

## Estima de heredabilidades para caracteres de crecimiento y tamaño de órganos cardiorrespiratorios en salvelino (*Salvelinus alpinus*)

M.A. Montañez\*, R. Ginés\*,\*\*\*, A. Navarro\*, J.M. Afonso\*, H. Thorarensen\*\*

\* División de Acuicultura y Genética Marina. Instituto Universitario de Sanidad Animal y Seguridad Alimentaria. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Trasmontaña s/n, 35416 - Arucas, Spain.

\*\* Hólar University College, Hólum í Hjaltadal, 551 Sauðárkrókur, Iceland.

\*\*\* Autor a quien hay que dirigir la correspondencia: Tel.: 928451112; Fax.: 928451142; e-mail: rgines@dpac.ulpgc.es. Rafael Ginés Ruíz. División de Acuicultura y Genética Marina. Instituto Universitario de Sanidad Animal y Seguridad Alimentaria. C/. Trasmontaña s/n - 35416 - Arucas. Las Palmas - Spain.

### Resumen

En este estudio se estimaron las heredabilidades para caracteres de crecimiento a distintas edades y tamaño de órganos cardiovasculares al sacrificio, en salvelino (*Salvelinus alpinus*). Se utilizaron 1325 descendientes provenientes de 19 padres y 35 madres, a partir de dos estirpes (580 residentes y 745 anádromos), los cuales fueron cultivados bajo tres temperaturas distintas (479, 428 y 418 peces a 5°C, 10°C y 15°C, respectivamente). Se utilizó un modelo animal considerando como efectos fijos el tanque/temperatura, la maduración, el sexo y la estirpe. Las estimas de las heredabilidades fueron 0,54±0,07, 0,45±0,07, 0,36±0,06, 0,31±0,05 para el peso a la edades de 342, 458, 591 y 695 días, respectivamente. Para estas mismas edades, las heredabilidades para la longitud fueron 0,56±0,08, 0,41±0,06, 0,36±0,06, 0,31±0,06, respectivamente. En los caracteres anatómicos, corregidos para el peso al sacrificio (695 días), las heredabilidades fueron 0,30±0,03 para branquias y 0,20±0,03 para el corazón. Todas estas estimaciones ponen de relieve una importante componente genética aditiva en *Salvelinus alpinus*.

**Palabras clave:** Heredabilidad, crecimiento, branquia, corazón, salvelino, *Salvelinus alpinus*

### Summary

**Estimation of heritabilities for growth and cardiorespiratory organ traits in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L.**

In this study, the heritabilities for growth and cardiorespiratory organ traits in Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.), at slaughtering size, were estimated. A sample of 1325 offspring of 19 sires and 35 dams, from two strains (580 residential and 745 anadromous fish) and cultured under three temperatures (479, 428 and 418 fish at 5°C, 10°C and 15°C, respectively), were analyzed for growth and anatomical characters. An animal model was applied on data base using tank/temperature, sex, maturation and strain as fixed factors. The estimates of heritabilities were 0.54±0.07, 0.45±0.07, 0.36±0.06, 0.31±0.05, for weight at days 342, 458, 591 and 695 respectively. Also for these ages, the estimates of heritabilities for length were 0.56±0.08, 0.41±0.06, 0.36±0.06, 0.31±0.06, respectively. Concerning to the weight of anatomical characters, corrected with slaughtering weight (day 695), 0.30±0.03 for gill and 0.20±0.03 for heart were estimated. All these estimations reported an important additive genetic component in *Salvelinus alpinus*.

**Key words:** Heritability, growth, gill, heart, Arctic charr, *Salvelinus alpinus*

## Introducción

Los salmónidos presentan una variación genética considerable para caracteres de producción tales como el peso a distintas edades y la tasa de crecimiento (Wangila y Dick, 1996; Bonnet *et al.*, 1999; Fishback *et al.*, 2002; Quinton *et al.*, 2005), mostrando importantes correlaciones entre caracteres de producción tempranos y tardíos en distintos momentos de la ontogenia (Fishback *et al.*, 2002).

El salvelino (*Salvelinus alpinus* L.) es un salmónido paleártico de gran importancia económica en los países nórdicos tales como Suecia e Islandia. Particularmente en este último, representa la segunda especie más importante después del salmón del Atlántico, con 1.670 toneladas en 2003, 27% de la producción, de las cuales el 50% son exportadas (FAO, 2006). Se trata de una especie con formas anádromas y residentes en aguas marinas continentales, lagos y ríos (Klemetsen *et al.*, 2003). Las formas anádromas son de más rápido crecimiento, mayor tamaño y tasas de fecundidad alta, y están presentes en un gran número de hábitat. Por el contrario, las formas residentes están adaptadas a las condiciones locales donde habitan.

