309**	**26038600**	**30491851**	**47694877**
APLICACIÓN (Egresos)													
Inversión activos fijos	89508400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión capital de trabajo	530000	7288760	7477930	7738200	8406941	9605293	11379995	13243145	16266390	20160669	24564717	28765897	30965994
Subtotal inversiones	**90038400**	**7288760**	**7477930**	**7738200**	**8406941**	**9605293**	**11379995**	**13243145**	**16266390**	**20160669**	**24564717**	**28765897**	**30965994**
Amortización a la inversión	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7017095
Costos financieros	900384	72888	74779	77382	84069	96053	113800	132431	162664	201607	245647	287659	309660
Costos fijos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costos variables	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Imprevistos (5% costos)	4501920	364438	373897	386910	420347	480265	569000	662157	813320	1008033	1228236	1438295	1548300
Subtotal costos operat.	**5402304**	**437326**	**448676**	**464292**	**504416**	**576318**	**682800**	**794589**	**975983**	**1209640**	**1473883**	**1725954**	**8875055**
Total	**95440704**	**7726086**	**7926606**	**8202492**	**8911357**	**10181611**	**12062794**	**14037734**	**17242373**	**21370309**	**26038600**	**30491851**	**39841049**
Diferencia (orig-aplicac)	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**7853828**
Saldo siguiente mes	(95440704)	(103166790)	(111093396)	(119295888)	(128207245)	(138388856)	(150451650)	(164489384)	(181731758)	(203102067)	(229140666)	(259632517)	(251778689)

	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16	MES 17	MES 18	MES 19	MES 20	MES 21	MES 22	MES 23	MES 24	MES 25
ORIGEN (Ingresos)													
Saldo anterior	(251778689)	(243606861)	(235435033)	(227263205)	(219091377)	(210919549)	(202747721)	(194575893)	(186404064)	(178232236)	(170060408)	(161888580)	(153716752)
Aporte del inversionista	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ingresos por ventas	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877
Total	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**
APLICACIÓN (Egresos)													
Inversión activos fijos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión capital de trabajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal inversiones	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Amortización a la inversión	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095
Costos financieros	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660
Costos fijos	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937
Costos variables	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057
Imprevistos (5% costos)	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300
Subtotal costos operat.	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**
Total	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**
Diferencia (orig-aplicac)	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**
Saldo siguiente mes	(243606861)	(235435033)	(227263205)	(219091377)	(210919549)	(202747721)	(194575893)	(186404064)	(178232236)	(170060408)	(161888580)	(153716752)	(145544924)

ANEXO 1.1

PRODUCCIÓN COMERCIAL DE 9 TONELADAS DE TRUCHA
FLUJO DE ORIGEN Y APLICACIÓN DE FONDOS (*Continuación*)

	MES 26	MES 27	MES 28	MES 29	MES 30	MES 31	MES 32	MES 33	MES 34	MES 35	MES 36	MES 37	MES 38
ORIGEN (Ingresos)													
Saldo anterior	(145544924)	(137373096)	(129201268)	(121029440)	(112857612)	(104685783)	(96513955)	(88342127)	(80170299)	(71998471)	(63826643)	(55654815)	(47482987)
Aporte del inversionista	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ingresos por ventas	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877
Total	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**
APLICACIÓN (Egresos)													
Inversión activos fijos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión capital de trabajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal inversiones	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Amortización a la inversión	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095
Costos financieros	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660
Costos fijos	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937
Costos variables	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057
Imprevistos (5% costos)	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300
Subtotal costos operat.	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**
Total	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**
Diferencia (orig-aplicac)	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**
Saldo siguiente mes	(137373096)	(129201268)	(121029440)	(112857612)	(104685783)	(96513955)	(88342127)	(80170299)	(71998471)	(63826643)	(55654815)	(47482987)	(39311159)

	MES 39	MES 40	MES 41	MES 42	MES 43	MES 44	MES 45	MES 46	MES 47	MES 48	TOTAL
ORIGEN (Ingresos)											
Saldo anterior	(39311159)	(31139331)	(22967503)	(14795674)	(6623846)	**1547982**	**9719810**	**17891638**	**26063466**	**34235294**	**42407122**
Aporte del inversionista	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	259632517
Ingresos por ventas	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	47694877	1764710449
Total	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**2024342966**
APLICACIÓN (Egresos)											
Inversión activos fijos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89508400
Inversión capital de trabajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	186393931
Subtotal inversiones	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**275902331**
Amortización a la inversión	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	7017095	259632517
Costos financieros	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	13798781
Costos fijos	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	2998937	107961738
Costos variables	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	27667057	996014052
Imprevistos (5% costos)	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	1533300	68993906
Subtotal costos operat.	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**1446400995**
Total	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**39523049**	**1722303326**
Diferencia (orig-aplicac)	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**8171828**	**302039640**
Saldo siguiente mes	(31139331)	(22967503)	(14795674)	(6623846)	**1547982**	**9719810**	**17891638**	**26063466**	**34235294**	**42407122**	**344446762**

TIR = 8.41%
B/C = 1.18

ANEXO 1.2

PRODUCCIÓN COMERCIAL DE 9 TONELADAS DE TRUCHA
BASE DE DATOS DE LAS INVERSIONES Y COSTOS

INVERSIONES

	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	TOTAL
Activ. fijos														
Terreno (1 fang)	7000000													7000000
Infraest. cultivo	65508400													65508400
Equipos	7000000													7000000
Sala proceso	10000000													10000000
Sub-total	**89508400**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**89508400**
Capital de trabajo														
Alevinos	0	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	53661300
Alimento	0	146985	336155	596425	1265166	2463518	4238220	6101370	9124615	13018894	17422942	21624122	23195282	99533694
Asistenc.téc.	0	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	12000000
Administración	0	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	6000000
Materiales	30000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	870000
Transporte	100000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	3700000
Remunerac.	400000	800000	800000	800000	800000	800000	800000	800000	800000	800000	800000	800000	1428937	10628937
Sub-total	**530000**	**7288760**	**7477930**	**7738200**	**8406941**	**9605293**	**11379995**	**13243145**	**16266390**	**20160669**	**24564717**	**28765897**	**30965994**	**186393931**
Financieros	900384	72888	74779	77382	84069	96053	113800	132431	162664	201607	245647	287659	309660	**2759023**
TOTAL	**90938784**	**7361648**	**7552710**	**7815582**	**8491010**	**9701346**	**11493795**	**13375577**	**16429054**	**20362276**	**24810364**	**29053556**	**31275654**	**278661355**

