

# Estimación de algunos efectos genéticos de la trucha Arcoiris a partir de un cruzamiento dialélico completo de dos Líneas.

## II. Crecimiento y producción \*

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

---

### Abstract

This work was done at the Centro Acuícola "El Zarco" in order to evaluate growth during two stages, namely, development and finishing, and carcass values in two lines (Zarco and Jilotzingo) on rainbow trout and their reciprocal crosses. To evaluate heterosis and specific and general combining ability, diallelic crosses were made between both lines. Growth rate showed that line Jilotzingo (J) was 26.8% heavier ( $p < 0.10$ ) than Zarco (Z). The cross JZ was 46.44% ( $p < 0.05$ ) heavier than the reciprocal one. Regarding the finishing stage and carcass values, again JZ had better results ( $p < 0.05$ ) than the reciprocal ones, and in the average of the pure lines as well. This suggests the need to develop male and female lines in order to obtain the maximum heterosis values.

**KEY WORDS:** rainbow trout, diallelic cross, heterosis, growth, carcass.

### Resumen

El presente estudio se realizó en el Centro Acuícola "El Zarco", Estado de México, México, para evaluar el comportamiento productivo durante el crecimiento, engorda y rendimiento en canal de dos líneas de truchas Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*): la línea Zarco "Z" y la línea Jilotzingo "J". Con el propósito de estimar algunos efectos genéticos, se utilizó un cruzamiento dialélico que permite la medición de la respuesta a la heterosis entre las líneas utilizadas y sus cruza recíprocas. Al evaluar la etapa de crecimiento de los grupos genéticos, la línea "J" resultó 26.8% más pesada ( $P < 0.10$ ) que la línea "Z". Los híbridos de la cruce J x Z mostraron ser 46.44% más pesados ( $P < 0.05$ ) que la cruce recíproca; estos resultados muestran un mayor crecimiento del híbrido J x Z, y de la línea Jilotzingo durante el crecimiento. En la etapa de engorda, el grupo genético híbrido J x Z fue 14% más pesado ( $P < 0.05$ ) y 5% más alto ( $P < 0.05$ ) que su recíproco; en esta etapa, el híbrido J x Z también demostró tener mejor crecimiento ( $P < 0.05$ ). Al analizar la respuesta a heterosis individual se encontró que el grupo genético J x Z presentó un desarrollo superior al promedio de los padres y que el de su recíproco. Estos resultados sugieren el desarrollo de programas con líneas maternas y paternas para tener el máximo resultado de la heterosis.

**PALABRAS CLAVE:** trucha arcoiris, cruce dialélica, heterosis, crecimiento, canales.

---

---

Recibido el 9 de noviembre de 1998 y aceptado el 6 de abril de 1999.

\*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 de 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

Entre las poblaciones acuícolas existe gran variación genética, ésta se encuentra también en las diferentes líneas de peces; la variación sólo puede disminuirse bajo condiciones de crianza artificial, cuando se realice una fuerte presión de selección durante algunas generaciones. Mantener la variación genética dentro de las poblaciones es uno de los mayores retos con las especies acuícolas; para lograrlo hay que establecer programas de selección con poblaciones silvestres y domésticas, evaluando diferentes genotipos en distintos ambientes, que permitan conocer su potencial productivo,<sup>1</sup> así como la interacción genotipo ambiente.

El cultivo de la trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*), antes conocida como *Salmo gairdneri* <sup>(2,3)</sup>, comenzó a finales del siglo pasado en Estados Unidos de América, Europa y Japón; la aceptación que se tiene por su sabor y su contenido de nutrimentos de alta calidad <sup>(4)</sup>, ha generado un incremento en su producción, principalmente para abastecer el mercado de pueblos altamente consumidores de productos acuícolas.

La trucha Arcoiris tiene un amplio rango de distribución, que se extiende a todo el mundo y en diferentes condiciones ambientales, ya que es un organismo muy adaptable. Esta distribución de las poblaciones naturales y su posterior domesticación, indica que puede ser seleccionada en los nuevos ambientes, diferentes a los que en forma natural han sido adaptadas <sup>(1,5)</sup>.