El salvelino es una especie sobre la que existen programas de selección en curso (Eybórsdóttir *et al.*, 1993), aunque son pocas las estimas de parámetros genéticos que han sido publicadas para caracteres de crecimiento, supervivencia, resistencia a enfermedades y calidad de la carne (Nilsson, *et al.*, 1989; Nilsson, 1990, 1992 y 1994; Eriksson *et al.*, 1993; Elvingson y Nilsson, 1994). En el presente estudio se han estimado las heredabilidades y correlaciones genéticas para caracteres de gran importancia en las poblaciones de cultivo y naturales como son los de crecimiento y los cardiovasculares.

## Materiales y métodos

La población de peces utilizada en este estudio procede de dos localidades diferentes: Ölvesvatn (ÖL) y Grenlækur (GR). Los peces considerados como residentes provienen del lago Ölvesvatn, del noroeste de Islandia, mientras que los peces anádromos provienen del río Grenlækur, en el sureste de Islandia. Los individuos utilizados en este estudio fueron cedidos por el Programa de Selección para salvelino de Islandia y las familias se cultivaron en las instalaciones del Hólar University College.

Se establecieron veinticuatro familias para la población de GR y trece para la población de ÖL. Los huevos de cada familia se fertilizaron en otoño de 1997 y se conservaron en tanques separados a 4°C. Después de la eclosión, las larvas de cada una de las familias se criaron en un tanque de 30 litros entre 8 -10 °C. Cuando alcanzaron los 10 gramos de peso, una muestra de descendientes de cada familia fue anestesiada con 0,5 ppm de 2-fenoxietanol en agua y los peces se marcaron individualmente con *Passive Integrated Transponder* (PIT; Trovan Daimler-Benz) en la cavidad abdominal, de manera similar a como se describe en Navarro *et al.* (2004). Entonces, 36 descendientes marcados de cada una de las familias de la población GR se distribuyeron al azar y en igual proporción en tres tanques de 1,6 m<sup>3</sup>. Esto mismo se realizó para la población de ÖL, pero usando 45 descendientes en otros tres tanques. Dentro de cada población se establecieron tres temperaturas de cultivo, una por tanque (5,0±0,5° C; 9,9±0,6° C y 14,6±0,8° C). Para evitar el efecto de la densidad sobre el crecimiento de los peces ésta se reguló añadiendo peces no marcados a cada tanque y modificando el nivel del agua en cada muestreo. Los peces fueron pesados y medidos a las edades de 342, 458, 591 y 695 días. Además, a la edad de sacrificio

(695 días), en octubre de 1999, a cada pez se le determinó el sexo y se le extrajeron y pesaron las gónadas, las branquias y el ventrículo. Los pesos de estos órganos fueron corregidos respecto al peso del pez. Aquellos peces con una relación gonadal superior al 1,5% fueron considerados como maduros. Los peces se mantuvieron con fotoperiodo natural, el cual fue ajustado con luz artificial, y se alimentaron mediante comederos automáticos con pienso comercial (Laxa Feedmill LTD). La saturación de oxígeno en el agua fue del 70%.

Las estimas de las heredabilidades se llevaron a cabo mediante un modelo animal, considerando el tanque/temperatura, la maduración, el sexo y la estirpe como efectos fijos y el animal como efecto aleatorio, mediante el programa VCE (v 5.1.2) (Kovač et al., 2002).

## Resultados y discusión

A la edad de 342 días, el peso medio de los peces fue de  $16,4 \pm 5,4$  g y  $16,1 \pm 4,8$  g para las familias de GR y ÖL, respectivamente, mientras que a la edad de sacrificio, 695 días, los pesos fueron de  $476,3 \pm 8,5$  g y  $444,6 \pm 9,6$  g, respectivamente. Las estimas de heredabilidad para el peso y la longitud a las distintas edades son mostradas en las tablas 1 y 2. Como puede apreciarse ambos caracteres presentaron los mismos rangos de variación entre edades, que fue desde 0,31 a 0,55. Estas estimas fueron muy similares a las descritas por Nilsson (1990) a las edades de 2 y 3 años en salvelino, las cuales incrementaron con la edad, y algo superiores a las descritas Nilsson (1994) a las edades de 12 y 18 meses, muy similares entre sí. Sin embargo, en el presente estudio la heredabilidad decreció con la edad. Esto fue debido, posiblemente, al efecto tanque que se produjo desde el estadio de huevo hasta el momento

