

740

MEJORAMIENTO GENÉTICO APLICADO A LA PISCICULTURA COMERCIAL

PRINCIPIOS Y RECOMENDACIONES

FERNANDO GALLEGO A. - GENETISTA -



COLCIENCIAS



UDCA

25301

62923

MEJORAMIENTO GENÉTICO APLICADO A LA PISCICULTURA COMERCIAL



PRINCIPIOS Y RECOMENDACIONES

REALIZADO POR:
FERNANDO GALLEGO ALARCON⁽¹⁾

FINANCIADO POR U.D.C.A Y COLCIENCIAS⁽²⁾

BOGOTÁ, D.C. 2.000

(1) Zootecnista, Genetista, Docente Investigador Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. - E.mail: dfgallego@hotmail.com

(2) Programa Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar.

CONTENIDO



Pág.

PRESENTACIÓN

INTRODUCCIÓN

1.	GENÉTICA DE POBLACIONES	1
2.	MEJORA GENÉTICA	2
	2.1 SELECCIÓN	3
	2.2 METODOLOGÍA RECOMENDADA PARA REALIZAR SELECCIÓN MASAL	6
	2.3 SELECCIÓN FAMILIAR	8
3.	SISTEMAS DE APAREAMIENTO	10
	3.1 HIBRIDACIÓN EN ACUICULTURA	10
	3.2 CRUZAMIENTOS	11
4.	TRONCOS DE APAREAMIENTO	12
5.	BIBLIOGRAFÍA	

PRESENTACIÓN

Esta cartilla se elaboró gracias al apoyo de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. y al Programa de Ciencia y Tecnología del Mar de Colciencias, quienes financiaron el proyecto de investigación "Evaluación de la Selección y de los Cruzamientos en Tilapia Roja" proyecto que contó con la importante colaboración del Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA). Los resultados alcanzados y la revisión bibliográfica realizada, como también las experiencias de investigadores y centros de acuicultura nos permitieron desarrollar y entregar este documento donde se resumen algunos principios y recomendaciones que de ser puestos metódicamente en práctica deben incrementar la productividad de la industria piscícola.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de organismos acuáticos tiene muchos elementos en común con la agricultura, sin embargo la industria acuícola ha subestimado algunas tecnologías importantes desarrolladas para otros animales domésticos, una de ellas es el mejoramiento genético, la producción pecuaria y agrícola se ha fundamentado en variedades mejoradas y altamente productivas, "actualmente no es posible la producción animal basada en especies silvestres no mejoradas, sin embargo un segmento de la industria acuícola continúa haciendo exactamente esto". En Colombia durante los últimos años el subsector acuícola presenta dentro del sector pecuario los mayores índices de crecimiento, representados por la expansión de cultivos de camarón, tilapia roja, trucha, cachama y algunas especies nativas. Aunque se ha logrado un buen avance en los sistemas de alimentación y cultivo, el mejoramiento genético no hace parte en la mayoría de los casos de las actividades o tecnologías de la acuicultura nacional.

Este documento tiene como principal objetivo presentar algunas metodologías de mejoramiento genético en piscicultura que han demostrado sus beneficios en Colombia y otros países, además de dar algunas recomendaciones a aquellas personas que se interesen en aplicar los principios de la Genética Cuantitativa para mejorar sus niveles de producción.

1. GENÉTICA DE POBLACIONES

Los bancos de reproductores pueden ser de tipo abierto o cerrado. En los de tipo abierto hay intercambios periódicos de reproductores - renovación de sangre - con otras fincas. En una población cerrada los reemplazos de los reproductores se obtienen dentro de ella haciendo selección, sin traer individuos o genes de otras poblaciones (no hay efectos inmigrantes), por lo cual pueden presentar niveles de consanguinidad perjudiciales.

La consanguinidad incrementa la frecuencia de genes nocivos apareciendo defectos morfológicos, cuando se manifiesta sobre caracteres cuantitativos (de producción) hay pérdida de fertilidad y natalidad, se incrementa la mortalidad y hay reducción en el crecimiento.

El tamaño de una población se conoce como su número efectivo (N_e) y representa la cantidad de variabilidad genética en la población, a partir de la cual se puede realizar mejoramiento genético. A sí mismo permite cuantificar la consanguinidad presente en la población.

