ITEA (1996), Vol. 92A N.º 3, 177-184

PROGRAMAS DE SELECCIÓN APLICADOS EN PECES

J. M. Alfonso López

Facultad de Veterinaria
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

RESUMEN

Se presenta una visión aplicada de la selección en peces considerando los principales objetivos de mejora para las especies más relevantes en acuicultura, sus problemas prácticos, las estimas de parámetros genéticos, así como los métodos de selección y sus resultados.

SUMMARY

It is shown an applicated version about the improvement through selection of farmed fish considering the main breeding objetives, their practical problems, the estimation of genetic parameters, as the selection methods and their results.

Introducción

Actualmente son cultivadas con fines comerciales diversas especies, tanto marinas como de agua dulce, de las que cinco son destacables por sus niveles de producción así como por el establecimiento de programas de mejora: la carpa común (*Cyprinus carpio L.*), la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), el salmón atlántico (*Salmo salar*), la tilapia (*Oreochromis niloticus*) y el pez gato (*Ictalurus punctatus*).

La explotación de la diversidad mediante estaciones de cría y empresas productoras y de engorde de alevines presenta diferencias en sus propósitos, en sus esquemas de mejora y en sus sistemas de crianza, no sólo entre especies sino también dentro de especies. A pesar de lo cual pueden establecerse los siguientes caracteres de interés común: la tasa de crecimiento, la eficiencia en la conversión del alimento, la resistencia a enfermedades, la tasa de supervivencia, la calidad de la carne, la edad a la madurez sexual, la tolerancia a la salinidad y la fecundidad. Sólo los tres primeros son los más estables en el tiempo y sentir común de la industria piscícola, siendo la calidad de la carne el menos estable tanto por la ambigüedad de su cuantificación como por los cambios en las preferencias de los consumidores.

Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento es uno de los caracteres más relevantes en acuicultura, medida mediante el peso o la longitud a una determinada edad. Presenta unos coeficientes de variación considerables, con unas heredabilidades que habitualmente se caracterizan por la imprecisión de sus estimas (Tabla-I), lo que denota la falta de diseño

experimental. Además, muestra apreciable variación genética no aditiva (MOAV y WOHLFARTH, 1976; REFSTIE y STEINE, 1978; KIRPICHINIKOV *et al.*, 1993; HULATA, 1995).

El principal problema que plantea la selección para el peso es que los peces una vez nacidos no pueden ser marcados individualmente hasta que no alcanzan una cierta talla (sobre los 20 gramos), lo que implica que las familias han de ser conservadas en tanques separados hasta dicho estado. Es precisamente en el núcleo familiar donde se produce una asimetría positiva para el peso del cuerpo (NAKAMURA y KASAHARA, 1955; MOAV y WOHLFARTH, 1973; REFSTIE y GJEDREM, 1975; GUNNES, 1976; KNUTSSON y GRAV, 1976; DOYLE y TALBOT, 1986; GALL y HUANG, 1988), como consecuencia de factores sociales esencialmente ambientales (NAKANISHI y ONOZATO, 1987), y que puede magnificarse debido a la competición (MOAV y WOHLFARTH, 1974). A pesar de que la asimetría tiende a diluirse con el crecimiento (GALL y HUANG, 1988), su contribución persiste durante el desarrollo hasta el peso final (MOAV y WOHLFARTH, 1974; BRZESKI y DOYLE, 1995).

Entre los métodos de selección utilizados están la selección individual, la selección familiar, la selección intrafamiliar y la selección combinada. La selección individual (masal) es el método más ampliamente usado (Tabla-II), a pesar de presentar una respuesta por generación inferior a la familiar para heredabilidades bajas, y de que los individuos con mayor tasa de crecimiento (más agresivos) serán seleccionados cuando se realiza una selección distinta a la familiar (LÓPEZ-FANJÚL y TORO, 1990). Así, el experimento más sistemático que se ha realizado con la tasa de crecimiento ha sido el estudio de MOAV y WOHLFARTH (1976) en carpa común europea, donde después de seleccionar masalmente durante cinco generaciones

