

Capítulo X. MEJORAMIENTO GENÉTICO EN ACUICULTURA

Fernando Callego 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 escasa. 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 poiquiloterms como los peces, en comparación con los animales homeoterms, 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 requisito 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 transmite 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 icticas

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 más 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-viscerado 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).

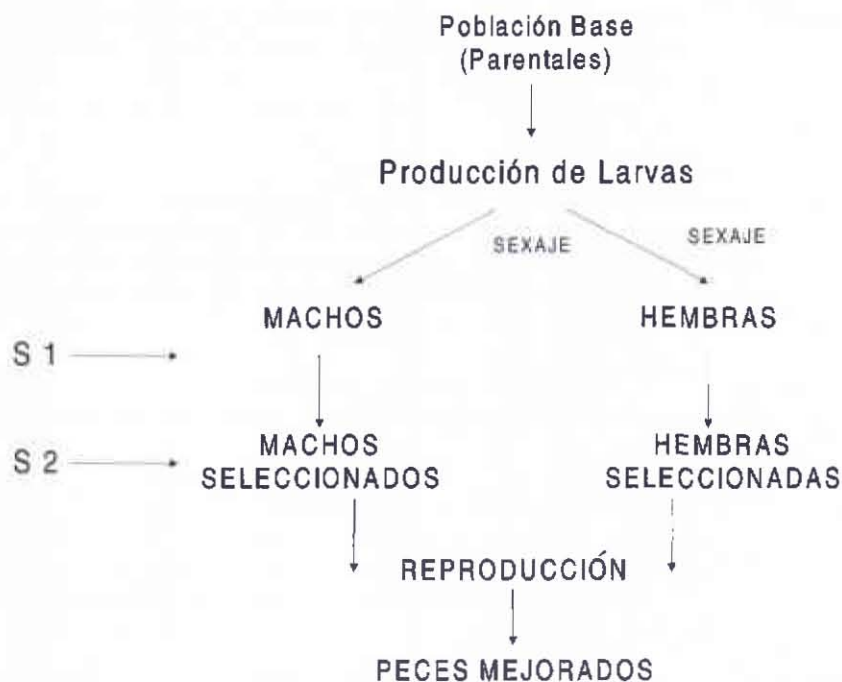


FIGURA 1. Esquema de un programa de selección masal

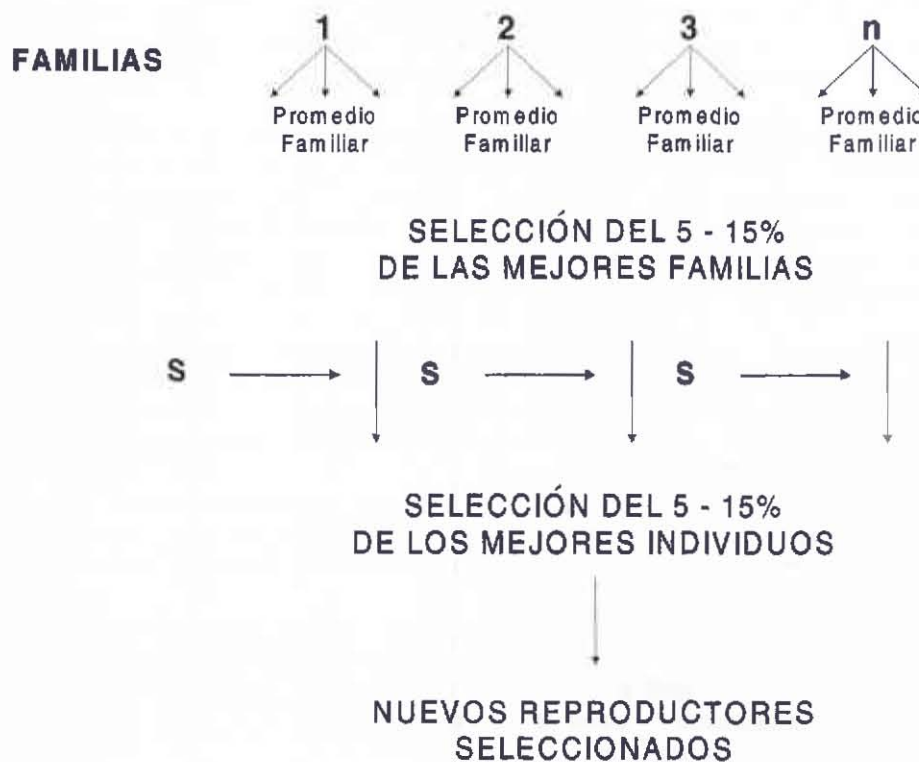


FIGURA 2. Esquema de un programa de selección familiar

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 (*Oncorhynchus 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.

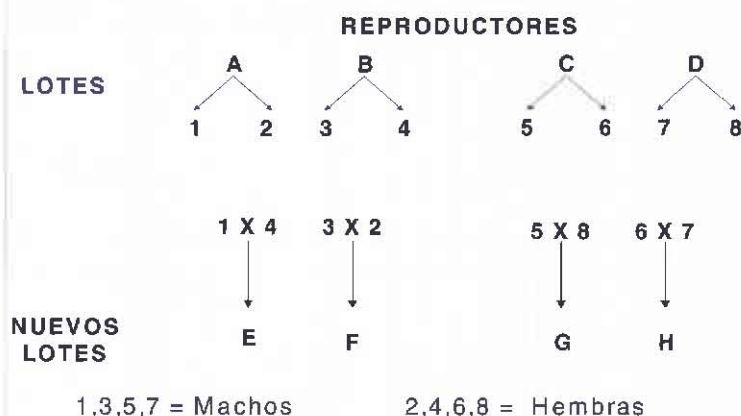


FIGURA 3. Troncos de apareamiento

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*. FA.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 líneas 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 Resources with 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. *Acuicultura, Principios y prácticas*. Limusa. México. Hemisferio Sur.
- RYE, M. 1998. *Selección en Especies Acuícolas*. Seminario de Camaricultura Sostenible. Ceniagua. 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. KUHLEERS. 1990. Estimatives of Additive Genetic Effects, Maternal Genetic Effects, 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.