COSTOS FIJOS

	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16	MES 17	MES 18	MES 19	MES 20	MES 21	MES 22	MES 23	MES 24	MES 25	MES 26	MES 48	TOTAL
Remunerac.	1428937	1428937	1428937	1428937	1428937	1428937	1428937	1428937	1428937	1428937	1428937	1428937	1428937	1428937	1428937	**51441738**
Asistencia tec.	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	**21600000**
Administración	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	**18000000**
Servicios public.	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	**3600000**
Transporte	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	**10800000**
Materiales	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	**2520000**
TOTAL	**2998937**	**2998937**	**2998937**	**2998937**	**2998937**	**2998937**	**2998937**	**2998937**	**2998937**	**2998937**	**2998937**	**2998937**	**2998937**	**2998937**	**2998937**	**107961738**

COSTOS FINANCIEROS

	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16	MES 17	MES 18	MES 19	MES 20	MES 21	MES 22	MES 23	MES 24	MES 25	MES 26	MES 48	TOTAL
Financieros	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	306660	**11039758**

COSTOS VARIABLES

	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16	MES 17	MES 18	MES 19	MES 20	MES 21	MES 22	MES 23	MES 24	MES 25	MES 26	MES 48	TOTAL
Alevinos	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	4471775	**160983900**
Alimento	23195282	23195282	23195282	23195282	23195282	23195282	23195282	23195282	23195282	23195282	23195282	23195282	23195282	23195282	23195282	**835030152**
TOTAL	**27667057**	**27667057**	**27667057**	**27667057**	**27667057**	**27667057**	**27667057**	**27667057**	**27667057**	**27667057**	**27667057**	**27667057**	**27667057**	**27667057**	**27667057**	**996014052**

INGRESOS

	MES 12	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16	MES 17	MES 18	MES 19	MES 20	MES 21	MES 22	MES 23	MES 24	MES 25	MES 47	MES 48	TOTAL
Kilos	8999	8999	8999	8999	8999	8999	8999	8999	8999	8999	8999	8999	8999	8999	8999	8999	**332964**
Precio	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	
Ventas	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**47694877**	**1764710449**

ANEXO 1.3

PRODUCCIÓN COMERCIAL DE 9 TONELADAS DE TRUCHA
PARAMETROS TÉCNICOS Y CONSUMO DE ALIMENTO CONCENTRADO PARA DOCE (12) SIEMBRAS AL AÑO

	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
Número de alevinos	38885	36163 38885	35440 36163 38885	34731 35440 36163 38885	34384 34731 35440 36163 38885	34040 34384 34731 35440 36163 38885	33699 34040 34384 34731 35440 36163	33362 33699 34040 34384 34731 35440	33029 33362 33699 34040 34384 34731	32699 33029 33362 33699 34040 34384	32372 32699 33029 33362 33699 34040	32048 32372 32699 33029 33362 33699
Compra de alevinos	**4471775**	**4471775**	**4471775**	**4471775**	**4471775**	**4471775**	**4471775**	**4471775**	**4471775**	**4471775**	**4471775**	**4471775**
Peso promedio por animal	3	7 3	12 7 3	24 12 7 3	44 24 12 7 3	74 44 24 12 7 3	104 74 44 24 12 7	150 104 74 44 24 12	210 150 104 74 44 24	275 210 150 104 74 44	335 275 210 150 104 74	360 335 275 210 150 104
Peso total por ciclo o biomasa (en kilos)	117	253 117	425 253 117	834 425 253 117	1513 834 425 253 117	2519 1513 834 425 253 117	3505 2519 1513 834 425 253	5004 3505 2519 1513 834 425	6936 5004 3505 2519 1513 834	8992 6936 5004 3505 2519 1513	10844 8992 6936 5004 3505 2519	11537 10844 8992 6936 5004 3505
Indice de conversión alimentícia	1.0	1.1 1.0	1.2 1.1 1.0	1.3 1.2 1.1 1.0	1.4 1.3 1.2 1.1 1.0	1.4 1.4 1.3 1.2 1.1 1.0	1.5 1.4 1.4 1.3 1.2 1.1	1.6 1.5 1.4 1.4 1.3 1.2	1.6 1.6 1.5 1.4 1.4 1.3	1.7 1.6 1.6 1.5 1.4 1.4	1.8 1.7 1.6 1.6 1.5 1.4	1.8 1.8 1.7 1.6 1.6 1.5
Consumo de alimento por ciclo (en kilos)	117	150 117	207 150 117	531 207 150 117	951 531 207 150 117	1408 951 531 207 150 117	1479 1408 951 531 207 150 117	2399 1479 1408 951 531 207 150 117	3091 2399 1479 1408 951 531 207 150 117	3495 3091 2399 1479 1408 951 531 207 150 117	3334 3495 3091 2399 1479 1408 951 531 207 150 117	1247 3334 3495 3091 2399 1479 1408 951 531 207 150 117
Consumo total alimento . En kilos	117	267	473	1004	1955	3364	4842	7242	10332	13828	17162	18409
. En dinero	**146985**	**336155**	**596425**	**1265166**	**2463518**	**4238220**	**6101370**	**9124615**	**13018894**	**17422942**	**21624122**	**23195282**
Producción para venta (kg)												8999
. En dinero												**45895070**