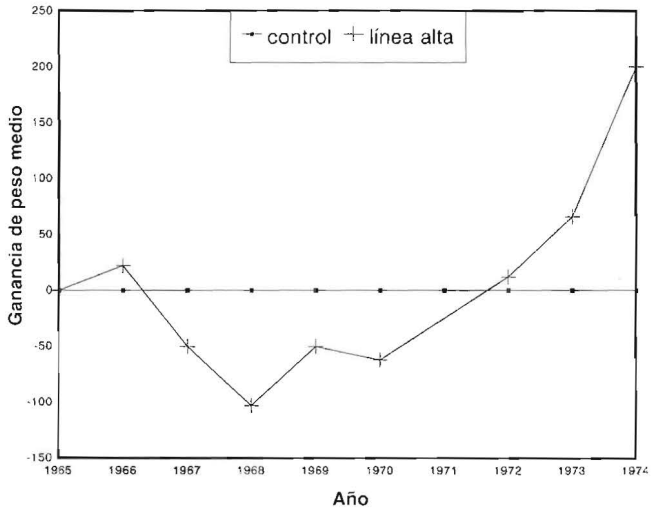


Figura 1. Ganancia de peso medio estandarizado en la línea alta de selección

TABLA I
ESTIMAS DE PARÁMETROS GENÉTICOS Y FENOTÍPICOS DEL PESO DEL CUERPO

ESPECIE Carácter	FUENTE Media	C.V.	h^2±E.T.	Autores
TRUCHA ARCO IRIS	Gjedrem (1992)			
120 días (g)	2,6	56	0,52±0.15	Gall y Huang (1988)
150 días (g)	13,6	30	0.09±0,10	Aulstad *et al.* (1972)
280 días (g)	–	33	0,29±0,20	Aulstad *et al.* (1972)
1 año (g)	154,0	23	0.20±0,12	Gall y Huang (1988)
2 años (k)	1,5	27	0,18±0,12	Gall y Huang (1988)
2,5 años (k)	2,4	30	0.21±0,10	Gjerde (1981)
4 años (k)	–	–	0.27±0,20	Mckay *et al.* (1986)
SALMÓN ATLÁNTICO	Kinghorn (1983a) con modificaciones			
190 días (g)	7,8	76	0.08	Refstie y Steine (1978)
12 meses (g)	616,0	29	0.30±0,06	Gjerde *et al.* (1994)
16 meses (k)	1,6	25	50.15±0,05	Gjerde *et al.* (1994)
24 meses (k)	3,4	30	0,10±0,05	Gjerde *et al.* (1994)
3,5 años (k)	5,7	25	0,44±0.11	Gjerde y Gjedrem (1983)
CARPA	Gjedrem (1983) con modificaciones			
Alevín	–	23	0,10±0,20	Kirpichnikov (1972)
4 meses	71,0	23	0,48	Nagy *et al.*(1980)
Ganancia-peso	–	–	0,3*	Moav y Wohlfarth (1976)
TILAPIA	Gjedrem (1983) con modificaciones			
90 días (g)	19,0	27	0,04±0,06	Tave y Smitherman (1980)
30 semanas-M**&H***	–	–	0.61&0.24	Velasco *et al.* (1995)
42 semanas-H (g)	116,0	32	–	Bondari (1980)
60 semanas-H (g)	363,0	21	–	Bondari (1980)
Desove	–	–	0,15±0,02	Ekna th *et al.* (1995)
PEZ GATO				
40 semanas (g)	179,4	45	0.1*	Bondari (1983)
450 días (g)	413,0	–	0.34±0.07*	Dunham y Smitherman (1983)

=Machos *=Hembras *=Realizada

sin éxito alguno (incluso obtienen depresión), deciden hacer selección familiar con notable respuesta a la selección (Figura-1).

Otro aspecto que se aprecia en los peces es el efecto de la domesticación sobre los valores fenotípicos. Así, en el experimento de DUNHAM y SMITHERMAN (1983) se observa un gradiente para el peso del cuerpo con el grado de domesticación, en tres stocks de pez gato (Río Grande=368 gr. con 2 generaciones-domesticación; Marion=413 gr. con 3-5 generaciones-domesticación; Kansas=459 gr. con 20 generaciones-domesticación). Similar tendencia es observada por JONASSON (1993) para el peso y la supervivencia entre stocks del año 88 de salmón atlántico en Islandia. En el peso, 11 gramos en domesticados desde 1960 frente a 7 gramos en salvajes. En la superviviencia, 77%

