



UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA

UNIDAD IZTAPALAPA.

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

**Evaluación del desempeño productivo de una línea genética
seleccionada de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum)
cultivada en dos sistemas intensivos.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN
BIOLOGÍA**

PRESENTA:

NAYELI ISMENE ARMENDARIZ SAÉNZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSE LUIS ARREDONDO FIGUEROA

COMITÉ TUTORAL:

DRA. IRENE DE LOS ANGELES BARRIGA SOSA

M. EN C. GENOVEVA INGLE DE LA MORA

Noviembre del 2009

“La Maestría en Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana pertenece al Padrón Nacional de Posgrados de Excelencia de CONACYT”

La parte experimental de esta Maestría se llevó a cabo en las instalaciones de la Planta Experimental de Producción Acuícola (PEXPA), de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

El jurado designado por la
División de Ciencias Biológicas y de la Salud,
de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa aprobó la tesis que
presentó Nayeli Ismene Armendáriz Sáenz, quedó integrado de la siguiente
manera:

Presidente: Dr. Abraham Kobelkowsky Díaz
(Nombre)

(Firma)

Secretario: Dra. Irene de los Ángeles Barriga Sosa
(Nombre)

(Firma)

Vocal: M. en C. Genoveva Ingle de la Mora
(Nombre)

(Firma)

Vocal: Dr. José Luis Gómez Márquez
(Nombre)

(Firma)

A mi Director de Tesis el Dr. José Luis Arredondo Figueroa, y mis asesoras la Dra. Irene de los Ángeles Barriga Sosa y la M. en C. Genoveva Ingle de la Mora, por todo el apoyo, tiempo y dedicación recibida para la realización de este trabajo.

A mi madre por estar siempre presente en todos sentidos, por el amor, el gran apoyo, sus palabras, su tiempo, en fin, *Gracias mami*.

A mi padre, por el tiempo incondicional, los viajes, su amor, por estar pendiente de mí.

A mis hermanos (Cesar, Alejandro y Sebastián), por ser los mejores en todo lo que hacen, siempre siendo una inspiración.

A mi esposo, Fede, por alentarme y ayudarme en el trabajo diario, a mi hermosa hija Hannah Ximena, por ser el sol que ilumina mis días.

A mi abue, por todo su tiempo y dedicación.

A mis grandes amigos por hacer de los días pesados los más divertidos (Lauraceli, Adri, Judith, Ofe, Vic, Carlitos, Marce, Isma, Ale, Paloma, Angie y los que me faltaron)

A Dios, por darme la vida y dejarme vivirla con gran intensidad.

Finalmente a todos mis compañeros de trabajo y amigos de la Planta Experimental de Producción Acuícola de la UAM- I.

MUCHAS GRACIAS A TODOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.

Valores óptimos de los parámetros fisicoquímicos para el cultivo de trucha arco iris de acuerdo con Wedemeyer y Wood (1974), modificada y adaptada para las condiciones de México.

Tabla 2.

Tamaño del pienso proporcionado como alimento a las truchas cultivadas.

Tabla 3.

Indicadores de desempeño del cultivo con sus fórmulas.

Tabla 4.

Indicadores de desempeño de la trucha arco iris cultivada en los dos sistemas intensivos.

Tabla 5.

Correlaciones producto-momento de Pearson, de los indicadores de desempeño de la población 1 cultivada en el SCR. Se muestran únicamente aquellas que fueron significativas a un $\alpha = 0.05^*$.

Tabla 6.

Resultados del ANDEVA de una sola vía entre las poblaciones cultivadas.

Tabla 7.

Resultados del ANDEVA en las poblaciones cultivadas.

Tabla 8.

Resultados de los análisis de calidad del agua en los dos sistemas de cultivo.

Tabla 9.

Resultados estadísticos de las pruebas no paramétricas de los dos sistemas de cultivo.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.

Ejemplar adulto macho de la trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* del río Gulkana en Alaska. Se observa que la mandíbula inferior crece marcadamente el época de reproducción.

Figura 2.

Distribución de la trucha arco iris (*O. mykiss nelsoni*) en México (número 13) y de las truchas nativas mexicanas. Las zonas con distintos colores indican las cuencas donde está presente esta subespecie y las especies tentativas. Los círculos numerados indican las áreas en donde se han realizado colectas (Tomada de Espinoza-Pérez y col., 2007).

Figura 3.

Ciclo de vida de un Salmónido anádromo.

Figura 4.

Localización geográfica del Centro Trutícola El Zarco, Estado de México

Figura 5.

Vista de los canales de corriente rápida utilizados en la presente investigación.

Figura 6.

Diagrama del Sistema Cerrado de Recirculación, utilizada en este trabajo.

