

# Estimación de algunos efectos genéticos de la trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mikiss*) a partir de un cruzamiento dialélico completo de dos líneas.

## I. Fertilidad y supervivencia \*

Gerardo Zamora Balbuena\*\*  
Carlos G. Vásquez Peláez\*\*\*  
José Manuel Berruecos Villalobos ▲  
Lilia Soto Ruíz◆

### Abstract

This study was done at the Aquaculture Center called Centro Acuícola "El Zarco" in order to evaluate fertility and viability between two lines of trouts (Zarco, Z.; Jilotzingo, J.) and their reciprocal crosses in a diallelic system. Fertility, viability and mortality during the early stages was better in the Jilotzingo line ( $P<0.05$ ). Mortality was higher ( $P<0.05$ ) in the crosses (12.65%) than in the pure lines (2.6%) in the first stages. The cross ZJ showed higher mortality (6.5%). These results indicated that no heterosis was found for these variables, and that female lines can be used to increase fertility.

**KEY WORD:** rainbow trout, diallelic cross, heterosis, fertility, viability.

### Resumen

El presente estudio se realizó en el Centro Acuícola "El Zarco", Estado de México, México, para evaluar el comportamiento reproductivo de dos líneas de truchas Arcoiris (*Oncorhynchus mikiss*), la línea Zarco ("Z") y la línea Jilotzingo ("J"). Con el propósito de estimar efectos genéticos, se utilizó el cruzamiento dialélico, que permite la mediación de la respuesta a la heterosis y a la habilidad combinatoria general y específica, entre las diferentes líneas utilizadas y cruzadas recíprocas. Al evaluar la incubación, fertilidad, viabilidad y moralidad en las etapas de alevinaje y crianza, se encontró una mejor fertilidad para la línea Jilotzingo; la mortalidad presentada en la etapa de alevinaje fue más elevada en los grupos genéticos híbridos (12.65%) respecto de los puros (2.6%). La mortalidad durante la etapa de crianza fue mayor en el grupo genético Z x J (6.5%) con respecto a los otros. Los resultados muestran que no existe heterosis para estas características y que es importante seleccionar líneas maternas con el fin de incrementar la fertilidad.

**PALABRAS CLAVE:** Trucha arcoiris, cruce dialélico, heterosis, fertilidad, viabilidad.

\*Parte de este trabajo fue presentado como requisito de tesis para obtener el grado de licenciatura en la Facultad de medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, del primer autor. Para su desarrollo se contó con el apoyo del Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Microbiología, Instituto nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. El trabajo recibió el premio "Constantino Ordóñez" (FMVZ-UNAM) a la mejor tesis de licenciatura en 1998.

\*\*Centro Acuícola "El Zarco", km 32.5, Carretera Libre México-Toluca, Ocoyoacac, Estado de México, México.

\*\*\*Unidad de Zoológicos de la Ciudad de México, Primera Sección del Bosque de Chapultepec, Col. San Miguel Chapultepec, 11850, México, D.F.

▲ Departamento de Genética, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México, D.F.

◆ Centro Nacional de Investigaciones en Fisiología y Mejoramiento Animal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, km 1 carretera a Colón, Ajuchitlán, Qro.

## Introducción

La acuacultura es más importante cada día en la satisfacción de las necesidades de proteína de la población humana. En los últimos años, numerosos países se destacan en la producción pesquera; al respecto, México se distingue, pues en 1993 obtuvo un valor de 1 191 600 toneladas, e incrementó el consumo per cápita a 11 kg<sup>1,2</sup>.

La República mexicana cuenta con una superficie de 1 958 201 km<sup>2</sup>, con 11 592.77 km de litoral, una superficie de 357 795 km<sup>2</sup> de plataforma continental y una zona económica exclusiva total de 2 946 825 km y aproximadamente 1 500 000 ha de lagunas costeras, esteros y bahías litorales<sup>3</sup>, mientras que las aguas continentales comprenden una superficie de 1 300 000 ha entre lagos, lagunas, ríos y presas. Esta información indica el potencial de la acuacultura.