El número efectivo se puede calcular de acuerdo a la siguiente fórmula
$$N_e = 4 N_m \times N_h / N_m + N_h$$

Donde: N_m = Número de machos y N_h = Número de Hembras.

La disminución del N_e está asociado a la pérdida de variación genética conllevando un incremento en los valores de consanguinidad. Cuando el N_e es crítico (igual o menor a 50) existe el riesgo de pérdida no sólo de genes simples o combinación de ellos sino de la misma población. En este aspecto, tanto la consanguinidad como la deriva genica son fenómenos causales que conducen a embotellamientos genéticos y a efectos fundadores.

En las poblaciones cerradas y con especies de alta fecundidad como los peces, se recomienda establecer bancos de reproductores cuyo número efectivo no sea menor a 100 y además que no exista parentesco entre ellos, recomendación que igualmente debe tenerse en cuenta para los programas de repoblamiento.

2. MEJORA GENÉTICA

Los caracteres de interés productivo en peces tales como la tasa de crecimiento (ganancia de peso), el rendimiento en canal, la maduración sexual, resistencia a enfermedades y la fecundidad son controlados por muchos genes con efectos aditivos, ocasionando variación genética y fenotípica dentro de las poblaciones; un alto grado de variabilidad es favorable ya que proporciona el material para trabajar en selección, la cantidad de varianza genética que es heredable y que es responsable de la variación fenotípica se conoce como heredabilidad. La tabla No. 1 presenta algunas estimaciones realizadas en peces durante la década de los ochenta.

TABLA No.1 INDICES DE HERENCIA DE LA GANANCIA DE PESO EN DIFERENTES ESPECIES PISCÍCOLAS

ESPECIES-RASGO	H ²	AUTOR
TILAPIA ÁUREA	0.38 +/-0.08	Bondari y col.
MOSSAMBICA	0.12 a 0.76	Chang.
NILOTICÁ	0.36 +/-001	Tave y Smitherman
TILAPIA ROJA	0.34 +/-008	Bondari
TRUCHA	0.18	Gjerde
CARPA	0.30	Moav.
PEZ GATO	0.34	Tucker

Al aumentar la tasa de crecimiento se disminuye el tiempo de cosecha o edad al sacrificio, con lo cual el Piscicultor mejora su eficiencia productiva obteniendo mayores ingresos, así mismo al incrementar la ganancia de peso se pueden mejorar simultáneamente otros caracteres, algunas investigaciones han mostrado que los peces de mayor crecimiento consumen menos alimento por unidad de ganancia de peso (conversión alimenticia) y también presentan mayor resistencia a las enfermedades.

En salmón, carpa, camarón, catfish, truchas, ostras y tilapias ha sido evaluada su varianza genotípica en caracteres de interés económico, amplias variaciones se han encontrado y el conocimiento actual de sus parámetros fenotípicos y genotípicos es suficiente para iniciar programas genéticos.