Figura 7.

a) Toma parcial de algunos de los Progenitores genotificados de trucha arco iris de los cuales deriva la F1 seleccionada; b) Toma parcial de la F1 generada a partir de cruzamientos dialélicos y utilizada en el presente estudio.

Figura 8.

Estanques circulares de 5 m³ de la PExPA utilizados en el experimento.

Figura 9.

Tendencia del crecimiento en peso total (g) con respecto al tiempo de cultivo de las poblaciones 1 y 2 en el SCR.

Figura 10.

Tendencia del crecimiento en longitud total (cm) con respecto al tiempo de cultivo de las poblaciones 1 y 2 en el SCR

Figura 11.

Tendencia del crecimiento en peso total (g) con respecto al tiempo de cultivo de las poblaciones cultivada en los CCR 3 y 6.

Figura 12.

Tendencia del crecimiento en longitud total (cm) con respecto al tiempo de de las poblaciones cultivadas en los CCR 3 y 6.

Figura 13.

Relación longitud-peso de la población 1 cultivada en el SCR.

Figura 14.

Relación longitud-peso de la población 2, cultivada en el SCR.

Figura 15.

Relación longitud-peso de la población cultivada en el CCR 3.

Figura 16.

Relación longitud-peso de la población cultivada en el CCR 6.

Figura 17.

Correlación entre la ganancia de peso total (GPT) y la ganancia en longitud total (GLT).

Figura 18.

Correlación entre la ganancia de peso total (GPT) y peso total de la cosecha (PTC).

Figura 19.

Correlación entre el total de alimento suministrado (TAS) y la sobrevivencia (%).

Figura 20.

Correlación entre el peso total de la cosecha (PTC) y la sobrevivencia (%).

Figura 21.

Correlación entre la sobrevivencia (%) y el peso final (PF).

Figura 22.

Correlación entre la sobrevivencia (%) y la longitud final (LF).

Figura 23.

Fluctuaciones del oxígeno disuelto y la temperatura en el SCR.

Figura 24.

Fluctuaciones del oxígeno disuelto y la temperatura en los CCR.

Figura 25.

Fluctuaciones de los nitritos y nitratos en el SCR.

Figura 26.

Fluctuaciones de los nitritos y nitratos en los CCR.

Figura 27.

Fluctuaciones del NAT y el amoníaco en el SCR.

Figura 28.

Fluctuaciones del NAT y el amoníaco en los CCR.

Figura 29.

Fluctuaciones IUCA a lo largo del tiempo de cultivo en los dos sistemas.

CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	5
INDICE DE FIGURAS	6
CONTENIDO	9
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	13
1. INTRODUCCIÓN.....	15
2. MARCO TEÓRICO.....	17
Descripción de la trucha arco iris.	17
Distribución.	18
Hábitat.	19
Historia de vida.	20
Alimentación.....	21
Calidad del agua.	22
Enfermedades.....	24
Cultivo.	26
3. ANTECEDENTES	30
Aspectos generales.	30
Indicadores de desempeño.	31
Relación longitud-peso.	32
Calidad del agua.	33
4. JUSTIFICACIÓN	34
5. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CULTIVO.....	36
Centro Trutícola “El Zarco”.	36
Planta Experimental de Producción Acuícola (PexPA).	38
6. OBJETIVOS.....	40
General	40
Específicos.....	40
7. HIPÓTESIS.....	41

8. MATERIALES Y MÉTODOS	42
Origen de los organismos.....	42
Alimentación.....	44
Crecimiento y relación longitud-peso.	45
Indicadores de desempeño.	46
Calidad del agua.	47
Análisis estadísticos.....	47
9. RESULTADOS	50
Crecimiento.....	50
Relación longitud-peso.	54
Indicadores de desempeño.	56
Correlaciones entre los indicadores de desempeño.	56
Análisis de varianza de los indicadores de desempeño.	61
Calidad del Agua.....	63
Análisis estadísticos de la calidad del agua.	64
Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos.	64
Índice Único de Calidad del Agua (IUCA).	70
10. DISCUSIÓN.....	71
Crecimiento.....	71
Relación longitud-peso.	72
Indicadores de desempeño.	73
Calidad del agua.....	79
11. CONCLUSIONES.....	83
12. LITERATURA CITADA.....	85