Los productos obtenidos en las aguas continentales conforman parte importante de la dieta de la población, entre aquéllos se encuentran, por ejemplo: el acocil, el bagre, la carpa, el catán o pejelagarto, el charal, el gusano de fango, el langostino, la lobina, el pescado blanco, la rana, la tilapia y la trucha<sup>3</sup>.

La trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mikiss*) se ha logrado adaptar a diferentes condiciones mostrando buena aceptación a los alimentos balanceados, lo que hace una de las razones más importantes de su amplia distribución<sup>4,5</sup>, en especial considerando que no todas las especies se adaptan fácilmente a dis tintos ambientes.

El hábitat natural de la trucha Arcoiris es el agua dulce, bien oxigenada, con una temperatura acuática que fluctúa entre los 0°C a 21°C<sup>4,6</sup>. Sin embargo, hay informes de que se han encontrado truchas Arcoiris en la cuenca del desierto y en las regiones áridas del sur de Oregon, Estados Unidos de América, bajo condiciones desfavorables, ya que el agua mantiene una temperatura promedio de 27°C. Por otro lado, Fisher et al.<sup>7</sup> describen poblaciones de trucha Arcoiris en el río Fireholeen, del Parque Nacional de Yellowstone, en Wyoming, Estados Unidos de América, que recibe agua caliente geotermal.

La producción de trucha Arcoiris en México se realiza en la zona V interior<sup>3</sup>, representando 99.24% de la producción total; esta zona comprende los estados de Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala y Zacatecas. En el ciclo 1994-1995 la producción nacional de esta especie fue de 2 millones de toneladas en peso vivo; de esta cifra, 65% son cría nacional, mientras que el 35% restante, se abasteció a través de la importación de huevos y crías de Estados Unidos de América, Inglaterra, Sudáfrica y Australia.

Lewis<sup>8</sup>, en el primer trabajo sobre respuestas a la selección en trucha Arcoiris, encontró un incremento de 53% al 98% en el desove de hembras de 2 años de edad, después de tres generaciones de mejoramiento; el total de huevo producido por hembra se modificó de 723 a 1 693;

en este sentido concluyó que es posible desarrollar en pocas generaciones líneas de hembras con mayor producción de huevos.

Los programas de selección en centros de reproducción han generado líneas de truchas Arcoiris que puedan desovar en las diferentes estaciones del año, lo cual no ocurre en condiciones naturales como consecuencia del fotoperíodo<sup>9</sup>, por lo que ahora se pueden seleccionar hembras que tengan dos o más desoves en el transcurso del año<sup>4,10,11</sup>. Aida et al.<sup>10</sup> publicaron la evaluación de hembras con dos desoves al año y encontraron que éstas tienen un bajo incremento de peso entre desoves y una mayor cantidad de huevos ovulados, comparándolas con las hembras que desovan anualmente; estos autores concluyeron que la selección fue la base para la producción de esas líneas.

Para integrar un programa de selección es necesario conocer si la característica medida es producto de genes, si actúa en forma aditiva o responde a la heterosis; del resultado dependerá el programa a seguir. Por esta razón, el objetivo del presente trabajo fue estimar los efectos de la heterosis, en algunas características de supervivencia en la trucha Arcoiris, a partir de un cruzamiento dialélico completo entre dos líneas. Con esa información se podrán dar indicaciones en programas de selección para el mejoramiento de la trucha Arcoiris.

## Material y métodos

El trabajo se realizó en el Centro Acuícola "El Zarco", de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, localizado en el km 32.5 de la Carretera Libre México-Toluca, Ocoyoacac, Estado de México, México, a 3 060 msnm, con coordenadas 19°17'58" latitud Norte y 99°22'15" longitud Oeste; el Centro está dedicado principalmente a la producción de huevo ovulado y de crías de trucha Arcoiris.

El agua que abastece al Centro proviene del manantial denominado Pajaritos y de Agua Azul, así como de pequeños manantiales ubicados en el mismo Centro.