En los programas de mejoramiento genético deben incluirse las características productivas de importancia económica; la mayoría de ellos presentan una herencia de tipo poligénica o cuantitativa, representada por el valor fenotípico, el cual puede subdividirse en genotipo, ambiente y la interacción entre éstos; los programas presentes de selección, pretenden aumentar la viabilidad de los individuos, incrementar la velocidad en la tasa de crecimiento y, por lo tanto, hacerlos más eficientes en su conversión alimenticia, reduciendo los índices de enfermedades y mejorando la calidad de la carne <sup>(6)</sup>.

En la actualidad la investigación en genética sobre salmónidos sigue tres vertientes: El control genético del sexo, la selección y el cruzamiento, el uso de la consanguinidad <sup>(7,8)</sup>.

El objetivo del presente trabajo fue estimar los mecanismos de acción génica en características productivas, por medio del cálculo de los efectos de heterosis a partir de un cruzamiento dialélico completo entre dos líneas. Con esta información, será posible recomendar el tipo de programas de selección en el mejoramiento de la trucha Arcoiris.

## Material y métodos

El trabajo se realizó en el Centro Acuícola "El Zarco", perteneciente a 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, se encuentra a 3 060 msnm, con las coordenadas 19°17'58" latitud Norte y 99°22'15" longitud Oeste y dedicado principalmente a la producción de huevo y crías jóvenes de trucha Arcoiris. <sup>(4)</sup>

El agua para el criadero proviene del manantial denominado "Pajaritos" y de Agua Azul, así como de pequeños manantiales ubicados en el Centro.

Para el presente estudio se utilizaron 30 hembras y 30 machos adultos de las líneas Zarco (formada por la cruce de diferentes líneas originarias de distintos países), y Jilotzingo (de líneas originales procedentes de los Estados Unidos de América) y mantenidas 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 g de peso corporal, mientras que 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 para despermear de la línea Zarco 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.

El trabajo se inició en los meses de diciembre y enero por ser en esa época cuando las truchas del Centro alcanzan el máximo de producción.

Para la fertilización se utilizó el desove dirigido, y se trabajó con tres repeticiones por cruzamiento; cada lote fue identificado en cada una de las etapas de producción. El manejo del huevo fertilizado consiste en el lavado con agua corriente hasta que el huevo esté libre de impurezas, se hidrata durante un tiempo aproximado de 20 minutos para poder manejarlo adecuadamente; se cuantifica y se mide la cantidad de huevos por el método de desplazamiento de agua. Para determinar el diámetro promedio, se utilizó una canaleta graduada.

Posteriormente, los huevos fértiles se colocaron en las charolas de incubación donde permanecieron por 32 días con flujo permanente de agua; durante dicha etapa se realizaron prácticas de limpieza de las charolas incubadoras, eliminando y registrando todo el huevo muerto.

El desarrollo embrionario terminó cuando 98% de los organismos habían eclosionado; el promedio de temperatura durante la fase de incubación fue aproximadamente de 10.5°C.

Transcurrida la etapa de incubación, se procedió a colocarlos en las tinas de alevinaje; esta etapa duró 20 días y el manejo diario consistió en contabilizar la mortalidad, para evaluar posteriormente la viabilidad de la cruce respectiva.

La siguiente etapa consistió en la crianza y la engorda, donde se evaluaron las siguientes características: Longitud total en centímetros (que va desde la punta del hocico hasta el extremo posterior de la aleta caudal en posición natural o estirándolo, utilizando un ictiómetro), altura máxima corporal en centímetros (siendo la mayor distancia entre el margen ventral y dorsal del cuerpo) y peso total del organismo completo, en gramos.

La evaluación del crecimiento de cada lote se realizó hasta cumplir 160 días a partir de una muestra aleatoria de 100 individuos cada 14 días; los organismos fueron sometidos a dieta durante 18 a 24 h antes del pesaje.

En la etapa de engorda, el pesaje se realizó de manera individual. La longitud total se calculó midiendo 25 individuos en la etapa de crianza y 15 en la etapa de engorde, por lote. Esta etapa se concluyó a los 365 días de iniciado el trabajo.