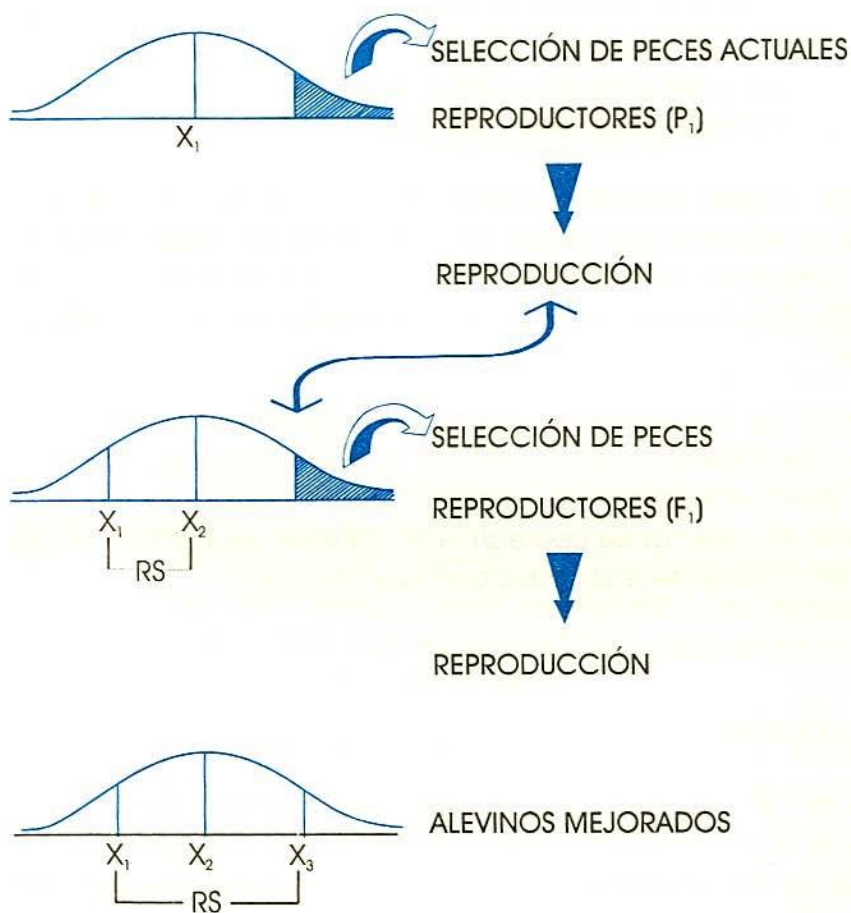
Los sistemas de mejoramiento genético comprenden: los métodos de selección y los sistemas de apareamiento. La selección es una metodología utilizada para escoger a los reproductores y padres de la siguiente generación; los sistemas de apareamiento consisten en la forma en que se reproducen o aparean los reproductores seleccionados.

2.1. SELECCIÓN

La selección es una técnica cuya aplicación modifica la composición genética de una población con respecto a unos o varios caracteres de tal forma que los valores promedios de éstos vayan cambiando en el sentido deseado. Su fundamento consiste en escoger como reproductores exclusivamente a los individuos sobresalientes de la población en el o los caracteres seleccionados.

El efecto obtenido es llamado progreso genético o respuesta a la selección y puede observarse si se comparan las distribuciones y promedios para un carácter cuantitativo de dos generaciones consecutivas donde la segunda corresponde exclusivamente a los hijos de los individuos seleccionados. (Ver Diagrama No. 1).

DIAGRAMA No. 1 GANANCIA GENÉTICA OBTENIDA EN 2 GENERACIONES DE SELECCIÓN



X_1 = Promedio de la población inicial sin seleccionar.

X_2 = Promedio de la descendencia de los individuos seleccionados en P_1

X_3 = Promedio de la descendencia de los individuos seleccionados en F_1

RS = Respuesta a la selección o ganancia genética

En la Tabla No. 2 se encuentran algunos resultados alcanzados durante los últimos años al realizar selección en varias especies acuícolas, y representan el incremento en la ganancia de peso (en porcentaje) con relación a especies no mejoradas genéticamente.

Realizando selección masal por peso en Tilapia Roja en la estación del Alto Magdalena (INPA) los peces seleccionados superaron a los no seleccionados en 85,0 gramos, demostrando los beneficios de esta técnica.

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.

Los caracteres que se van a incluir en un programa de selección deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Tener importancia económica
- Debe existir variabilidad en la población
- Poseer heredabilidades mayores a 0.20
- Ser medibles fácilmente y con precisión
- Deben ser objetivos y no subjetivos
- Los individuos deben ser contemporáneos

**TABLA No. 2 RESPUESTA A LA SELECCIÓN EN ALGUNAS
ESPECIES ICTICAS**

ESPECIES	R.S.%	No. GENERACIONES
CATFISH	20	1
SALMÓN	10 -14	1
-	23	1
TILAPIA	15	2
-	23	1
-	14 -17	3
CAMARÓN	4.4	1

Fuente: Rye, M. 1998-

Los métodos de selección se dividen en selección masal o individual, en la cual se escoge de un grupo grande de peces contemporáneos un porcentaje de los mejores individuos en el carácter objeto de selección y en selección familiar donde de varias familias se escogen las mejores.

Los porcentajes de retención o de selección más recomendados oscilan entre el 10 y 20 %. En machos no es recomendable hacer retención por debajo del 5%.

Así mismo las condiciones en que se realiza la selección deben ser lo más parecidas a las de los cultivos comerciales.