en que los peces alcanzaron la talla óptima para ser marcados individualmente y puestos en un mismo tanque hasta el sacrificio, momento a partir del cual se homogenizaron las fuentes ambientales de parecido, que fueron diluyéndose con el desarrollo. Además, a partir de los 342 días de edad se confundió el efecto tanque con la temperatura. Por otro lado, también es importante considerar que las estimas del presente estudio tuvieron en cuenta ambas estirpes, cuando Nilsson (1994) sólo estudió una población procedente del lago Hornavan, al norte de Suecia. De hecho, por ejemplo, la heredabilidad del peso de la población residente de este estudio (ÖL), a la edad de 695 días meses, fue inferior ( $0,18 \pm 0,07$ ).

Los valores de correlación genética entre longitudes fueron positivos y superiores a los encontrados entre pesos a distintas edades (tablas 1 y 2), si bien las correlaciones entre pesos y longitudes a la misma edad fueron las más altas ( $0,95 \pm 0,01$  y  $0,92 \pm 0,02$ , a los 591 y 695 días de edad, respectivamente). Todos estos resultados están en concordancia con los descritos por Nilsson (1994) y quizás tienen una doble importancia. En primer lugar, ya que posibilitan la realización de preselección de animales en el estado de juvenil evitando así el cultivo de una gran biomasa hasta la talla de sacrificio. En segundo lugar, porque unas heredabilidades notables como las descritas para el peso y la longitud, permite simplificar la selección para otros caracteres relevantes, con los que están genéticamente correlacionados, y cuya evaluación representa un riesgo importante para las producciones. Este es el caso de la resistencia al hongo *Saprolegnia spp*, que produce importantes pérdidas económicas en el cultivo de salvelino y está positivamente correlacionada con el peso, la longitud y la compacidad (Nilsson, 1992), lo que hace que la selección indirecta sea una estrategia a considerar.

En cuanto a la compacidad o factor de condición, esta presentó una heredabilidad de  $0,23 \pm 0,04$ , y unas correlaciones genéticas con el peso y la longitud, a la edad de sacrificio (695 días), de  $0,28 \pm 0,13$  y  $-0,12 \pm 0,15$  respectivamente. A pesar de que los errores típicos de las estimas son elevados, los resultados están en consonancia con los descritos por Nilsson (1990 y 1994), e ilustran que una selección para el factor de condición es

posible, y que la selección del peso puede afectar a la forma del pez, todo lo cual cobra aún más importancia por la relación implícita que existe entre la forma del pez y factores de producción como el rendimiento filete. En este sentido, Gjerde y Schaeffer (1989) concluyeron que el factor de condición es una medida adecuada de la forma del pez, por la elevada correlación genética que encontraron entre ambas.

Tabla 1. Estimaciones de heredabilidades (en la diagonal) y correlaciones genéticas (encima de la diagonal) para el peso a distintas edades

*Table 1. Estimate of heritabilities (diagonal) and genetic correlations (above diagonal) for weight at different ages*

	Peso a distintas edades			
	342	458	591	695
342	$0,54 \pm 0,07$	$0,58 \pm 0,09$	$0,36 \pm 0,12$	$0,05 \pm 0,15$
458		$0,45 \pm 0,07$	$0,87 \pm 0,03$	$0,62 \pm 0,09$
591			$0,36 \pm 0,06$	$0,87 \pm 0,03$
695				$0,31 \pm 0,05$

Tabla 2. Estimaciones de heredabilidades (en la diagonal) y correlaciones genéticas (encima de la diagonal) para la longitud a distintas edades

*Table 2. Estimate of heritabilities (diagonal) and genetic correlations (above diagonal) for length at different ages*

	Peso a distintas edades			
	342	458	591	695
342	$0,56 \pm 0,08$	$0,65 \pm 0,07$	$0,46 \pm 0,11$	$0,28 \pm 0,13$
458		$0,41 \pm 0,07$	$0,88 \pm 0,03$	$0,71 \pm 0,07$
591			$0,36 \pm 0,06$	$0,93 \pm 0,02$
695				$0,31 \pm 0,06$