La evaluación de las características de la canal se realizó al año, usando ocho individuos de cada una de las tres replicas de cada cruce (dos puras y dos cruzamientos) con un total de 96 individuos, mostrando un rango entre 300 a 500 g.

Las características evaluadas fueron peso vivo, longitud total, altura y ancho.

El análisis estadístico de la velocidad de crecimiento de la longitud y del peso corporal, se explica a través de una ecuación no lineal:

$$Y = \frac{K}{1 + [(K - N_0)/N_0] e^{-rt}} + E$$

donde:

Y = Variable de respuesta de longitud o peso corporal

N<sub>0</sub> = Valor de Y al tiempo 0

K = Valor de la variable de respuesta a un tiempo largo o Plateau del crecimiento

R = Estimación del cambio de crecimiento por unidad de tiempo

T = Tiempo de crecimiento

Ln = Logaritmo natural 2.7182818

E = Error aleatorio

La evaluación genética de los efectos aditivos de heterosis general e individual se realizó dentro de cada etapa (crianza y engorda); para las características de peso, talla, altura y rendimiento en canal se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = m + C_i + G_j + e_{(ij)k}$$

donde

Y<sub>ijk</sub> = k-ésima respuesta aleatoria asociada al j-ésimo grupo genético y la i-ésima clase

m = Media poblacional

C<sub>i</sub> = Efecto de la i-ésima clase (líneas puras y cruzadas)

G<sub>j</sub> = Efecto del j-ésimo de los cuatro grupos genéticos y dependiendo de la combinación de línea macho o hembra (ZZ, JJ, ZJ, JZ)

e<sub>(ij)k</sub> = Error aleatorio NID (0, σ<sup>2</sup>).

Por lo tanto, las comparaciones entre líneas puras como cruzadas estima la heterosis general, mientras que las

comparaciones no otorgonales entre grupos, estima la heterosis individual de la cruce<sup>9</sup>. Para el modelo se contó con dos niveles para clases y dos para grupos genéticos, por lo que con tres repeticiones da un total de 11 grados de libertad.

## Resultados

En el Cuadro 1 se muestran los cuadrados medios para peso, longitud y altura al finalizar la etapa de crianza (160 días) y de engorda (365 días); en este cuadro los dos grupos de libertad de líneas se descomponen en puras y cruzadas, con un grado de libertad cada uno. Los resultados indican diferencias estadísticas significativas (P<0.05) entre grupos para todas las variables analizadas. Al ser comparadas las líneas puras, se observó una diferencia estadística para peso y largo total durante la época de crianza (P<0.10) entre ellas.

El comportamiento de las cruces mostró diferencias estadísticas significativas (P<0.05) en todas las variables analizadas. Para esta etapa no se observó respuesta significativa a heterosis (P>0.05).

Para el peso, longitud y altura al finalizar la etapa de crianza y de engorda, los resultados mostraron diferencias significativas (P<0.05) entre grupos, para todas las variables analizadas. Al realizar las comparaciones se observó que en la época de crianza había una diferencia estadística (P<0.10) entre las líneas puras sólo para largo total, mientras que las cruces mostraron diferencias estadísticas para todas las variables analizadas (P<0.05), no observándose respuesta a heterosis en esta etapa.

La etapa de engorda no mostró heterosis para ninguna de las variables analizadas; sin embargo, se observó efecto de grupos sobre peso corporal, longitud total y altura (P<0.10). Al analizar las comparaciones entre ellos, se observaron diferencias entre líneas puras, para longitud total, altura (P<0.10); mientras que las cruces mostraron tener diferencias altamente significativas en todas las características analizadas (P<0.01).

Para la etapa de crianza, la línea Jilotzingo fue más pesada (26.8%) y más larga (9%) que la línea Zarco (P<0.10), mientras que la cruce J x Z tuvo un mayor desarrollo para la etapa de crecimiento y la etapa de engorda (P<0.05), siendo superior a la recíproca (Z x J): 46.4% más pesada, 13% más larga y 5% más de altura. Las medias mínimo cuadráticas se muestran en el Cuadro 2.