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza el cultivo y manejo de la generación F1 de un lote de trucha seleccionada genéticamente, comparando su desempeño en dos sistemas intensivos de cultivo; un sistema cerrado de recirculación (SCR) y un sistema de canales de corriente rápida (CCR). En el SCR, se colocaron 157 truchas (peso promedio de 15 g y longitud promedio de 10 cm) en seis estanques circulares de mayo del 2007 a abril del 2008, mientras que para el CCR se colocaron 900 y 1,300 crías en dos canales de corriente rápida (con peso promedio de 52 g y longitud promedio de 15.8 cm) de mayo del 2007 a febrero del 2008. Se evaluaron y compararon estadísticamente los siguientes indicadores en ambos sistemas: a) crecimiento en peso (PT) y longitud (LT) con respecto al tiempo de cultivo; b) las relaciones longitud-peso; c) desempeño del crecimiento y eficiencia alimenticia; d) se analizaron los principales indicadores de desempeño a partir de correlaciones y regresiones; e) se contrastó la calidad del agua en ambos sistemas de cultivo y f) se aplicó el índice único de calidad del agua (IUCA) a partir de los parámetros fisicoquímicos analizados. La generación F1 de la trucha arco iris seleccionada presentó tendencia a la homogeneidad en crecimiento en PT y LT a lo largo del periodo de cultivo en ambos sistemas, alcanzando mayor PT en menor tiempo en los CCR, debido principalmente a las diferencias en la densidad utilizada y al tipo de sistema de cultivo. La relación longitud-peso mostró un crecimiento isométrico en ambos sistemas. Los indicadores de desempeño más útiles para propósitos comparativos fueron los relacionados con el crecimiento (TEC, FCA y FC). Los indicadores de desempeño presentaron correlaciones significativas, agrupando a los indicadores que tienen relación con el incremento en peso, la longitud y la sobrevivencia. El modelo de ajuste que explicó mejor esta correlación fue el cuadrático con coeficientes de correlación por encima 97%. El análisis de varianza no indicó diferencias significativas en las poblaciones cultivadas en ambos sistemas en los indicadores de desempeño en cuanto a cantidad de alimento suministrado (CAS), peso total de la cosecha (PTC) y rendimiento total por volumen (RTV) y el

efecto entre los sistemas y dentro de los sistemas fue significativo para estos indicadores. Finalmente, el análisis estadístico mostró que los parámetros que determinan la calidad del agua en ambos sistemas presentaron diferencias significativas (excepto por los niveles de concentración del oxígeno disuelto). El índice único de calidad del agua (IUCA), resultó ser una herramienta útil para caracterizar a cada sistema y permite tener un seguimiento del comportamiento general con respecto al tiempo. Este índice puede ser utilizado con propósitos comparativos bajo diferentes sistemas de cultivo.

Palabras clave: *Oncorhynchus mykiss*, trucha arco iris seleccionada, desempeño, IUCA.

ABSTRACT

The culture and managing conditions of a genetically selected F1 rainbow trout were studied by means of contrasting two intensive culture systems; a recirculation aquaculture system (RAS) and a raceway system (RWS). In the RAS, a set of 157 rainbow trout (15 g mean weight and 10 cm mean length) per tank were introduced in six tanks from May 2007 to April 2008, whereas in the RWS, 900 and 1,300 (with a mean weight of 52 g and 15.8 cm mean length) fries were located each in a one raceway system from May 2007 to February 2008. The following indicators were evaluated and statistically compared: a) growth in weight (TW) and length (TL) with respect to the time in culture; b) the length-weight relation; c) growth and food efficiency performance indicators; d) the main performance indicators were tested by correlation and regression analyses; e) water quality was contrasted in both systems and a f) the Water Quality Unique Index (WQUI) was utilized by using the physicochemical parameters analyzed. The genetically selected F1 rainbow trout showed a tendency towards homogeneity in growth both in TW and TL along the culture period in both systems, reaching higher TW in less time in RWS, due mainly differences in density and type of system. The length-weight indicated an isometric growth in both systems. The best performance indicators for comparison purposes were those related to growth (SGR, FCF and CF). The performance indicators showed significant correlations, grouping those indicators related to the increase in growth, length and survivorship. The model that best explained these correlations was the quadratic with correlation coefficients higher than 97%. The ANOVA did not show significant differences in the populations cultures in both systems in the following performance indicators, amount of supplied feed (ASF), total postharvest weight (TPW) and total yield per volume (TYV), however the effect of these indicators between and within the systems was significant. Finally, statistical analyses indicated that the parameters that determine water quality in both systems showed significant differences (except for the oxygen concentration levels). The WQUI, showed to be a useful tool to characterize each system and allow to a continuum in the general

performance in relation to time and can be utilized for comparative purposes in different systems.

Key words: *Oncorhynchus mykiss*, selected rainbow trout, performance, WQUI.

1. INTRODUCCIÓN

La trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) es un pez nativo del Pacífico Norte que ha sido domesticado y cultivado durante más de un siglo en América del Norte (Stickney, 1996). La trucha fue introducida a México en el año de 1886 a partir de un lote de huevos oculados procedentes del sur de California, EE.UU. (Álvarez y col. 1961; Arredondo-Figueroa y Lozano-García, 2003). A partir de esta fecha se inició el cultivo de la trucha en nuestro país y actualmente genera una derrama económica importante, encontrándose dentro de las cinco especies con mayor producción (Anuario Estadístico, 2006).