TABLA II
COMPARACIONES ENTRE EXPERIMENTOS DE SELECCIÓN

Proporción seleccionados	Generaciones selección	Método de selección	Respuesta al control (%)	Autores
10%	1	Masal	15	Dunham y Smitherman (1983)
19%	1	Fam + Int*	21	Bondari (1983)
30%	5	Masal	0	Moav y Wohlfarth (1976)
50%	2	Familiar	+200ue**	Moav y Wohlfarth (1976)
–	5	Masal	17,7 gr.	Sánchez *et al.* (1995)
5%	2	Masal	0	0Hulata *et al.* (1986)
10%	2	Masal	0	Hulata *et al.* (1986)
8%	1	Masal	0	Brzeski y Doyle (1995)
35%	2	Fam + Int	7	Schwark (1993)
46%	2	Fam + Int	27	Schwark (1993)
26%	1	Fam + Int	12	Schwark (1993)
49%	1	Fam + Int	8	Schwark (1993)

*= Familiar e Intrafamiliar **= unidades estándar

de supervivencia para domesticados desde 1960 frente a un 57% en salvajes.

Eficiencia de conversión del alimento

Es el carácter más importante ya que el pienso constituye la mayor parte del costo de producción en una empresa de engorde, debido al elevado precio del pienso por su alto contenido en proteínas de origen animal. Es difícil de cuantificar metodológicamente, al igual que de llevarlo a gran escala para incluirlo en un programa de mejora.

El único trabajo documentado se debe a KINGHORN (1983b) en trucha arco iris, que estima una heredabilidad de 0,03±0,10, una media de 1,2 y un coeficiente de variación del 8,3%. Así, su selección queda a expensas de la selección indirecta a través de la tasa de crecimiento (r_A=0,80±0,26).

Resistencia a enfermedades

Es un carácter complejo sobre el que se han realizado algunos trabajos con el fin de precisar su naturaleza genética para varios organismos patógenos, esencialmente *Aeromonas* (produce la forunculosis), *Vibrio anguillarum* (produce la vibriosis) y *Rhabdovirus carpio* (produce la hidropesía). Entre los caracteres de medición que se presuponen genéticamente correlacionados con la resistencia a enfermedades están; la mortalidad post-infección, la titulación de anticuerpos post-inmunización, la actividad hemolítica, la actividad de la lisozima, y los niveles de glucosa y cortisol en plasma post-estrés. En la tabla III se muestran algunas estimas de sus heredabilidades.

TABLA III
ESTIMAS DE HEREDABILIDADES

ESPECIE Carácter	Método	h2±E.T.	Autores	
SALMON ATLANTICO				
Mortalidad acumulada a la forunculosis		Infección	0,48±0,17	Gjedrem *et al.* (1991)
Mortalidad a los 7, 10 y 14 días a la forunculosis		Infección	0,32±0,06	Bailey *et al.* (1993)
Tasa de supervivencia a la vibriosis		Infección	0,11±0,06	Gjedrem y Aulstad (1974)
Cortisol a los 18-19 meses		Estrés de confinamiento	0,05±0,03	Fevolden *et al.* (1993)
Glucosa a los 18-19 meses		Estrés de confinamiento	0,03±0,11	Fevolden *et al.* (1993)
Actividad hemolítica		--	0,32±0,13	Roed *et al.* (1993)
CARPA				
Título de anticuerpos a 12 y 21 días		Inmunización antígeno *Aeromonas salmonicida*	0,37±0,36*	Wiegertjes *et al.* (1994)
TRUCHA ARCO IRIS				
Cortisol a 18-19 meses		Estrés de confinamiento	0,27±0,12	Fevolden *et al.* (1993)
Glucosa a los 18-19 meses		Estrés de confinamiento	0,07±0.04	Fevolden *et al.* (1993)
Actividad de la lisozima		--	0.27±0,12	Roed *et al.* (1993)

*= Realizada

Son escasos los experimentos de selección realizados. FEVOLDEN *et al.* (1992), valoraron las F2 de dos líneas de trucha arco iris que fueron seleccionadas mediante selección familiar para altos (H) y bajos (L) niveles de cortisol, previa producción de estrés mediante confinamiento (concentración de los peces en el tanque entre 30-120 minutos). Para ello, las F2 de ambas líneas fueron infectadas con *Aeromonas salmonicida* a la edad de 15 meses y con *Vibrio anguillarum* a la edad de 16 meses. Se encontraron mortalidades significativas entre líneas, siendo mayores en la H, 29% frente al 19% en la L, cuando se infectó con *Aeromonas salmonicida.* Lo contrario sucedió cuando se infectó con *Vibrio anguillarum* (63% en la L frente al 42% en la H). En la línea H, los pesos de los peces que murieron fueron inferiores a los que sobrevivieron a la forunculosis.