La respuesta a la heterosis está en el Cuadro 3, donde la cruce Z x J mostró un comportamiento inferior al promedio de sus padres en todas las variables analizadas, tanto en la etapa de crecimiento como en la de engorda; mientras su recíproca J x Z presentó una respuesta superior al promedio de los padres, siendo la mayor en el desarrollo corporal (19%) en la etapa de crianza y el 6% en la etapa de engorda.

Con respecto a la longitud y altura, se observó nuevamente un mejor resultado en la cruce J x Z en la etapa de crianza. Esto indica una heterosis individual superior en la cruce de hembras de la línea Jilotzingo y con machos de la línea Zarco, que en la recíproca.

CUADRO 1						
CUADRADOS MEDIOS PARA PESO LONGITUD TOTAL Y ALTURA DE LA ETAPA DE CRIANZA (160 DIAS) Y DE ENGORDA (365 DIAS) EN LA TRUCHA ARCOIRIS.						
Origen variación (gl.)	Crecimiento			Engorda		
	Peso	Longitud Total	Altura	Peso	Longitud total	Altura
Heterosis 1	0.01	0.004	0.001	9.3	0.25	0.25
Grupos 2	17.57*	1.83*	0.999	936 3a	1.78*	1.78**
Origen variación (gl.)	Peso	Longitud Total	Altura	Peso	Longitud total	Altura
Líneas puras 1	9.79	1.19 <sup>a</sup>	0.027	1.5	9.88 <sup>a</sup>	0.88
Cruzas 1	25.36*	2.46*	0.171*	871.1*	2.69*	2.69**
Error 8	3.38	0.31	0.017	298.9	0.247	0.247
<sup>a</sup> P<0.10						
*P<0.05						

CUADRO 2						
MEDIAS MINIMO CUADRATICAS PARA LAS VARIABLES DE PESO CORPORAL (G) ALTURA (CM) DE LA TRUCHA ARCOIRIS EN LAS ETAPAS DE CRIANZA (20-160 DIAS) Y ENGORDA (160-365 DIAS).						
Grupo genético	Peso corporal		Altura (cm)		Longitud total	
	Crianza	Engorda	Crianza	Engorda	Crianza	Engorda
J x J	12.12*	269.28	2.26	6.58*	10.41*	28.58*
Z x Z	9.56 <sup>y</sup>	268.28	2.13	6.67 <sup>y</sup>	9.52 <sup>y</sup>	27.81 <sup>y</sup>
Líneas puras	10.84	268.78	2.20	6.63	9.97	28.19
Z x J	8.85 <sup>b</sup>	249.36 <sup>a</sup>	2.01 <sup>b</sup>	6.45 <sup>a</sup>	9.29 <sup>a</sup>	27.24 <sup>a</sup>
J x Z	12.95 <sup>b</sup>	284.68 <sup>b</sup>	2.34 <sup>b</sup>	6.81 <sup>b</sup>	10.54 <sup>b</sup>	28.58 <sup>b</sup>
Cruzas	9 00 <sup>b</sup>	267.02	2.18	6.63	9.93	29.91
E.E	0.75	9.98	0.53	0.104	0.226	0.287
a, b Valores con diferentes literal son estadísticamente diferentes (P<0.05)						
x,y Valores con diferente literal son estadísticamente diferntes (P<0.10)						

CUADRO 3						
RESPUESTA A LA HETEROSIS INDIVIDUAL* PARA LAS VARIABLES PESO CORPORAL ALTURA Y TOTAL EN LA TRUCHA ARCOIRIS EN LA TAPA DE CRIANZA Y ENGORDA.						
Grupo genético	Crianza			Engorda		
	Peso	Altura	Longitud total	Peso	Altura	Longitud total
Z x J	0.82	0.91	0.93	0 93	0.97	0.97
J x Z	19.56	6.36	5.72	5.92	2.71	1.38
* Porcentaje sobre el promedio de los padres						