Valor del terreno (1 fanegada)	**$ 7 000 000**
Construcción del área de cultivo:	
Estanques alevinaje en concreto (2.6 m^3 concreto y 91 kg hierro, c/u)	6 300 800
Estanques dedinaje en concreto (5.3 m^3 concreto y 238 kg hierro, c/u)	20 157 600
Estanques engorde (75 m^3 a $ 5000. Geomembrana 100 m^2 a $ 6000	31 200 000
Laguna de oxidación (520 m^3 a $ 5000/m^3 de excavación manual)	2 600 000
Acequia (200 metros en concreto a $ 25 000 /m)	5 000 000
Bocatoma, filtro y sedimentador	250 000
Costo total de la infraestructura de cultivo	**$ 65 508 400**
Equipos:	
Aparejos de pesca, clasificadores, red de frío, cuchillos, baldes =	$ 7 000 000
Sala de proceso:	
Caseta de proceso y bodega de 8 x 10 m =	$ 10 000 000
Costos financieros y del ciclo de producción:	
Tasa de interés bancaria a noviembre de 2001 (DTF efectiva anual) =	12%
Alevinos (incluido IVA) =	$ 115
Alimento concentrado (precio promedio por kilo) =	$ 1 260
Remuneraciones (valor del jornal) =	$ 11 000
Ingresos:	
Producción mensual destinada a la venta =	8 999 kilos
Precio de venta =	$ 5 300
Número de cosechas anuales (desde el año 2) =	12

2.5 Conclusiones

- La Tasa Interna de Retorno (TIR) para los primeros cuatro años de ejecución del proyecto es del 8.41%. Para una segunda etapa se incrementa al 12.20%, pues no se requerirá invertir en infraestructura física.
- Las inversiones en infraestructura física, equipos y los costos operativos antes de la primera cosecha se recuperan al cabo de 43 meses de haber iniciado el proyecto, incluyendo la amortización a capital, cuyo valor se calcula desde el mes 12, es decir, desde cuando comienzan a obtenerse ingresos por ventas.
- En el montaje del proyecto se precisan $ 278 661 355, para la adquisición del terreno, la construcción de la infraestructura de cultivo, sala de proceso, equipos, materiales y costos financieros durante los primeros doce meses, es decir, antes de la primera cosecha.
- Durante los primeros cuatro años, las utilidades promedio son de $ 8 171 828 mensuales, contados a partir del mes 12 del año 1.
- La rentabilidad del proyecto es susceptible de mejorar en la medida en que se optimicen los parámetros técnicos y económicos. Si el productor cuenta con el terreno, las inversiones se reducirían en $ 7 000 000 y las utilidades serían del 8.68% en los primeros cuatro años.

3. PAQUETE PRODUCTIVO PARA EL CULTIVO DE TILAPIA ROJA (*Oreochromis* spp.)

Se ha planteado como meta producir 9 toneladas mensuales de tilapia eviscerada para comercializarla a escala nacional.

3.1 Características de la infraestructura física

- Área requerida del terreno: 2 hectáreas
- Dos estanques en tierra para reproducción, cada uno de 400 m^2 de área (16 m x 25 m) y 0.70 m de profundidad.
- Dos estanques en tierra para reversión, cada uno de 36 m^2 de área (4 m x 9 m) y 0.40 m de profundidad.

- Dos estanques en tierra para pre-cría, cada uno de 400 m^2 de área (16 m x 25 m) y 0.50 m de profundidad.
- Cuatro estanques en tierra para pre-levante, cada uno de 800 m^2 de área (20 m x 40 m) y 0.80 m de profundidad.
- Ocho estanques en tierra para levante, cada uno de 800 m^2 de área (20 m x 40 m) y 0.80 m de profundidad.
- Ocho estanques en tierra para engorde, cada uno de 800 m^2 de área (20 m x 40 m) y 1.0 m de profundidad.
- Una bocatoma, un sedimentador (14.60 m^2) y un filtro (6.60 m^2).
- Una sala de proceso y bodega en cemento (80 m^2).
- Una laguna de oxidación de 400 m^3 (40 m x 10 m) y 1.30 m de profundidad.

3.2 Parámetros técnicos para 9 toneladas mensuales de tilapia eviscerada

- Ciclo productivo: nueve meses (uno en reversión, dos en precría, dos en pre-levante, dos en levante y dos en engorde).
- Cada siembra requiere la siguiente cantidad de estanques: dos en reversión, uno en pre-cría, dos en pre-levante, cuatro en levante y cuatro en engorde.
- Densidades de siembra: reversión = 500/m^2, precría = 85/m^2, pre-levante = 15/m^2, levante = 8/m^2, engorde = 8/m^2.
- Peso al final de cada etapa: reversión = 0.5 g, precría = 15 g, pre-levante = 100 g, levante = 220 g y engorde = 450 g.
- Índice de conversión alimenticia final: 2.5
- Índice de mortalidad: 20% de precría a levante y 10% entre levante y engorde.
- Porcentaje de pérdida por evisceración: 16%
- Precio de venta: $ 3 800/kilo
- Caudal de agua: 80 litros /segundo. Recambio = 46% diario.
- Temperatura del agua: 24 - 30°C

3.3 Requerimientos de personal

Se requieren dos operarios de tiempo completo. Adicionalmente, para las cosechas se necesitan cuatro operarios más (vinculados a destajo) y diez para post-producción durante seis días (una persona procesa 140 kilos/ día, a $65/kilo).