2.2 METODOLOGÍA RECOMENDADA PARA REALIZAR SELECCIÓN MASAL, ETAPAS:

1. 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 las relaciones macho: hembra utilizadas en la finca; cada grupo o cohorte se reproduce en estanques por separado.

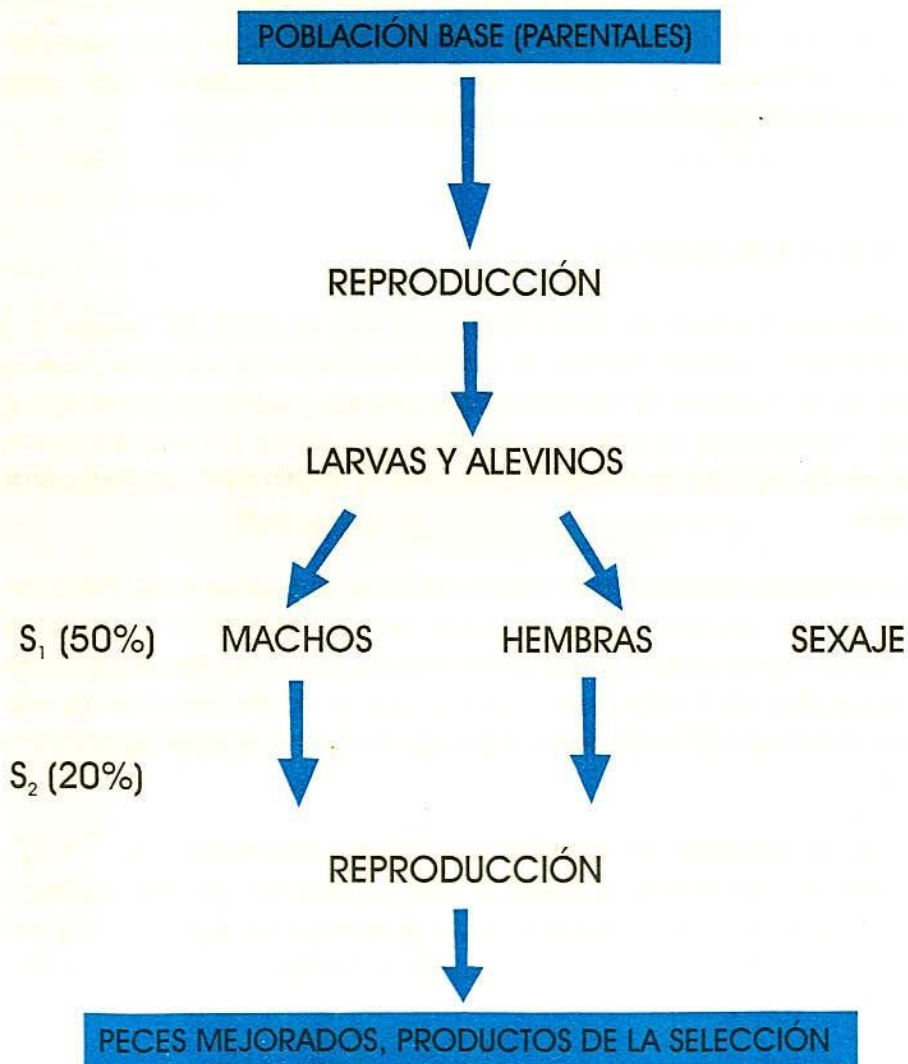
2. En cada cohorte se recolectan larvas contemporáneas de más o menos un día de diferencia; las etapas de alevinaje y preengorde debe realizarse bajo condiciones comerciales.

3. Durante el sexaje y separación de machos y hembras realizar la primera selección (tanto en machos como en hembras) por peso.

4. Posteriormente se debe realizar selección para el segundo carácter en machos y 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.

DIAGRAMA No.2 ESQUEMA DE LA SELECCIÓN MASAL PARA 2 CARACTERES SIMULTÁNEOS



Intensidad final de selección = 10%

S_1 = Primer carácter seleccionados = Tasa de crecimiento

S_2 = Segundo carácter seleccionado = Altura o color o longitud cefálica

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.