El experimento más largo ha sido realizado sobre tres estirpes de carpa (UR = Ukrainian-Ropsha, L = local de Krasnodar y R = Ropsha) por KIRPICHNIKOV *et al.* (1993), durante nueve generaciones de selección masal para supervivencia a los 2 años post-infección a la hidropesía. Encontraron diferencias en cuanto resistencia a la enfermedad entre las estirpes (mortalidad y síntomas de la enfermedad), donde la carpa UR fue la mejor. Además, compararon la supervivencia post-infección del cruce entre URxL (individuos de la 6ª y 7ª generación de selección, respectivamente) con controles, obteniendo unas supervivencias de aproximadamente el 90% frente a un 27% del control.

Tasa de supervivencia

Es otro carácter de naturaleza compleja, cuyas heredabilidades son pequeñas; un 5-20% para huevos de salmónidos con los ojos desarrollados (KANIS *et al.* 1976; JONASSON, 1993) y entre 1 y 14% para larvas también en salmónidos (KANIS *et al.* 1976). No se han realizado esfuerzos se selección en larvas debido al escaso valor de las mismas, la alta fecundidad de los peces y la diversidad de causas ambientales entre granjas y dentro de años.

Edad a la madurez sexual

Este es un carácter que tiene interés en especies donde la talla de comercialización es grande, como en los salmones, puesto que la madurez temprana merma la calidad de la carne y es menos demandada por el mercado. Por ejemplo, la diferencia de precio entre carnes de salmones maduros e inmaduros puede ser de 1,50 $ por libra de peso (O'FLYNN *et al.*, 1992). La heredabilidad para el porcentaje de inmaduros está entre 0,19-0,22 en el salmón atlántico, y las correlaciones genéticas de éste con el peso de la larva y la longitud de juveniles son de -0,06 y -0,17, respectivamente (O'FLYNN *et al.*, 1992). Así, poco esfuerzo se ha dedicado a la selección para la maduración tardía, por llevar a la vez a una más baja tasa de crecimiento. Las diferencias de pesos entre salmones maduros e inmaduros a 3'5, 4'5 y 5'5 años de edad está en 1, 2'7 y 6 kilos, respectivamente (GJERDE, 1984).

Otros caracteres

Entre otros caracteres están:

*) La fecundidad; al que se tiene poca consideración por las altas tasas reproductivas que presentan los peces. 1.000 huevos/kg de peso del cuerpo en salmónidos, 100.000 huevos/kg. en carpa común y Tilapia (GJEDREM, 1983), y 600.000 huevos/kg. en dorada.

*) Tolerancia a la salinidad: tiene alguna importancia en especies como tilapias, donde se están desarrollando animales de mejor palatabilidad y mejor permisividad a aguas salobres (J. Beardmore, comunicación personal).

*) La calidad de la canal; que no ha gozado de la importancia necesaria debido a su falta de definición.

Bibliografía

AULSTAD, D.., GJEDREM, T y SKJERVOLD, H. 1972. "Genetic and enviromental sources of variation in length and weight of rainbow trout (*Salmo gairdneri*)". *J.Fish Res.Board Can.*, 29:237-241.

BAILEY, J.K.., OLIVIER, G. y FRIARS, G.W. 1993. "Inheritance of Furunculosis Resistance in Atlantic Salmon". *Bull. Aquacul. Assoc. Canada*, 93(4):90-93.

BONDARI, K. 1980. "Cage performance and quality comparisons of tilapia and divergently selected channel catfish". *Proc. Annu. Conf. Southeast. Assoc.* Fish Wildl. Agencies, 34:88-98.

BONDARI, K. 1983. "Response to bidirectional selection for body weight in chanel catfish". *Aquaculture*, 33:73-81.

BRZESKI, V.J. y DOYLE, R.W. 1995."A test of an on-farm selection procedure for tilapia growth in Indonesia". *Aquaculture*, 137:219-230.

DOYLE, R.W. and TALBOT, A.J. 1986. ÷"Effective population size and selection in variable aquaculture stocks". *Aquaculture*, 57:27-35.