3.4 Parámetros económicos

Las inversiones y costos operativos de los primeros tres años del proyecto se detallan en los anexos 2.1 a 2.3. A precios corrientes de 2001, los costos son:

Valor del terreno (2 hectáreas)	**$ 17 000 000**
Construcción del área de cultivo:	
Batería de estanques (15069 m^3 con excavación mecánica)	20 850 000
Bocatoma, filtro y sedimentador	250000
Laguna de oxidación (520 m^3 con excavación mecánica)	795 000
Acequia (200 metros en concreto a $ 25 000 /m)	5 000 000
Costo total de la infraestructura de cultivo	**$ 26 895 000**
Equipos:	
Aparejos de pesca, balanza, cuchillos, baldes, entre otros =	3 000 000
Equipo de conservación en frío (planta de hielo) =	4 000 000
Total Equipos	**$ 7 000 000**
Sala de proceso y bodega:	
Caseta en cemento de 8 x 10 m =	$ 10 000 000

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

ANEXO 2.1

PRODUCCIÓN COMERCIAL DE 9 TONELADAS DE TILAPIA
FLUJO DE ORIGEN Y APLICACIÓN DE FONDOS

	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
ORIGEN (Ingresos)													
Saldo anterior	**0**	(65682900)	(81977697)	(85637990)	(90269639)	(96957473)	(106267856)	(118326282)	(133320715)	(151360572)	(141343892)	(131401412)	(121458932)
Aporte del inversionista	65682900	16294797	3660293	4631649	6687834	9310383	12058426	14994433	18039857	0	0	0	0
Ingresos por ventas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36695722	36695722	36695722	36695722
Total	**65682900**	**1629· 797**	**3660293**	**4631649**	**6687834**	**9310383**	**12058426**	**14994433**	**18039857**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**
APLICACIÓN (Egresos)													
Inversión activos fijos	60895000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión capital de trabajo	1070000	15372450	3453106	4369481	6309277	8783380	11375874	14145692	17018733	21599083	0	0	0
Subtotal inversiones	**61965000**	**15372450**	**3453106**	**4369481**	**6309277**	**8783380**	**11375874**	**14145692**	**17018733**	**21599083**	**0**	**0**	**0**
Amortización a la inversión	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3784014	3784014	3784014	3784014
Costos financieros	619650	153725	34531	43695	63093	87834	113759	141457	170187	215991	216691	216691	216691
Costos fijos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3481690	3481690	3481690
Costos variables	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18187393	18187393	18187393
Imprevistos (5% costos)	3098250	768623	172655	218474	315464	439169	568794	707285	850937	1079954	1083454	1083454	1083454
Subtotal costos operat.	**3717900**	**922347**	**207186**	**262169**	**378557**	**527003**	**682552**	**848742**	**1021124**	**5079959**	**26753242**	**26753242**	**26753242**
Total	**65682900**	**16294797**	**3660293**	**4631649**	**6687834**	**9310383**	**12058426**	**14994433**	**18039857**	**26679042**	**26753242**	**26753242**	**26753242**
Diferencia (orig-aplicac)	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**10016680**	**9942480**	**9942480**	**9942480**
Saldo siguiente mes	(65682900)	(81977697)	(85637990)	(90269639)	(96957473)	(106267856)	(118326282)	(133320715)	(151360572)	(141343892)	(131401412)	(121458932)	(111516452)

	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16	MES 17	MES 18	MES 19	MES 20	MES 21	MES 22	MES 23	MES 24	MES 25
ORIGEN (Ingresos)													
Saldo anterior	(111516452)	(101573972)	(91631492)	(81689012)	(71746532)	(61804052)	(51861572)	(41919092)	(31976612)	(22034132)	(12091652)	(2149172)	**7793309**
Aporte del inversionista	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ingresos por ventas	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722
Total	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**
APLICACIÓN (Egresos)													
Inversión activos fijos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión capital de trabajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal inversiones	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Amortización a la inversión	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014
Costos financieros	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	316691
Costos fijos	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690
Costos variables	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	28187393
Imprevistos (5% costos)	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1583454
Subtotal costos operat.	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**37353242**
Total	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**37353242**
Diferencia (orig-aplicac)	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	(657520)
Saldo siguiente mes	(101573972)	(91631492)	(81689012)	(71746532)	(61804052)	(51861572)	(41919092)	(31976612)	(22034132)	(12091652)	(2149172)	**7793309**	**7135789**

ANEXO 2.1

PRODUCCIÓN COMERCIAL DE 9 TONELADAS DE TILAPIA
FLUJO DE ORIGEN Y APLICACIÓN DE FONDOS (*Continuación*)

	MES 26	MES 27	MES 28	MES 29	MES 30	MES 31	MES 32	MES 33	MES 34	MES 35	MES 36	MES 37	MES 38
ORIGEN (Ingresos)													
Saldo anterior	**7135789**	**17078269**	**27020749**	**36963229**	**46905709**	**56848189**	**66790669**	**76733149**	**86675629**	**96618109**	**106560589**	**116503069**	**126445549**
Aporte del inversionista	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ingresos por ventas	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722
Total	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**
APLICACIÓN (Egresos)													
Inversión activos fijos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión capital de trabajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal inversiones	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Amortización a la inversión	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014
Costos financieros	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691
Costos fijos	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690
Costos variables	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393
Imprevistos (5% costos)	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454
Subtotal costos operat.	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**
Total	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**
Diferencia (orig-aplicac)	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**
Saldo siguiente mes	**17078269**	**27020749**	**36963229**	**46905709**	**56848189**	**66790669**	**76733149**	**86675629**	**96618109**	**106560589**	**116503069**	**126445549**	**136388029**

	MES 39	MES 40	MES 41	MES 42	MES 43	MES 44	MES 45	MES 46	MES 47	MES 48	TOTAL
ORIGEN (Ingresos)											
Saldo anterior	**136388029**	**146330509**	**156272989**	**166215469**	**176157949**	**186100429**	**196042909**	**205985389**	**215927870**	**225870350**	**235812830**
Aporte del inversionista	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	151360572
Ingresos por ventas	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	1467828894
Total	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**	**1619189467**
APLICACIÓN (Egresos)											
Inversión activos fijos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60895000
Inversión capital de trabajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103497076
Subtotal inversiones	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**16439207 6**
Amortización a la inversión	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	3784014	151360572
Costos financieros	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	10194863
Costos fijos	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	3481690	135785910
Costos variables	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	18187393	719308329
Imprevistos (5% costos)	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	1083454	50974316
Subtotal costos operat.	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**1067623989**
Total	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**26753242**	**1232016065**
Diferencia (orig-aplicac)	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**9942480**	**387173402**
Saldo siguiente mes	**146330509**	**156272989**	**166215469**	**176157949**	**186100429**	**196042909**	**205985389**	**215927870**	**225870350**	**235812830**	**622986231**