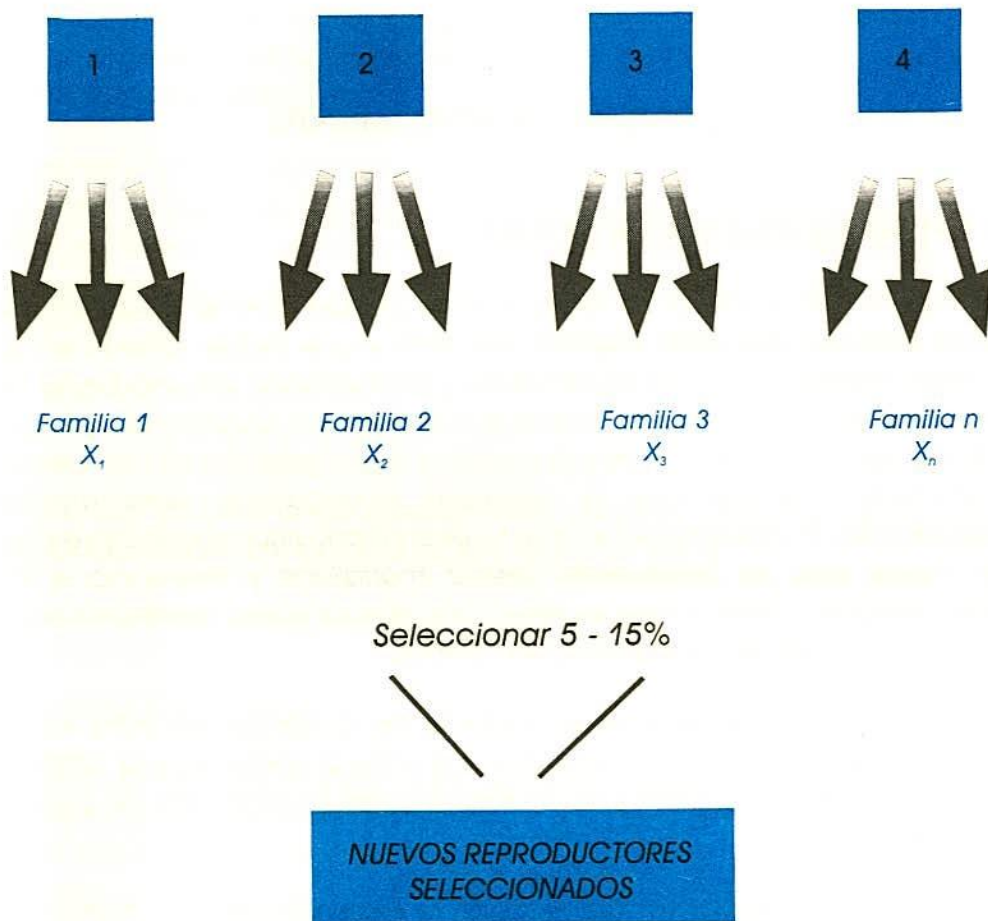
2.3 SELECCIÓN FAMILIAR

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 posteviscerado o en filete.

Se recomienda probar por lo menos 45 parejas o grupos de 1 macho y 2 hembras, los descendientes de cada pareja (hermanos completos y/o medios hermanos paternos) son considerados como una familia, ellos deben ser separados en 3 estanques o jaulas, con el fin de disminuir los efectos ambientales, el promedio de los 3 grupos de hijos o replicas es el promedio familiar.

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. Si se desea mayor ganancia genética se deben seleccionar los mejores hijos de las mejores familias (Selección intra familiar).

DIAGRAMA No. 3 ESQUEMA DE SELECCIÓN FAMILIAR



$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n = \text{Promedios Familiares}$

Al conservar como reproductores a los padres o parejas iniciales se estarían realizando pruebas de progenie que serían prácticas cuando la vida útil de los reproductores es prolongada como en el caso de salmonidos y cachamas principalmente.

3. SISTEMAS DE APAREAMIENTO

3.1. HIBRIDACIÓN EN ACUICULTURA

En organismos acuáticos es técnicamente posible obtener cruzamientos entre especies que están alejadas del filum y que incluso difieren en su número cromosómico. Los cruzamientos y la hibridación 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 diferentes estudios se ha encontrado vigor híbrido expresado en mayor tasa de crecimiento, menor mortalidad y resistencia a las enfermedades. Varios autores sugieren a los híbridos como candidatos para la acuicultura comercial en estanques de tierra.