DUNHAM, R.A. y SMITHERMAN, R.O. 1983. "Response to selection and realized heritability for body weight in three strains of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, grown in in earthen ponds". *Aquaculture*, 33:89-96.

EKNATH, A.E.; REYES, R.A.; BOLIVAR, H.L.; DE-VERA, M.P.;DANTI G, J.C.; DIONISIO, E.E. y LONGALONG, F.M. 1995. "Genetic improvement of farmed tilapias: estimation of genetic variation and heritability for age and size at first spawnig in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)". *Aquaculture*, 137:279-280.

FEVOLDEN, S.E.; REFSTIE, T. y ROED, K.H. 1992."Disease resistance in rainbow trout (*Oncorhyncus mykiss*) selected for stress response". *Aquaculture*, 104:19-29.

FEVOLDEN, S.E.; REFSTIE, T. y GJERDE, B. 1993. "Genetic and phenotipic parameters for cortisol and glucose stress response in Atlantic salmon and rainbow trout". *Aquaculture*, 118:205-216.

GALL, G.A.E. y HUANG, N. 1988. "Heritability and Selection Schemes for Rainbow Trout: Body Weight". *Aquaculture*, 73:43-56.

GJEDREM, T. y AULSTAD, D. 1974. "Selection experiments with salmon. I". Differences in resistance to vibrio disease of salmon parr (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 3:51-59.

GJEDREM, T. 1983. "Genetic variation in quantitative traits and selective breeding in fish and shellfish". *Aquaculture*, 33:51-72.

GJEDREM, T.; SALTE, R. y GJOEN, H.M. 1991. "Genetic variation in susceptibility of Atlantic salmon to furunculosis". *Aquaculture*, 91:1-6.

GJEDREM, T. 1992. "Breeding plans for rainbow trout". *Aquaculture*,100:73-83.

GJERDE, B. 1981. "Genetic variation in production traits of Atlantic salmon and rainbow trout". 32nd Annu.Meet.European Association for Animal Production". 31 August-3 September 1981, Zagreb, Yugoslavia, Paper IV-15,7pp.

GJERDE, B. y GJEDREM, T. 1983. "Estimates of phenotypic and genetic parameters for carcass traits in Atlantic salmon and rainbow trout". *Aquaculture*, 36:97-110.

GJERDE, B. 1984. "Response to individual selection for age at sexual maturity in Atlantic salmon". *Aquaculture*, 38:229-240.

GJERDE, B.; SIMIANER, H. y REFSTIE, T. 1994. "Estimates of genetic and phenotypic parameters for body weight, growth rate and sexual maturity in Atlantic salmon". *Livestock Production Science*, 38:133-143.

GUNNES, K. 1976. "Efect of size grading young Atlantic salmon (*Salmo salar*) on subsequent growth". *Aquaculture*, 9:381-386.

HULATA, G.; WOHLFARTH, G.W. y HALEVY, A. 1986. "Mass Selection for Growth Rate in the Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)". *Aquaculture*, 57:177-184.

HULATA, G. 1995. "A review of genetic improvement of the common carp (*Cyprinus carpio L.*) and other cyprinids by crossbreeding, hybridization and selection. *Aquaculture*, 129:143-155.

JONASSON, J. 1993. "Selection experiments in salmon ranching. I ". Genetic and enviromental sources of variation in survival and growth in fresh water". *Aquaculture*, 109:225-236.

KANIS, E.; REFSTIE, T. y GJEDREM, T. 1976. "A genetic analysis of egg, alevin and fry mortality in salmon, sea trout and rainbow trout". *Aquaculture*, 8:259-268.

KINGHORN, B.P. 1983a. "A review of quantitative genetics in fish breeding". *Aquaculture*, 31:283- 304.

KINGHORH, B.P. 1983b. "Genetic variation in food conversion efficiency and growth in rainbow trout". *Aquaculture*, 32:141-155.

KIRPICHNIKOV, V.S. 1972. "Theory of fish selection. In: B.I. Cherfas (Editor), Genetics, selection and Hybridization of Fish. Academy of Sciences of the URRS". *Israel Program for Scientific Translations*, Jerusalem, 269.