CUADRO 4			
CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES EDAD (DIAS) LONGITUD TOTAL (cm) Y ALTURA (cm) EN LA TRUCHA ARCOIRIS EN LAS ETAPAS DE CRIANZA (ARRIBA DE LA DIAGONAL) Y ENGORDA (DEBAJO DE LA DIAGONAL).			
<i>Etapas de crianza</i>			
<i>Edad</i>	<i>Longitud total</i>	<i>Altura</i>	<i>Peso</i>
Edad	0.93	0.76	0.61
Longitud total	0.96	0.95	0.96
Altura	0.95	0.98	0.95
Peso	0.91	0.95	0.95

Etapas de engorda

Las correlaciones entre las variables (Cuadro 4) durante la etapa de crecimiento y engorda, tuvieron valores altos en ambas etapas. Sin embargo, se hace notar la correlación de altura y del peso, con la edad, en la crianza; fueron de 0.76 y 0.61, respectivamente, mientras que la época de engorda estas relaciones fueron superiores al 0.90, lo que sugiere que la trucha Arcoiris, en las condiciones ambientales en las que fueron desarrolladas, primero crecen longitudinalmente y después engordan.

El Cuadro 5 muestra el análisis de regresión de los estimadores de los parámetros para longitud corporal durante un año de mediciones (cada 14 días). Se observó un valor significativo para el desarrollo corporal, con un crecimiento logarítmico a partir del décimo periodo, lo que corresponde al inicio de la etapa de engorda. Estos resultados mostraron que el crecimiento de los grupos híbridos es superior (4%) al de las líneas puras, siendo de 8% el de la cruce J x Z y del 0.6%, en su recíproca.

Cuadro 5										
ANÁLISIS DE VARIANZA Y PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN NO LINEAL DE CRECIMIENTO EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD TOTAL, PARA LA POBLACIÓN DE TRUCHA ARCOIRIS EN GENERAL, LÍNEAS PURAS, SUS HÍBRIDOS Y DE SUS CRUZAS RECÍPROCAS.										
<i>Cuadrados medios</i>										
<i>Origen de la variación</i>	<i>gl</i>	<i>General</i>	<i>gl</i>	<i>Puras</i>	<i>Híbridas</i>	<i>gl</i>	<i>Z x Z</i>	<i>J x J</i>	<i>Z x J</i>	<i>J x Z</i>
Regresión	3	26432.55	3	13148.43	13284.6	3	657.9	6898.93	6131.85	7174.15
Residuo	309	0.687	153	0.519	0.787	75	0.563	0.306	0.436	0.314
<i>Estimadores de la ecuación</i>										
<i>Parámetros</i>	<i>General</i>	<i>Puras</i>	<i>Híbridas</i>	<i>Z x Z</i>	<i>J x J</i>	<i>Z x J</i>	<i>J x Z</i>			
K	35.07	35.64	35.54	36.08	35.33	34.79	34.49			
No	2.05	2.11	1.99	2.1	2.12	1.99	1.99			
R	0.16	0.156	0.163	0.152	0.16	0.157	0.169			

**Cuadro 6**  
**ANÁLISIS DE VARIANZA Y PARÁMETROS ESTIMADOS DE LA ECUACIÓN NO LINEAL DE CRECIMIENTO EN FUNCIÓN DEL PESO CORPORAL, PARA LA POBLACIÓN TOTAL, LÍNEAS PURAS E HÍBRIDOS Y DE SUS CRUZAS EN TRUCHA ARCOIRIS.**

Cuadrados medios										
Origen de la variación	Gl	General	Gl	Puras	Híbridas	Gl	Z x Z	J x J	Z x J	J x Z
Regresión	3	1142144.29	3	561422.01	580815.58	3	268951	292820	240573	345091
Residuo	309	130.39	153	104.25	157.26	75	162.05	36.62	50.93	75.85
Cuadrados medios										
Parámetros	General	Puras	Híbridas	Z x Z	J x J	Z x J	J x Z			
K	394.410	399.580	395.37	404.15	385.7	379.37	412.54			
No	0.459	0.445	0.473	0.422	0.47	.0399	.0544			
R	0.288	0.289	0.288	0.288	0.290	.289	0.288			

El crecimiento de la cruce J x Z fue también superior a su recíproca en la etapa de engorda (entre los 170 y los 285 días de edad) con un crecimiento de 10 a 12 cm de longitud y con un promedio de heterosis individual del 6%, con rango del 4.44% en los 285 días de edad y del 8.3% a los 188 días de edad.