Para el presente estudio se utilizaron 30 hembras y 30 machos adultos de las líneas Zarco (formada por la crusa de diferentes líneas originarias de distintos países) y Jilotzingo (que originalmente procedía de los Estados Unidos de América); ambas líneas se han mantenido como poblaciones cerradas. Las hembras de la línea Zarco presentaron un promedio de peso de 2 340 g con una producción de 1 654 huevos por kg de peso corporal; las hembras de la línea Jilotzingo presentaron un peso promedio de 2 163 g con una producción de 1 725 huevos por kg de peso corporal. Por otro lado, los machos seleccionados de la línea Zarco para despermar presentaron una longitud total promedio de 48.53 cm y una altura de 11.2 cm; para la línea Jilotzingo, el promedio de longitud fue de 56.15 cm y de altura 13.54 cm.

Se eligieron los meses de diciembre y enero para realizar los cruzamientos, ya que en esa época las truchas del Centro presentan la máxima producción.

Para la fertilización se utilizó el desove dirigido y se trabajó con tres repeticiones por cruzamiento, manteniendo los lotes debidamente identificados en cada una de las etapas de producción. El manejo del huevo previamente fertilizado fue el que se realiza en el Centro, consiste en el lavado del huevo con agua corriente hasta que no presente impurezas; se hidrata durante un tiempo aproximado de 20 minutos con el propósito de manejarlo adecuadamente; se mide la cantidad de huevos mediante el método de desplazamiento de agua. A fin de determinar el diámetro promedio, se utilizó una canaleta graduada. Posteriormente los huevos se colocan en las charolas de incubación, donde permanecen durante un periodo de 32 días con un flujo constante de agua; durante esa etapa, se realizan prácticas de limpieza de las charolas incubadoras, con el objetivo de eliminar y registrar todo el huevo muerto para determinar el porcentaje de fertilidad. El desarrollo embrionario concluye cuando 98% de los organismos eclosionan; el promedio de temperatura durante la fase de incubación es de aproximadamente 10.5°C.

Transcurrida la etapa de incubación se procede a colocarlos en las tinas de alevinaje, esta etapa dura 20 días. El manejo diario consiste en contabilizar la mortalidad con el fin de evaluar posteriormente la viabilidad de la crusa respectiva.

El análisis estadístico de los porcentajes de este trabajo se realizó utilizando la prueba de Ji-cuadrada con el programa SAS (12).

## Resultados

Para la variable de fertilidad se observó que los grupos donde la línea Jilotzingo se utilizó como hembra, el porcentaje de fertilidad fue mejor ( $P<0.05$ ) que en el grupo donde la línea Zarco fue utilizada como hembra (68.6 vs 61.9). La viabilidad entre los grupos fue semejante ( $P<0.05$ ), siendo el porcentaje promedio de 91.1 (Cuadro 1)

La mortalidad general durante la etapa de alevinaje fue de 7.64%, observándose diferencias estadísticas significativas ( $P<0.05$ ) entre grupos, siendo el promedio de 12.6% mayor en las cruzas Zarco x Jilotzingo y Jilotzingo x Zarco, respecto de las puras, 2.6% (Cuadro 1), dando así una ventaja a los híbridos de 10%.

El Cuadro 2 muestra la mortalidad para la etapa de crianza (20 a 146 días). La mayor mortalidad se presenta durante los primeros 30 días de vida, independientemente de la crusa que se trate. La mortalidad general en la etapa de crianza fue de 4.99%, siendo estadísticamente mayor ( $P<0.05$ ) en la crusa Z x J (6.55%), con respecto a los otros grupos.

## Discusión

Los porcentajes de fertilidad y viabilidad encontrados en este estudio (65 y 91, respectivamente) coinciden con los resultados obtenidos por otros autores (13,14,15,16).