Las estimaciones de heredabilidad para branquia y ventrículo constituyen las primeras estimaciones que se realizan en salvelino, denotando una importante componente genética aditiva. La relevancia de estos caracteres proviene del hecho de que la mejor adaptación diferencial de las distintas poblaciones de salvelino tiene su reflejo en adaptaciones fisiológicas

y morfológicas (Skúlason et al., 1992). Los frecuentes cambios en temperatura, y consecuentemente en los niveles de oxígeno, a los que son expuestos tanto las formas anádromas como residentes hace que los sistemas vasculares y respiratorio cobren una gran importancia en la adaptabilidad a los distintos hábitat (Taylor, 1992), y por ende

en sus rendimientos productivos. Así, las correlaciones genéticas entre el peso frente a la branquia y el ventrículo del presente estudio fueron  $-0,63 \pm 0,06$  y  $0,18 \pm 0,09$  respectivamente. Es decir, que la estructura de las branquias puede ser un reflejo de la estrategia metabólica de los peces (Perry, 1992; Wilson et al., 1994), como es el caso de los peces con natación rápida que se caracterizan por tener branquias con un mayor número y densidad de lamelas y por tanto mayor superficie de intercambio (Stevens y Sutterlin, 1999). Desde una óptica inversa, la

diversidad del tamaño branquial permitiría inferir el espectro de hábitat de procedencia de los peces (De F. Mazon et al., 1998; Hughes y Iwai, 1978; Johnson y Ress, 1988; Randall, 1970; Randall y Daxboeck, 1984). Por otro lado, existen evidencias de asociación entre las actividades metabólica y cardíaca, (Barron et al., 1987; Gamperl y Farrell, 2004; Pelster, 2003), donde las tasas metabólicas están correlacionadas con el volumen sanguíneo y con el tamaño del corazón (Brodeur et al., 2001; Clarkson et al., 2005; Goolish y Adelman, 1987).

Tabla 3. Estimaciones de heredabilidades (en la diagonal) y correlaciones genéticas (encima de la diagonal) para el peso de la branquia y el ventrículo al sacrificio (695 días)  
 Table 3. Estimate of heritabilities (diagonal) and genetic correlations (above diagonal) for weight of gill and heart at slaughtering (695 day)

	Peso Branquia	Peso Ventrículo
Peso Branquia	0,30±0,03	-0,23±0,13
Peso Ventrículo		0,20±0,03

### Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la dirección que lleva a cabo el Programa de Selección para salvelino de Islandia la cesión de los peces, así como a Greg Malocca por su inestimable ayuda durante los muestreos.

### Bibliografía

- Barron MG, Tarr BD, Hayton WL, 1987. Temperature-dependence of cardiac output and regional blood flow in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Journal of Fish Biology* 31: 735-744.
- Bonnet S, Haffray P, Blanc JM, Vallee F, Vauchez C, Faure A, Fauconneau B, 1999. Genetic variation in growth parameters until commercial size in diploid and triploid freshwater rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and seawater brown trout (*Salmo trutta*). *Aquaculture*. Vol. 173, no. 1-4: 359-375.
- Brodeur JC, Dixon DG, Mckinley RS, 2001. Assessment of cardiac output as a predictor of metabolic rate in rainbow trout. *Journal of Fish Biology* 58: 439-452.
- Clarkson K, Kieffer D, Currie S, 2005. Exhaustive exercise and the cellular stress response in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Comparative Biochemistry and Physiology* 140A: 225-232.
- De F. Mazon A, Fernades MN, Nolasco MA, Severi W, 1998. Functional morphology of gills and respiratory area of two active rheophilic fish species, *Plagioscion squamosissimus* and *Prochilodus scrofa*. *Journal of Fish Biology* 52: 50-61.