*La Tilapia Roja igualmente es el producto de la hibridación entre varias especies del género *Oreochromis*. El cruce entre *O. hornorum* y *O. niloticus* produce 100% de machos y es un sistema para la obtención de cultivos monosexos.*

Algunos estudios en Salmonidos reportan la existencia de vigor híbrido en resistencia a las enfermedades y en tolerancia al calor. Los híbridos entre dos estirpes de truchas arcoiris lograron mayor peso a los 2 años y mayor número de huevos.

Es importante tener en cuenta que se han reportado en peces una gran cantidad de híbridos fértiles, por lo cual cuando ellos se vayan a reproducir en forma deliberada o experimentalmente, hay que hacerlo bajo sistemas

de contención o de bioseguridad y donde el producto final, el híbrido, se comercializa sacrificado o garantizando su infertilidad. Si esto no se hace entonces estos híbridos fértiles (una nueva especie), se pueden reproducir con otras especies afines ocasionando erosión y contaminación genética al desplazar a las especies nativas de su habitat además de procrear nuevos híbridos.

3.2 CRUZAMIENTOS

Se aplica al apareamiento de individuos menos emparentados entre si que el promedio de la población a la que pertenecen, los más comunes son los cruzamientos entre razas, variedades y líneas, cuyo principal objetivo es el aprovechamiento económico del llamado vigor híbrido. La consanguinidad es en cierto sentido una imagen especular de los cruzamientos o exocría, los cuales son favorables al vigor y fertilidad de la progenie.

Las ventajas de los cruzamientos en los programas de cría animal incluyen la heterosis y el uso de las diferencias entre razas o líneas (complementación y optimización del mérito genético promedio). Los cruzamientos pueden conducir a heterosis benéfica al utilizar las diferencias entre las líneas parentales disponibles y su contribución al mérito general de los animales cruzados.

En los sistemas permanentes de cruzamiento se pueden obtener beneficios aún cuando los caracteres de interés muestren una acción puramente aditiva si se logra la interacción de dos rasgos en un mismo individuo.

Se propone que si una estirpe (A) es eficiente en ganancia de peso, 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.

La utilización de las diferencias genéticas entre poblaciones en un programa de mejoramiento puede comprender:

- Elegir la mejor población dentro de un contexto productivo sustituyendo por medio de cruces absorbentes los recursos locales por otros de alta productividad.

- Utilizar algunas poblaciones que se mantienen en estirpe cerrada buscando vigor híbrido a través del cruzamiento entre ellas, el producto F1 tiene objetivos comerciales.

- Intentar combinar dentro de una población características de varias, creando líneas o poblaciones sintéticas.

Realizando cruzamientos entre líneas de Tilapia se han encontrado vigor híbrido para la tasa de crecimiento, así mismo los grupos que presentaron mayor ganancia de peso mostraron el menor porcentaje de mortalidad. En cruces entre líneas de bagre del canal, los efectos del cruzamiento fueron importantes sobre la maduración sexual, fecundidad y ganancia de peso.

En la Estación de Repelón los individuos cruzados entre líneas de Tilapia Roja, presentaron menor mortalidad y mayor fecundidad que sus líneas parentales puras.

En carpa se observó mayor tasa de crecimiento en los individuos cruzados que en los parentales puros.