TIR	14.64%
B/C	1.31

ANEXO 2.2

PRODUCCIÓN COMERCIAL DE 9 TONELADAS DE TILAPIA
BASE DE DATOS DE LAS INVERSIONES Y COSTOS

INVERSIONES

	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	TOTAL
Activ. fijos											
Terreno (2 has)	17000000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17000000
Infraest. cultivo	26895000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26895000
Equipos	7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7000000
Sala proceso	10000000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10000000
Sub-total	**60895000**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**60895000**
Capital de trabajo											
Reproductores	0	10000000	0	0	0	0	0	0	0	0	10000000
Alevinos	0	2275000	0	0	0	0	0	0	0	0	2275000
Alimento	0	327450	643106	1559481	3499277	5993380	8585874	11355692	14228733	18137393	64330386
Asistenc. técn.	0	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	9000000
Administración	0	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	4500000
Materiales	70000	70000	70000	70000	70000	50000	50000	50000	50000	50000	600000
Transporte	200000	400000	440000	440000	440000	440000	440000	440000	440000	440000	4120000
Remunerac.	800000	800000	800000	800000	800000	800000	800000	800000	800000	1471690	8671690
Sub-total	**1070000**	**15372450**	**3453106**	**4369481**	**6309277**	**8783380**	**11375874**	**14145692**	**17018733**	**21599083**	**103497076**
Financieros	619650	153725	34531	43695	63093	87834	113759	141457	170187	215991	1643921
TOTAL	**62584650**	**15526175**	**3487637**	**4413175**	**6372370**	**8871214**	**11489632**	**14287149**	**17188920**	**21815074**	**166035996**

COSTOS FIJOS

	MES 10	MES 11	MES 12	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16	MES 17	MES 18	MES 19	MES 20	TOTAL
Remunerac.	1471690	1471690	1471690	1471690	1471690	1471690	1471690	1471690	1471690	1471690	1471690	**57395910**
Asistenc. téc.	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	**39000000**
Administración	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	**19500000**
Servicios púb.	110000	110000	110000	110000	10000	110000	110000	110000	110000	110000	110000	**4290000**
Transporte	400000	400000	400000	400000	400000	400000	400000	400000	400000	400000	400000	**15600000**
TOTAL	**3481690**	**3481690**	**3481690**	**3481690**	**3481690**	**3481690**	**3481690**	**3481690**	**3481690**	**3481690**	**3481690**	**135785910**

COSTOS FINANCIEROS

	MES 10	MES 11	MES 12	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16	MES 17	MES 18	MES 19	MES 20	TOTAL
Financieros	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	216691	**8550942**

COSTOS VARIABLES

	MES 10	MES 11	MES 12	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16	MES 17	MES 18	MES 19	MES 20	TOTAL
Reproductores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**10000000**
Alimento	18137393	18137393	18137393	18137393	18137393	18137393	18137393	18137393	18137393	18137393	18137393	**707358329**
Materiales	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	**1950000**
TOTAL	**18187393**	**18187393**	**18187393**	**18187393**	**18187393**	**18187393**	**18187393**	**18187393**	**18187393**	**18187393**	**18187393**	**719308329**

INGRESOS

	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16	MES 17	MES 18	MES 19	MES 48	TOTAL
kilos	9657	9657	9657	9657	9657	9657	9657	9657	9657	9657	9657	9657	**386271**
Precio	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	
Ventas	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	36695722	**1467828894**

ANEXO 2.3

PRODUCCIÓN COMERCIAL DE 9 TONELADAS DE TILAPIA
PARAMETROS TÉCNICOS Y CONSUMO DE ALIMENTO CONCENTRADO PARA DOCE (12) SIEMBRAS ANUALES

	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
1. Reproductores:												
. Cantidad	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
. Compra	**10000000**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
. Consumo alimento (kg)	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
2. Reversión y alevinaje:												
. Larvas, postlarvas	0	35000	35000	35000	35000	35000	35000	35000	35000	35000	35000	35000
. Consumo alimento (kg)	**0**	**105**	**105**	**105**	**105**	**105**	**105**	**105**	**105**	**105**	**105**	**105**
3. Precria a engorde:												
. Alevinos	35000	29750	28263	27697	26866	26329	26066	25805	25547			
		35000	29750	28263	27697	26866	26329	26066	25805	25547		
			35000	29750	28263	27697	26866	26329	26066	25805	25547	
. Compra alevinos	**2275000**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
. Ganancia de peso (gr)	3	15	45	100	170	240	310	380	450			
		3	15	45	100	170	240	310	380	450		
			3	15	45	100	170	240	310	380	450	
. Biomasa (kg)	105	446	1272	2770	4567	6319	8080	9806	11496			
		105	446	1272	2770	4567	6319	8080	9806	11496		
			105	446	1272	2770	4567	6319	8080	9806	11496	
. Indice de conversión	0.80	1.00	1.20	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.50			
		0.80	1.00	1.20	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.50		
			0.80	1.00	1.20	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.50	
. Consumo de alimento	84	341	991	2097	2696	2803	2994	3106	4226			
por ciclo (kg)		84	341	991	2097	2696	2803	2994	3106	4226		
			84	341	991	2097	2696	2803	2994	3106	4226	
Consumo total de alimento por mes												
. En kilos	354	695	1686	3783	6479	9282	12276	15382	19608	19608	19608	19608
. En dinero	**327450**	**643106**	**1559481**	**3499277**	**5993380**	**8585874**	**11355692**	**14228733**	**18137393**	**18137393**	**18137393**	**18137393**
Producción para la venta (kg)									9657	9657	9657	9657
. En dinero									**36695722**	**36695722**	**36695722**	**36695722**