KIRPICHNIKOV, V.S.; ILYASOV, J.I.; SHARI, L.A.; VIKHMAN, A.A.; GANCHENKO, M.V.; OSTASHEVSKY, A.L. SOMONOV, V.M.; TIKHONOV, G.F. y TJRIN, V.V. 1993. "Selection of Krasnodar common carp (*Cyprinus carpio L.*) for resistance to dropsy: principal results and prospects". *Aquaculture*, 111: 7-20.

KNUTSSON, S. y GRAV, T. 1976. "Sea water adaption in Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) at different experimental temperatures and photoperiods". *Aquaculture*, 8:169-187.

LÓPEZ-FANJÚL, C. y TORO, M.A. 1990. "Mejora genética de peces y moluscos". *Ediciones Mundi-Prensa*.

MCKAY, L.R.; IHSSEN, P.E. y FRIARS, G.W. 1986. "Genetic parameters of growth in rainbow trout, *Salmo gairdneri*, as a function of age and maturity". *Aquaculture*, 58:241-254.

MOAV, R. y WOHLFARTH, G. 1973." Carp breeding in Israel. In: Agricultural Genetics-Selected Topics". *Edited by R. Moav. J. Wiley*, New York.

MOAV, R. y WOHLFARTH, G. 1974. "Magnification through competition of genetc differences in yield capacity in carp". *Heredity*, 33:181-202.

MOAV, R. y WOHLFARTH, G. 1976. "Two-Way selection for growth rate in the common carp (*Cyprinus carpio L.*)". *Genetics*, 82:83-101.

NAGY, A.; CSANYI, V.; BAKOS, J. y HORVATH, L. 1980. "Development of a short-term laboratory system for the evaluation of carp growth in ponds". *Bamidgeh*, 32:6-15.

NAKAMURA, N. y KASAHARA, S. 1955." A study of the phenomenon of the tobi koi or shoot carp. I". On the earliest stage at which the shoot carp appears.*Bull.Jap.Soc.Sci.Fish.*; 21:73-76.

NAKANISHI, T. y ONOZATO, H. 1987. Variability in the growth of isogenic crucian carp *Carassius gibelio langsdorfii*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53:2099-2104.

O'FLYNN, G.; FRIARS, G.W.; BAILEY, J.K. y TERHUNE, J.M. 1992. "Development of a selection index to improve market value of cultured atlantic salmon (*Salmo salar*)". *Genome*, 35:304-310.

REFSTIE, T. y GJEDREM, T. 1975. "Hybrids between Salmonidae species". Hatchability and growth rate in the fresh water period. *Aquaculture*, 6:333-342.

REFSTIE, T. y STEINE, T.A. 1978. "Selection experiments with salmon. III". Genetic and enviromental sources of variation in length and weight of Atlanctic salmon in freshwater phase. *Aquaculture*, 14:221-234.

ROED, K.H.; FJALESTAD, K.; LARSEN, H.J. y MIDTHJEL, L. 1992. "Genetic variation in haemolytic activity in Atlantic salmon (*Salmo salar L.*)". *Journal of Fish Biology*, 40:379-750.

ROED, K.H.; LARSEN, H.J.S.; LINDER, R.D. y REFSTIE, T. 1993. "Genetic variation in lysozyme activity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)". *Aquaculture*, 109:237-244.

SÁNCHEZ, T.; PONCE DE LEÓN, R.; AGUILAR, M.; VAZQUEZ, J. y MCANDREW, B. 1995. "Response to selection and heritability for weight in *Oreochromis aureusp* Steindachner after five generations of selection". *Aquaculture*, 137: 271-284.

SCHWARK, G.H. 1993. "Selection experiments for improving "pan-size" body weight of rainbow trout (*Oncorhychus mykiss*). *Aquaculture*, 112:13-24.

TAVE, D. y SMITHERMAN, R.O. 1980. "Predicted response to selection for early growth in *Tilapia nilotica*". *Trans.Am.Fish Soc.* 109:439-445.

VELASCO, R.R.; JANAGAP, C.C.; DE-VERA, M.P.; AFAN, L.B.; REYES, R.A. y EKNATH, A.E. 1995. "Genetic improvement of farmed tilapias: estimation of heritability of body and carcass traits of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)". *Aquaculture*, 137:280.

WIEGERTJES, G.F.; STET, R.J.M. y VAN MUISWINKEL, W.B. 1994. "Divergent selection for antibody production in common carp (*Cyprinus carpio L.*) using gynogenesis". *Animal Genetics*, 25:251-257.