**CUADRO 1**  
**PORCENTAJE DE FERTILIDAD VIABILIDAD**  
**Y MORTALIDAD EN LA ETAPA DE ALEVINAJE EN LAS**  
**LINEAS ZARCO (Z) JILOTZINGO U) Y SUS CRUZAS**

Grupo genético	Fertilidad (%)	Viabilidad (%)	Mortalidad alevinaje (%)
Z x Z	61.76 <sup>b</sup>	92.35 <sup>a</sup>	2.65 <sup>b</sup>
J x J	69.48 <sup>a</sup>	97.40 <sup>a</sup>	2.60 <sup>b</sup>
J x Z	67.81 <sup>a</sup>	85.86 <sup>a</sup>	14.14 <sup>a</sup>
Z x J	62.21 <sup>b</sup>	88.84 <sup>a</sup>	11.16 <sup>a</sup>
Media	65.31	91.11	7.46
Error estándar	5.78	6.94	2.96

a, b Valores con diferentes literales en columnas son diferentes estadísticamente ( $P<0.05$ )

**CUADRO 2**  
**PORCENTAJE DE MORTALIDAD EN LAS LINEAS PURAS Y**  
**SUS CRUZAS RECIPROCAS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE**  
**DE LA EPOCA DE CRIANZA (20 A 146 DIAS) Y RESUMEN TOTAL**

Edad (días)	Grupo genético				
	Z x Z	J x J	J x Z	Z x J	Promedios
21-34	79.29 <sup>a</sup>	62.18 <sup>b</sup>	47.25 <sup>c</sup>	55.77 <sup>c</sup>	58.87 <sup>z</sup>
35-48	8.54 <sup>a</sup>	15.05 <sup>b</sup>	27.99 <sup>c</sup>	12.03 <sup>b</sup>	15.90 <sup>y</sup>
49-62	2.72 <sup>d</sup>	2.38 <sup>d</sup>	4.45 <sup>d</sup>	2.77 <sup>d</sup>	3.08 <sup>z</sup>
63-76	4.31 <sup>d</sup>	4.55 <sup>d</sup>	6.12 <sup>d</sup>	9.32 <sup>d</sup>	6.08 <sup>z</sup>
77-90	3.16 <sup>d</sup>	4.44 <sup>d</sup>	7.35 <sup>d</sup>	6.58 <sup>d</sup>	5.38 <sup>z</sup>
91-104	5.42 <sup>d</sup>	2.01 <sup>d</sup>	1.96 <sup>d</sup>	7.53 <sup>d</sup>	4.23 <sup>z</sup>
105-118	4.33 <sup>d</sup>	3.64 <sup>d</sup>	3.79 <sup>d</sup>	4.36 <sup>d</sup>	1.03 <sup>z</sup>
119-132	1.40 <sup>d</sup>	7.51 <sup>d</sup>	1.41 <sup>d</sup>	2.02 <sup>d</sup>	3.09 <sup>z</sup>
133-146	0.74 <sup>d</sup>	0.75 <sup>d</sup>	0.31 <sup>d</sup>	0.75 <sup>d</sup>	0.64 <sup>z</sup>

a,b,c Valores con diferentes literales en renglones son estadísticamente diferentes ( $P<0.05$ ).

x,y,z Valores con diferente literal en columna son estadísticamente diferentes ( $P<0.05$ ).

d Valores semejantes dentro y entre cruzas ( $P<0.05$ ).

Grupo genético

	Z x Z	J x J	J x Z	Z x J	Total
Mortalidad total (%)	4.92 <sup>a</sup>	3.93 <sup>a</sup>	4.99 <sup>a</sup>	6.55 <sup>b</sup>	4.99
Crías muertas	1 583	1 436	1 566	1 697	6 282
Crías nacidas	32 169	36 489	31 346	25 886	125 890

a,b,c Valores con diferentes literales en renglones son estadísticamente diferentes.