Costos financieros y del ciclo de producción:

Tasa de interés bancaria a noviembre de 2001 (DTF efectiva anual) =	12%
Alevinos =	$ 65
Reproductores =	$ 5 000
Alimento concentrado (precio promedio por kilo) =	$ 900
Remuneraciones (valor del jornal) =	$ 11 000

Ingresos:

Producción mensual destinada a la venta =	9 657 kilos
Precio de venta =	$ 3800
Número de cosechas anuales (a partir del mes 9 del año 1) =	12

3.5 Conclusiones

* La Tasa Interna de Retorno (TIR) para los primeros cuatro años de ejecución del proyecto es del 14.64%. Para una segunda etapa se incrementa al 18.73%, pues no se requerirá invertir en infraestructura física.
* Las inversiones en infraestructura física, equipos y los costos operativos antes de la primera cosecha se recuperan al cabo de 24 meses de haber iniciado el proyecto, incluyendo la amortización a capital, cuyo valor se calcula desde el mes 9, es decir desde cuando comienzan a obtenerse ingresos por ventas.
* En el montaje del proyecto se precisan $ 166 035 996, para la adquisición del terreno, la construcción de la infraestructura de cultivo, sala de proceso, equipos, materiales y costos financieros durante los primeros nueve meses, es decir, antes de la primera cosecha.
* Durante los primeros cuatro años, las utilidades promedio son de $ 9 942 480 mensuales, contados a partir del mes 9 del año 1.
* La rentabilidad del proyecto es susceptible de mejorar en la medida en que se optimicen los parámetros técnicos y económicos. Si el productor cuenta con el terreno, las inversiones se reducirían en $ 17 000 000 y la rentabilidad sería del 15.71% en los primeros cuatro años.

4. PAQUETE PRODUCTIVO PARA EL CULTIVO DE CACHAMA (*Piaractus brachypomus*)

Se plantea la producción de 5 toneladas mensuales de cachama eviscerada para su comercialización a nivel regional.

4.1 Características de la infraestructura física

- Área requerida del terreno: 1.5 hectáreas.
- Dieciocho estanques, cada uno de 1000 m^2 (25 m x 40 m) y 1 m de profundidad, para las etapas de levante y engorde.
- Una bocatoma y un filtro (6.60 m^2).
- Una sala de proceso y bodega en cemento de 80 m^2 (8 m x 10 m).
- Una laguna de oxidación en tierra (40 m x 10 m) y 1.30 m de profundidad.

4.2 Parámetros técnicos para 5 toneladas mensuales de cachama eviscerada

- Cada siembra requiere tres estanques donde se realizará el levante y engorde.
- Ciclo productivo = 6 meses.
- Densidad de siembra = 4 alevinos/ m^2. Peso de siembra en levante = 5 gramos
- Índice de conversión alimenticia al final del ciclo = 1.7
- Peso por ejemplar en la cosecha, sin eviscerar = 590 gramos.
- Índice de mortalidad total = 13%
- Porcentaje de pérdida por evisceración = 14%
- Precio de venta = $ 3 400/kilo
- Cantidad de agua = 30 litros/ segundo y 17% de recambio diario por estanque.
- Temperatura del agua = 24 - 30°C.

ANEXO 3.1

PRODUCCIÓN COMERCIAL DE 5 TONELADAS DE CACHAMA
FLUJO DE ORIGEN Y APLICACIÓN DE FONDOS

	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
ORIGEN (Ingresos)													
Saldo anterior	**0**	(61845700)	(65618717)	(70283279)	(76044596)	(83095558)	(91557326)	(86209812)	(80427697)	(74645583)	(68863468)	(63081354)	(57299239)
Aporte del inversionista	61845700	3773017	4664562	5761317	7050962	8461768	0	0	0	0	0	0	0
Ingresos por ventas	0	0	0	0	0	0	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347
Total	**61845700**	**3773017**	**4664562**	**5761317**	**7050962**	**8461768**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**
APLICACIÓN (Egresos)													
Inversión activos fijos	57445000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión capital de trabajo	900000	3559450	4400530	5435205	6651851	7982800	10001502	0	0	0	0	0	0
Subtotal inversiones	**58345000**	**3559450**	**4400530**	**5435205**	**6651851**	**7982800**	**10001502**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Amortización a la inversión	0	0	0	0	0	0	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240
Costos financieros	583450	35595	44005	54352	66519	79828	100015	95915	95915	95915	95915	95915	95915
Costos fijos	0	0	0	0	0	0	0	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615
Costos variables	0	0	0	0	0	0	0	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887
Imprevistos (5% costos)	2917250	177973	220027	271760	332593	399140	500075	479575	479575	479575	479575	479575	479575
Subtotal costos operat.	**3500700**	**213567**	**264032**	**326112**	**399111**	**478968**	**2729330**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**
Total	**61845700**	**3773017**	**4664562**	**5761317**	**7050962**	**8461768**	**12730833**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**
Diferencia (orig-aplicac)	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**5347514**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**
Saldo siguiente mes	(61845700)	(65618717)	(70283279)	(76044596)	(83095558)	(91557326)	(86209812)	(80427697)	(74645583)	(68863468)	(63081354)	(57299239)	(51517125)

	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16	MES 17	MES 18	MES 19	MES 20	MES 21	MES 22	MES 23	MES 24	MES 25
ORIGEN (Ingresos)													
Saldo anterior	(51517125)	(45735010)	(39952896)	(34170781)	(28388667)	(22606552)	(16824438)	(11042323)	(5260209)	**521906**	**6304020**	**12086135**	**17868249**
Aporte del inversionista	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ingresos por ventas	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347
Total	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**
APLICACIÓN (Egresos)													
Inversión activos fijos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión capital de trabajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal inversiones	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Amortización a la inversión	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240
Costos financieros	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915
Costos fijos	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615
Costos variables	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887
Imprevistos (5% costos)	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575
Subtotal costos operat.	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**
Total	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**
Diferencia (orig-aplicac)	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**
Saldo siguiente mes	(45735010)	(39952896)	(34170781)	(28388667)	(22606552)	(16824438)	(11042323)	(5260209)	**521906**	**6304020**	**12086135**	**17868249**	**23650364**