- Elvingson P, Nilsson J, 1994. Phenotypic and genetic parameters of body and composition-al traits in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.). *Aquaculture Research* 25: 677-685.
- Eriksson L-O, Alanara A, Braennaes E, Nilsson J, Kiessling A, 1993. Arctic charr farming in Sweden. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*. St.Andrews NB.
- Eypórsdóttir E, Péttersdóttir P, Svavarsson E, 1993. Samanbudsúr á bleikjustofnum. *Ráðunautafundur*: 243-260.
- F.A.O., 2006. [http://www.fao.org/index\\_es.htm](http://www.fao.org/index_es.htm)
- Fishback AG, Danzmann RG, Ferguson MM, Gibson JP, 2002. Estimates of genetic parameters and genotype by environment interactions for growth traits of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. Vol. 206, no. 3-4: 137-150.
- Gamperl AK, Farrell AP, 2004. Cardiac plasticity in fishes: environmental influences and intraspecific differences. *The Journal of Experimental Biology* 207: 2539-2550.
- Gjerde B, Schaeffer Jr, 1989. Body trait in rainbow trout. II. Estimates of heritabilities and of phenotypic and genetic correlations. *Aquaculture*. 80: 25-44.
- Goolish EM, Adelman FR, 1987. Tissue-specific Cytochrome Oxidase activity in largemouth Bass: the metabolic costs of feeding and growth. *Physiological Zoology* 60: 454-464.
- Hughes GM, Iwai T, 1978. A morphometric study of the gills in some Pacific deep-sea fishes. *Journal Zoology London* 184: 155-170.
- Johnson L, Rees CJC, 1988. Oxygen consumption and gill area in relation to habitat and lifestyle of four crab species. *Comparative Biochemistry and Physiology* 89A: 243-246.
- Klemetsen A, Amundsen PA, Dempson JB, Jonsson B, Jonsson N, O'Connell MF, Mortensen E, 2003. Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. *Ecology of Freshwater Fish* 12: 1-59.
- Kovač m, Groeneveld E, García-Cortés LA, 2002. VCE-5: A package for the optimization of dispersion parameters. 7<sup>th</sup> World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Montpellier, France. August 20-23.
- Navarro A, Oliva V, Zamorano MJ, Ginés R, Afonso JM, 2004. Evaluación del sistema de marcaje PIT (*Passive Integrated Transponder*) en alevines de dorada (*Sparus auratus* L.). *ITEA* 100A, nº3: 141-145.
- Nilsson J, Billard R, Pauw NDE, 1989. Selective breeding of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Special Publication, European Aquaculture Society*.
- Nilsson J, 1990. Heritability estimates of growth-related traits in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Aquaculture* 84, 3-4: 211-217.
- Nilsson J, 1992. Genetic variation in resistance of Arctic char to fungal infection. *Journal of Aquatic Animal Health* 4, 2: 126-128.
- Nilsson J, 1994. Genetics of growth of juvenile Arctic char. *Transactions of the American Fisheries Society* 123, 3, 430-434.
- Pelster B, 2003. Developmental plasticity in the cardiovascular system of fish, with special reference to the zebrafish. *Comparative Biochemistry and Physiology* 133A: 547-553.
- Perry SF, 1992. Morphometry of vertebrate gills and lungs: a critical review, pp. 57-77. En *Oxygen Transport in Biological Systems* (Egginton, S. and Ross, H. F., eds). Cambridge: Cambridge University Press. UK
- Quinton CD, McMillan I, Glebe BD, 2005. Development of an Atlantic salmon (*Salmo salar*) genetic improvement program: Genetic parameters of harvest body weight and carcass quality traits estimated with animal models. *Aquaculture* 247: 211-217.
- Randall DJ, 1970. Gas exchange in fish, pp. 253-292. En *Fish Physiology*. Vol IV. The nervous system, circulation and respiration (Hoar, W. S. and Randall, D. J., eds). Academic Press, Inc. USA
- Randall D, Daxboeck C, 1984. Oxygen and carbon dioxide transfer across fish gills, pp. 263-314.

- En *Fish Physiology*. Vol X. Part A. Anatomy, gas transfer and acid-base regulation (Hoar, W. S. and Randall, D. J., eds), Academic Press, Inc. USA
- Skúlason S, Antonsson T, Gudbergsson G, Malmquist H, Snorrason S, 1992. Variability in Icelandic Arctic charr. Búvísindi. *Icelandic Agricultural Science* 6: 143-153.
- Stevens ED, Sutterlin A, 1999. Gill morphometry in growth transgenic Atlantic salmon. *Environmental biology of fishes* 54, 405-411.
- Taylor EW, 1992. Control of heart and cardiorespiratory interactions, pp. 343-387. En *Fish Physiology*. Vol XII. Part B. The cardiovascular system (Hoar WS, Randall DJ, Farrell AP, eds). Academic Press, Inc. USA
- Wangila BCC, Dick TA, 1996. Genetic effects and growth performance in pure and hybrid strains of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) (order: Salmoniformes, family: Salmonidae). *Aquaculture*. Vol. 27, no. 1: 35-41.
- Wilson RW, Bergman HL, Wood CM, 1994. Metabolic costs and physiological consequences of acclimation to aluminium in juvenile Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). 2: Gill morphology, swimming performance, and aerobic scope. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51: 536-544.

(Aceptado para publicación el 2 de mayo de 2006)