Respecto del crecimiento en función de peso corporal, el Cuadro 6 muestra el análisis de regresión para los estimadores de los parámetros. Se observó un efecto significativo ( $P < 0.01$ ) en todos los grupos con un crecimiento logarítmico a partir de los 160 días de edad, lo que representa un incremento de peso de 8 g en promedio. Al analizar el cambio de peso en la cruce J x Z se detectó una respuesta a heterosis en toda la etapa de engorda, siendo sus valores más altos entre los seis y los nueve meses de edad, donde alcanzaron incremento de 10 a 22 g con promedios de heterosis de 21%, disminuyendo después de esta edad, y hasta completar el año.

## Discusión

Las diferencias significativas encontradas para el peso, longitud y altura total, tanto al final de la etapa de crianza como en engorda, en las líneas puras y en sus cruces, concuerda con los estudios realizados por Linder *et al.*<sup>10</sup>, estos autores trabajaron en cruzamiento dialélico con cinco líneas y observaron que a los 24 y 32 meses de edad, la línea Kamloops presentaba mejor comportamiento que la línea Danesa, que es la línea más común en Finlandia. Hörstgen-Schwark *et al.*<sup>11</sup> utilizaron un cruzamiento dialélico con cuatro líneas, encontraron que en las dos etapas de crecimiento, las líneas puras mostraron crecimientos diferentes entre ellas, pero inferior a las cruces. Klupp<sup>12</sup> encontró diferencias entre líneas y sus cruces para altura y ancho, refiriendo que estas diferencias entre cruces son más importantes en la etapa juvenil, mientras que en las líneas puras son más evidentes conforme avanza la edad.

Las correlaciones para longitud y peso ( $< 0.90$ ) para la etapa de crianza en este estudio concuerdan con las encontradas Morkramer *et al.*<sup>13</sup> quienes obtuvieron valores de 0.90 a 0.97 para las mismas características.

Al parecer el comportamiento del crecimiento de los salmónidos es una curva de crecimiento exponencial disminuyendo éste a la madurez sexual donde algunos autores mencionan que llegan al plateau<sup>5, 12, 14, 15, 16, 17</sup>. Los resultados obtenidos en el presente estudio corresponden a una función exponencial, siendo éste el mejor modelo para explicarlo; cabe mencionar que los animales no llegaron a la madurez sexual, esto último imposibilitó observar el plateau.

El desarrollo del crecimiento para cada una de las líneas puras reflejan diferencias entre ellas, siendo similares en eficiencia productiva.

La heterosis está representada por la acción genética no aditiva de dominancia (interacción dentro de locus) y epistasis (interacción entre loci)<sup>14, 18</sup>, se manifiesta en la cruce entre diferentes líneas. Algunos estudios mencionan que ésta puede estar presente en la etapa juvenil, pero no ser significativa estadísticamente<sup>10</sup>.

Se observó una respuesta individual de la cruce J x Z siendo 19% superior para peso corporal al promedio de los padres en la etapa de crianza y 6% superior en la etapa de engorda; con respecto a altura y longitud, la respuesta de esta línea fue importante durante la etapa de crianza, disminuyendo en la etapa de engorda; los resultados concuerdan con otros autores<sup>11</sup>, quienes han encontrado heterosis en los individuos híbridos para la etapa de crianza. Iwamoto *et al.*<sup>19</sup>, al evaluar sus líneas, encontraron que al utilizar una de ellas como hembra presentaba un mejor comportamiento que su recíproca, lo que concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo; Gjerde<sup>20</sup> encontró heterosis general en crecimiento, probablemente debido a que utilizó el cruzamiento dialélico completo entre seis grupos consanguíneos.