ANEXO 3.1

PRODUCCIÓN COMERCIAL DE 5 TONELADAS DE CACHAMA
FLUJO DE ORIGEN Y APLICACIÓN DE FONDOS (*Continuación*)

	MES 26	MES 27	MES 28	MES 29	MES 30	MES 31	MES 32	MES 33	MES 34	MES 35	MES 36	MES 37	MES 38
ORIGEN (Ingresos)													
Saldo anterior	**23650364**	**29432478**	**35214593**	**40996707**	**46778822**	**52560936**	**58343051**	**64125165**	**69907280**	**75689394**	**81471509**	**87253623**	**93035738**
Aporte del inversionista	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ingresos por ventas	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347
Total	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**
APLICACIÓN (Egresos)													
Inversión activos fijos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión capital de trabajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal inversiones	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Amortización a la inversión	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240
Costos financieros	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915
Costos fijos	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615
Costos variables	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887
Imprevistos (5% costos)	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575
Subtotal costos operat.	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**
Total	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**
Diferencia (orig-aplicac)	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**
Saldo siguiente mes	**29432478**	**35214593**	**40996707**	**46778822**	**52560936**	**58343051**	**64125165**	**69907280**	**75689394**	**81471509**	**87253623**	**93035738**	**98817852**

	MES 39	MES 40	MES 41	MES 42	MES 43	MES 44	MES 45	MES 46	MES 47	MES 48	TOTAL
ORIGEN (Ingresos)											
Saldo anterior	**98817852**	**104599966**	**110382081**	**116164195**	**121946310**	**127728424**	**133510539**	**139292653**	**145074768**	**150856882**	**156638997**
Aporte del inversionista	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91557326
Ingresos por ventas	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	777368923
Total	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**868926249**
APLICACIÓN (Egresos)											
Inversión activos fijos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57445000
Inversión capital de trabajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38931338
Subtotal inversiones	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**96376338**
Amortización a la inversión	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	2129240	91557326
Costos financieros	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	4992194
Costos fijos	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	2546615	106957849
Costos variables	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	7044887	295885246
Imprevistos (5% costos)	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575	479575	24960972
Subtotal costos operat.	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**524353588**
Total	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**12296233**	**620729926**
Diferencia (orig-aplicac)	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**5782114**	**248196323**
Saldo siguiente mes	**104599966**	**110382081**	**116164195**	**121946310**	**127728424**	**133510539**	**139292653**	**145074768**	**150856882**	**156638997**	**404835320**

TIR	18.32%
B/C	1.40

ANEXO 3.2

PRODUCCIÓN COMERCIAL DE 5 TONELADAS DE CACHAMA
BASE DE DATOS DE LAS INVERSIONES Y COSTOS

INVERSIONES

	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	TOTAL
Activ. fijos								
Terreno (1.5 ha)	12000000	0	0	0	0	0	0	12000000
Infraest. cultivo	28445000	0	0	0	0	0	0	28445000
Equipos	7000000	0	0	0	0	0	0	7000000
Sala proceso	10000000	0	0	0	0	0	0	10000000
Sub-total	**57445000**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**57445000**
Capital de trabajo								
Alevinos	0	960000	960000	960000	960000	960000	960000	5760000
Alimento	0	24450	865530	1900205	3116851	4447800	6044887	16399723
Asistenc. técn.	0	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	6000000
Administración	0	500000	500000	500000	500000	500000	500000	3000000
Materiales	0	25000	25000	25000	25000	25000	40000	165000
Transporte	100000	250000	250000	250000	250000	250000	300000	1650000
Remunerac.	800000	800000	800000	800000	800000	800000	1156615	5956615
Sub-total	**900000**	**3559450**	**4400530**	**5435205**	**6651851**	**7982800**	**10001502**	**38931338**
Financieros	583450	35595	44005	54352	66519	79828	100015	963763
TOTAL	**58928450**	**3595045**	**4444535**	**5489557**	**6718369**	**8062628**	**10101517**	**97340102**

COSTOS FIJOS

	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	MES 13	MES 14	MES 45	MES 46	MES 47	MES 48	TOTAL
Remunerac.	1156615	1156615	1156615	1156615	1156615	1156615	1156615	1156615	1156615	1156615	1156615	1156615	**48577849**
Asistenc. téc.	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	**21000000**
Administración	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	**21000000**
Servicios púb.	90000	90000	90000	90000	90000	90000	90000	90000	90000	90000	90000	90000	**3780000**
Transporte	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	**12600000**
TOTAL	**2546615**	**2546615**	**2546615**	**2546615**	**2546615**	**2546615**	**2546615**	**2546615**	**2546615**	**2546615**	**2546615**	**2546615**	**106957849**

COSTOS FINANCIEROS

	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	MES 13	MES 14	MES 45	MES 46	MES 47	MES 48	TOTAL
Financieros	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	95915	**4028431**

COSTOS VARIABLES

	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	MES 13	MES 14	MES 45	MES 46	MES 47	MES 48	TOTAL
Alimento	6044887	6044887	6044887	6044887	6044887	6044887	6044887	6044887	6044887	6044887	6044887	6044887	**253885246**
Alevinos	960000	960000	960000	960000	960000	960000	960000	960000	960000	960000	960000	960000	**40320000**
Materiales	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	**1680000**
TOTAL	**7044887**	**7044887**	**7044887**	**7044887**	**7044887**	**7044887**	**7044887**	**7044887**	**7044887**	**7044887**	**7044887**	**7044887**	**295885246**