La mejor fertilidad encontrada fue para las hembras de la línea Jilotzingo, quienes demostraron tener la mejor calidad de óvulos, al ser comparadas con las hembras de la línea Zarco; esto último demuestra la importancia que representa el seleccionar la línea hembra para esta característica. Diferencias entre líneas para fertilidad, han sido demostradas por Gall y Gross (17), quienes compararon tres poblaciones de truchas, observando también diferencias. Otros autores mencionan que es posible mejorar la viabilidad a través de programas de selección en las poblaciones (11, 18).

El porcentaje de mortalidad podría disminuir alcanzando las óptimas condiciones ambientales y de manejo; la mortalidad observada en este estudio durante los primeros 30 días de la etapa de crianza, se comportó de una manera similar a la que ocurre en un esquema de selección, donde los animales más aptos sobreviven (14,15, 19).

Se encontró diferente comportamiento entre líneas, lo cual permite recomendar programas de selección para líneas maternas, a fin de incrementar la fertilidad, más aún cuando no existen diferencias en cuanto a la mortalidad de los alevines.

## Referencias

1. Ceballos OML, Velázquez EMA. Perfiles de alimentación de peces y crustáceos en los centros y unidades de producción acuícola en México. México (DF); FAO, Secretaría de Pesca, 1988.
2. Secretaría de Pesca. Anuario estadístico pesquero. México (DF). Secretaría de Pesca, 1993.
3. Secretaría de Pesca. Atlas pesquero de México. México (DF); Instituto Nacional de la Pesca, 1994.
4. Gall GAE, Crandell PA. The rainbow trout. Aquaculture 1992;100:1-10.
5. Hershberger WK. Genetic variability in rainbow trout at Hotcreek hatchery. Calif Fish Game 1994;30:95-97.
6. Secretaría de Pesca. Cultivo de la trucha. México (DF):Secretaría de Pesca, 1994.
7. Fisher PW, Browne D, Cameron DG, Vyse ER. Genetics of rainbow trout in a geothermally heated stream. Trans Am Fish Soc 1982;111:312-316.8. Lewis RC. Selective breeding of rainbow trout at hot creek hatchery. Calif Fish Game 1944;30:95-97.
9. Gall GAE, Graham AH. Sexual maturation and growth rate. World Congress on Genetics Applied to Livestock Production; 1986 July 16-22; Lincoln Nebraska. Lincoln, Nebraska: WEGALP, 1986;10:401-410.
10. Aida K, Sakai K, Nomura J, Lou SW, Hanyu Y, et al. Reproductive activity of a twice-annually spawning strain of rainbow trout. Bull Jpn Soc Sci Fish 1984;50:1165-1172.
11. Bromage N, Jones J, Randall C, Trush M, Davies B, et al. Broodstock management, fecundity, egg quality and the timing of egg production in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 1992;100:141-166.
12. SAS Institute Inc. SAS procedures guide. Version 6.3. Cary (NC): SAS Institute Inc., 1990.
13. Morkramer S, Hörstgen-Schwarz G, Langholz HJ. Comparison of different European rainbow trout populations under intensive production conditions. Aquaculture 1985;44:303-320.
14. Suzuki R, Fukada Y. Survival potential of  $F_1$  hybrids among salmonid fishes. Bull Freshwater Fish Res Lab 1971;21:69-83.
15. Rye M, Lillevik KM, Gjerde B. Survival in early life of Atlantic salmon and rainbow trout: estimates of heritabilities and genetic correlations. Aquaculture 1990;89:209-216.
16. Hörstgen-Schwarz G, Fricke H, Langholz HJ. The effect of strain crossing on the production performance in rainbow trout. Aquaculture 1986;57:141-152.
17. Gall GAE, Gross SJ. A genetic analysis of the performance of three rainbow trout broodstocks. Aquaculture 1978;15:113-127.
18. Chevassus B. Hybridization in salmonids: results and perspectives. Aquaculture 1979;17: 113-128.
19. Kanis E, Refstie T, Gjedrem T. A genetic analysis of egg, alevin and fry mortality in salmon (*Salmo salar*), sea trout (*Salmo trutta*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*) Aquaculture 1976;8:259-268.