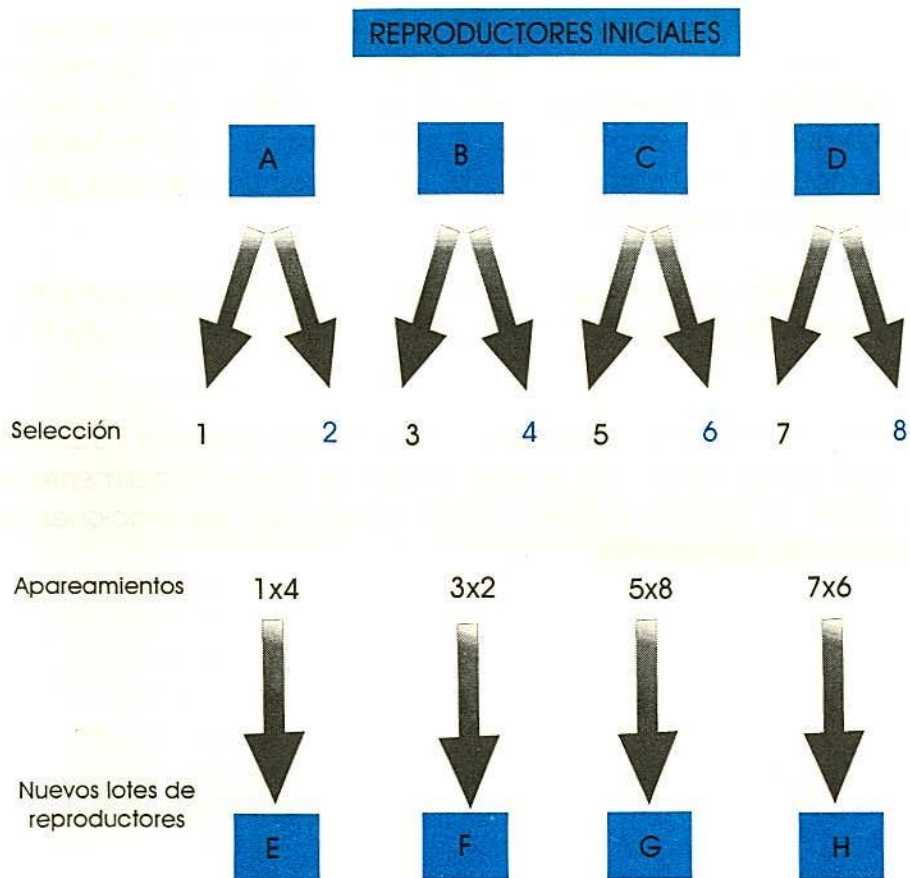
4. TRONCOS DE APAREAMIENTO

Es un sistema utilizado para obtener los reemplazos de los parentales y controlar la consanguinidad, a su vez permite realizar selección para caracteres diferentes en cada tronco o lote, conservando variabilidad genética.

Para establecer los troncos o lotes de apareamiento hay que dividir al total de los reproductores en varios grupos, cada uno de ellos es llamado un tronco, los hijos seleccionados de cada tronco se aparean con los de otro tronco, constituyéndose en el reemplazo de uno de los lotes originales.

El diagrama No. 4 ilustra en forma de ejemplo la manera de obtener los nuevos reproductores a partir de troncos de apareamiento.

DIAGRAMA No.4
SISTEMA DE APAREAMIENTO EN TRONCOS PARA
PRODUCIR EL REEMPLAZO DE LOS REPRODUCTORES



1,3,5 y 7 son machos seleccionados
2,4,6 y 8 son hembras seleccionadas

Si suponemos un total de reproductores de 600, de los cuales 450 son hembras y 150 son machos (en relación de machos a hembras 1:3) una forma para obtener un nuevo grupo de reproductores puede ser la siguiente:

Se dividen aleatoriamente en 4 lotes A, B, C y D, de 150 hembras y 50 machos cada uno, se reproducen por separado y en su descendencia se realiza selección masal para diferentes caracteres en cada lote, los machos seleccionados del lote A se agrupan con las hembras seleccionadas del lote B, las hembras de A con los machos de B, los machos de C con las hembras de D y los machos de D con las hembras de C, cada uno de estos grupos reemplazan a los reproductores originales.

Para la producción de la otra generación de reproductores se aparean los machos y hembras del lote E con las hembras y machos del G y los del F con los del H.

Este procedimiento puede realizarse en diferentes épocas para cada lote; entre mayor sea el número de grupos en que se dividen inicialmente los reproductores se podrán obtener mayor número de generaciones de reemplazo sin consanguinidad.

5. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

BENTSEN, H.B. y Col. *Genetic Improvement of Farmed Tilapias: Growth Performance in a Complete Diallel Cross Experiment With Eight Strains of Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 1998.

BODO, I. *Principles in Use of Live Animals*. *Animal Research Papers*. F.A.O. Roma, 1994

CAICYT, *Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica*. *Genética en Acuicultura*. Madrid, 1987.

CARDELLINO R. y J. ROVIRA. *Mejoramiento Genético Animal*. *Hemisferio Sur*. 1990.

COOK, L.M. *Genética de Poblaciones*. Omega. Barcelona, 1993.