Como se observa, es importante la mayor información genética de los animales a evaluar como una estrategia de mejoramiento, ya que algunas características, como la de crecimiento, se ve altamente influenciada por las condiciones ambientales y la interacción de éstas; es recomendable la selección de líneas específicas para cada ambiente y así obtener la máxima respuesta<sup>11, 21</sup>.

Existe heterosis individual y depende en la forma en que se crucen las líneas; se observaron diferencias en el crecimiento de las líneas puras. Las características de peso y longitud están altamente correlacionadas. El mejor comportamiento para la mayoría de las características analizadas fue en animales de la línea Jilotzingo, y cuando ésta era usada como línea masculina.

Es aconsejable realizar evaluaciones de cruzamiento entre diferentes líneas para diferentes ambientes y así poder hacer los programas de mejoramiento genético de acuerdo con las líneas o combinaciones específicas para cada localidad. Se recomienda instrumentar programas de mejoramiento genético en líneas lentas, introduciendo genes de líneas que son de rápido crecimiento.

## Referencias

- Hershberger WK. Genetic variability in rainbow trout populations. *Aquaculture* 1992;100:51-71.
- Nelson JS. *Fishes of the world*. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1994.
- Smith GR, Stearley RF. The classification and scientific names of rainbow and cutthroat trouts. *Fisheries* 1989;14:4-10.
- Secretaría de Pesca. Diagnósis del estado actual del cultivo de la trucha arcoiris de México. México (DF): Secretaría de Pesca, 1989.
- Gall GAE, Gross SJ. Genetic studies of growth in domesticated rainbow trout. *Aquaculture*, 1978;13:225-234.
- Gjerde B, Schaeffer LR. Body traits in rainbow trout II. Estimates of heritabilities and phenotypic and genetic correlations. *Aquaculture* 1989;80:25-44.
- Bernabé G. *Acuicultura*. Vol. II. Barcelona, España: Omega, 1991.
- Hörstgen-Schwark G. Prospects of producing inbred lines for consolidation of growth performance. *Proceedings of the 4<sup>th</sup> World Congress of Genetics Applied to Livestock Production*; 1990 September 10-14; Edinburgh, Scotland, UK. Edinburgh, Scotland, UK: WCGALP, 1990:163-166.
- Becker WA. *Manual of quantitative genetics*. 3rd ed. Pullman (Wa): Washington State University, 1975.
- Linder D, Sumari O, Nyholm K, Sirkkomaa S. Genetic and phenotypic variation in production traits in rainbow trout strains and strain crosses in Finland *Aquaculture* 1983;33:129-134.
- Hörstgen-Schwark G, Fricke H, Langholz HJ. The effect of strain crossing on the production performance in rainbow trout. *Aquaculture* 1986;57:141-152.
- Klupp R. Genetic variance for growth in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 1979;18:123-134.
- Morkramer S, Hörstgen-Schwark G, Langholz HJ. Comparison of different European rainbow trout populations under intensive production conditions. *Aquaculture* 1985;44:303-320.
- Mckay LR, Ihssen PE, Friars GW. Genetic parameters of growth in rainbow trout, *Salmo gairdneri*, as a function of age and maturity. *Aquaculture*, 1986;58:241-254.
- Siitonen L. Factors affecting growth in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) stocks. *Aquaculture* 1986;57:185-191.
- Schreck CB, Moyle PB. *Methods for fish biology*. Bethesda (Ma): American Fisheries Society, 1990.
- Weatherley AH, Gill HS. *The biology of fish growth*. New York: Academic Press, 1990.
- Vásquez PCG. Otro enfoque en la estimación de los efectos genéticos aditivos, dominantes y epistáticos expresados en dos loci. *Téc Pecu Méx* 1983;45:48-52.
- Iwamoto RN, Myers JM, Hershberger WK. Genotype-environment interactions for growth of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 1986;57:153-161.
- Gjerde B. Complete diallele cross between six inbred groups of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture* 1988;75:71-87.
- Mckay LR, Friars GW, Ihssen PE. Genotype x temperature interactions for growth of rainbow trout. *Aquaculture* 1984;41:131-140.