INGRESOS

	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	MES 13	MES 44	MES 45	MES 46	MES 47	MES 48
kilos	5317	5317	5317	5317	5317	5317	5317	5317	5317	5317	5317	5317	5317
Precio	3400	3400	3400	3400	3400	3400	3400	3400	3400	3400	3400	3400	3400
Ventas	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347	18078347

ANEXO 3.3

PRODUCCIÓN COMERCIAL DE 5 TONELADAS DE CACHAMA
PARAMETROS TÉCNICOS Y CONSUMO DE ALIMENTO CONCENTRADO PARA DOCE (12) SIEMBRAS ANUALES

	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
. Alevinos	12000	10800	10692	10585	10479	10479						
		12000	10800	10692	10585	10479	10479					
			12000	10800	10692	10585	10479	10479				
				12000	10800	10692	10585	10479	10479			
					12000	10800	10692	10585	10479	10479		
						12000	10800	10692	10585	10479	10479	
. Compra alevinos	**960000**	**960000**	**960000**	**960000**	**960000**	**960000**	**960000**	**960000**	**960000**	**960000**	**960000**	**960000**
. Ganancia de peso (gr)	5	125	245	365	480	590						
		5	125	245	365	480	590					
			5	125	245	365	480	590				
				5	125	245	365	480	590			
					5	125	245	365	480	590		
						5	125	245	365	480	590	
. Biomasa (kg)	60	1350	2620	3864	5030	6183						
		60	1350	2620	3864	5030	6183					
			60	1350	2620	3864	5030	6183				
				60	1350	2620	3864	5030	6183			
					60	1350	2620	3864	5030	6183		
						60	1350	2620	3864	5030	6183	
. Indice de conversión	0.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7						
		0.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7					
			0.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7				
				0.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7			
					0.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7		
						0.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	
. Consumo de alimento por ciclo (kg)	30	1032	1270	1493	1633	1960						
		30	1032	1270	1493	1633	1960					
			30	1032	1270	1493	1633	1960				
				30	1032	1270	1493	1633	1960			
					30	1032	1270	1493	1633	1960		
						30	1032	1270	1493	1633	1960	
Consumo total de alimento por mes												
. En kilos	30	1062	2332	3824	5457	7417	7417	7417	7417	7417	7417	7417
. En dinero	**24450**	**865530**	**1900205**	**3116851**	**4447800**	**6044887**	**6044887**	**6044887**	**6044887**	**6044887**	**6044887**	**6044887**
Producción para la venta (kg)						5317	5317	5317	5317	5317	5317	5317
. En dinero						**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**	**18078347**

4.3 REQUERIMIENTOS DE PERSONAL

Un proyecto comercial requiere dos operarios de tiempo completo. Para cosechas se vincula a destajo un operario más y ocho para post-producción durante tres días (una persona procesa 140 kilos/ día a $ 65/kilo).

4.4 PARÁMETROS ECONÓMICOS

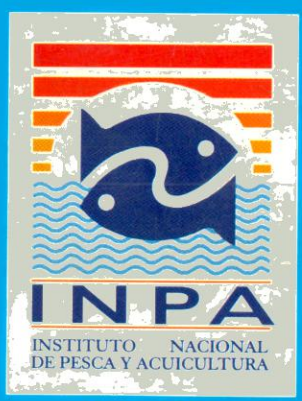
Los anexos 3.1. a 3.3. presentan los costos correspondientes a este paquete.

Costo del terreno (2 hectáreas)	**$ 12 000 000**
Construcción del área de cultivo:	
Batería de estanques (18000 m^3 de excavación mecánica)	24 900 000
Bocatoma, filtro y sedimentador	250 000
Laguna de oxidación (520 m^3 de excavación mecánica)	795 000
Acequia (100 metros en concreto a $ 25 000 /m)	2 500 000
Costo total de la infraestructura de cultivo	$ 28 445 000
Equipos:	
Aparejos de pesca, balanza, cuchillos, baldes, entre otros =	3 000 000
Equipo de conservación en frío (planta de hielo) =	4 000 000
Total	$ 7 000 000
Sala de proceso y bodega:	
Caseta en cemento de 8 m x 10 m =	$ 10 000 000
Costos financieros y del ciclo de producción:	
Tasa de interés bancaria a noviembre de 2001 (DTF efectiva anual) =	12%
Alevinos =	$ 80
Alimento concentrado (precio promedio por kilo) =	$ 825
Remuneraciones (valor del jornal) =	$ 11 000
Ingresos:	
Producción mensual para la venta =	5 317 kilos
Precio de venta por kilo =	$ 3 400

4.5 CONCLUSIONES

- La Tasa Interna de Retorno (TIR) para los primeros cuatro años de ejecución del proyecto es del 18.32%. Para una segunda etapa se incrementa al 27.26%, pues no se requerirá invertir en infraestructura física.
- Las inversiones en infraestructura física, equipos y los costos operativos antes de la primera cosecha se recuperan al cabo de 21 meses de haber iniciado el proyecto, incluyendo la amortización a capital, cuyo valor se calcula desde el mes 6, es decir desde cuando comienzan a obtenerse ingresos por ventas.
- En el montaje del proyecto se precisan $ 97 340 102, para la adquisición del terreno, la construcción de la infraestructura de cultivo, sala de proceso, equipos, materiales y costos financieros durante los primeros seis meses, es decir, antes de la primera cosecha.
- Durante los primeros cuatro años, las utilidades promedio son de $ 5 782 114 mensuales, contados a partir del mes 6 del año 1.
- La rentabilidad del proyecto es susceptible de mejorar en la medida en que se optimicen los parámetros técnicos y económicos. Si el productor cuenta con el terreno, las inversiones se reducirían en $ 12 000 000 y las utilidades serían del 19.93% en los primeros cuatro años.

Biblioteca Agropecuaria
de Colombia - BAC
010100021701



1991 - 2001