CRANDELL P. y G. GALL. *The Effect of Sex on Heretability Estimatives of Body Weigh Determined From Data on Individually Tagged Rainbow Trout*. *Aquaculture* 13. 1993.

DOYLE, E. y A. TALBOT. *Effective Population Size and Selection in Variable Aquaculture Stocks*. *Aquaculture* 57, 1986.

DUNHAM, M. y R. SMITHERMAN. *Research Methods Used in Tilapia Identification and genetic Research*. *Sesion III Iclarm*. Manila, Phillipine, 1984.

FALCONER, D.S. *Introduction to the Quantitative Genetics*. Longman. Harlow.UK, 1996.

F.A.O. *Consulta de Expertos Sobre utilización y Conservación de Recursos Genéticos Acuáticos*. *Informe de Pesca No. 491*. Italia. Nov, 1992.

GALL, G. y C.BUSACK. *Genetics in Aquaculture*. Elsevier, 1985.

GJEDREM, TYRGUE. *Selective Breeding*. *World of Aquaculture*. March, 1997

KOCHER, T. *Introduction to the Genetics of Tilapia*. University of New Hampshire, Conference Proceedings. Massachusetts, 1998.

GALLEGO, F. *Evaluación de la Selección y de los cruzamientos entre líneas de Tilapia Roja*. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencia Animal. Universidad Agraria de la Habana. Sin publicar, 2000.

LOPEZ, F. y M. TORO. *Mejora Genética de Peces y Moluscos*. Mundiprensa España, 1990.

LUTZ, G. *Dominance Genetic Variance: Inbreeding and Heterosis*. *Aquaculture Magazine*. Nov-Dec, 1998.

- - - - *What do You Get When You Cross*. *Colors in Tilapia*, *Aquaculture Magazine*. May-June, 1997.

MEZZADRA, C. *Niveles de Amenaza y tamaño de Poblaciones Animales*. INTA, Facultad de CS Agrarias. UNMdP. Argentina, 1998.

PEREZ, J. *Mejoramiento Genético en Acuicultura*. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente, 1996.

RYE, M. *Selección en Especies Acuícolas*. Seminario de Camaricultura Sostenible. Ceniagua Cartagena, Colombia. Memorias, 1998.

SÁNCHEZ, T y PONCE de LEÓN. *Metodología de selección de Reproductores de Tilapia*. (Pruebas de Alevinaje) VII Congreso Latinoamericano de Genética. La Habana Cuba, 1988.

TAVE, D. *Genetics and Breeding of Tilapia. A Review*. The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture Bangkok. Thailand, 1987.

---- *Cria Selectiva para Piscifactorias de Tamaño medio*. F.A.O. Documento Técnico de Pesca. Roma, 1996.

TUCKER, G y H. ROBINSON. *Channel Catfish Farming Handbook*. Mississippi State University. New York, 1990.



UDCA

PROGRAMAS DE PREGRADO

- * Medicina Veterinaria
- * Zootecnia
- * Medicina Veterinaria y Zootecnia
- * Ingeniería Agronómica
- * Medicina
- * Enfermería
- * Ingeniería Comercial
- * Ciencias del Deporte
- * Ingeniería Geográfica
- * Química Industrial
- * Farmacia Industrial

PROGRAMAS DE POSGRADOS

- * Sanidad Animal
- * Laboratorio Clínico Veterinario
- * Genética y Mejoramiento Animal
- * Gerencia en Nutrición Animal Aplicada
- * Producción Animal
- * Manejo de Suelos para la Producción Agropecuaria
- * Educación y Manejo Ambiental
- * Reproducción Bovina Tropical y Transferencia de Embriones
- * Gerencia Informática de Empresas
- * Cultura Física Terapéutica
- * Gestión y Fomento del Deporte
- * Biometodología del Entrenamiento Deportivo
- * Gestión Informática de Empresas

UNIV. DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES - U.D.C.A.

Campus Universitario. Calle 222 N° 54 - 25 Tel: 6762250 - 676 1432 - 6761434-
676 2667

PBX: 676 1258 Fax: 676 1132

Sede Teusaquillo: Avenida 40 N° 17 - 74 Tel: 245 7551/245 1708/3380313

Apartado Aéreo: 34204 - Correo Electrónico: udca@impsat.net.co

Página Web: www.udca.edu.co

Bogotá D.C. Colombia