Ha tenido que pasar más de un siglo para poder consolidar la tecnología de su cultivo y durante éste tiempo ha enfrentado serios problemas relacionados con su desarrollo. Así por ejemplo, al principio el cultivo fue más de fomento y se orientó principalmente a producir crías e introducirlas en diversos cuerpos de agua de las zonas altas y montañosas de la República Mexicana, ejerciendo lo que en la práctica se conoce como “extensionismo piscícola”, con el objeto de promover la pesca deportiva, ya que es una especie apreciada por los amantes de esta actividad. A medida que se incrementó el conocimiento y el interés por este salmónido, surgió la inquietud de realizar su cultivo de ciclo completo; de esta manera la iniciativa privada y el sector social organizado empezaron a interesarse en el cultivo y a construir granjas y no fue sino hasta la época de los setenta cuando empezó un movimiento serio a favor de su cultivo, con bases científicas y tecnológicas apropiadas para desarrollar en pleno esta actividad económica. Algunas causas que impulsaron el cultivo fueron la elaboración y venta de alimentos balanceados comerciales, la producción de millones de crías en los centros acuícolas propiedad del gobierno federal y las condiciones favorables en algunas zonas geográficas del país (Anónimo, 1984).

No obstante, en el desarrollo de los cultivos se presentaron serios problemas; entre ellos cabe destacar dos como los más importantes: a) la calidad genética de los organismos y b) la sanidad acuícola, particularmente, la presencia de enfermedades infecciosas bacterianas y virales introducidas de otros países por la importación de huevo “oculado”. En este último caso destaca la enfermedad viral conocida como Necrosis Pancreática Infecciosa (IPN), la cual fue confirmada en el año del 2000, después de la introducción de un lote de huevo oculado proveniente de Estados Unidos, identificando a la cepa Buhl de IPN del serotipo West Buxton (A1) (Ortega y col. 2002), que ocasionó grandes pérdidas económicas a los productores en el inicio del nuevo siglo.

Para poder consolidar la truiticultura mexicana e incrementar los niveles de producción, se requiere fortalecer la capacidad para producir organismos de calidad genética certificada, que se adapten a las condiciones geográficas de la República Mexicana, que muestren un desempeño adecuado de cultivo que estén libres de enfermedades infecciosas. Para lograr esto, es necesario establecer mecanismos adecuados para realizar investigaciones aplicadas que coadyuven a resolver los problemas actuales que tienen los productores.

El presente trabajo, forma parte del proyecto SAGARPA-CONACYT (12147), cuyo título es “Desarrollo de un programa de selección y mejoramiento genético de trucha arco iris y truchas mexicanas a través de la instrumentación y operación de un Centro de Referencia”. La parte que incluye la presente investigación, corresponde al manejo de una población F1 generada a partir de un lote genéticamente seleccionado y libre de enfermedades infecciosas que afectan a estos organismos, particularmente de la Necrosis Pancreática Infecciosa (IPN) (NOM-010-PESC-1993).

2. MARCO TEÓRICO

Descripción de la trucha arco iris.

La trucha arco iris, *O. mykiss*, pertenece a familia Salmonidae. Es un pez teleósteo que llega a alcanzar una longitud máxima de 120 cm, un peso máximo de 25.4 kg y una edad hasta de 11 años. Se le puede encontrar en aguas con temperaturas que oscilan entre los 10 y los 24 °C (Hart, 1973).

Su cuerpo es alargado y se reconocen al menos dos tipos; la trucha Kamloops y la Steelhead, siendo esta última la que alcanza tallas mayores. La longitud de la cabeza representa el 20% de la longitud total; pero varía con la madurez sexual de los machos especialmente en la Steelhead; los ojos son de tamaño moderado y representan el 20% de longitud de la cabeza; la nariz es redondeada y es ligeramente más grande que el diámetro del ojo, excepto en los machos maduros, cuando se extiende la mandíbula inferior y se torna hacia arriba; la boca es terminal y ligeramente oblicua, con procesos premaxilares no retráctiles; los maxilares son largos y rebasan el nivel de los ojos; los dientes están bien desarrollados en ambas mandíbulas. Presentan de 16 a 22 branquiespinas, en el primer arco branquial generalmente de 6 a 9 en el borde superior y de 11 a 13 en el inferior. Presenta de 8 a 12 radios branquiostegos y de diferente número en ambos lados; presentan una aleta dorsal adiposa; la aleta caudal no es larga y está moderadamente dividida, la anal no es larga ni alta y las pélvicas son más pequeñas. Tiene la línea lateral completa, ligeramente curvada en la parte anterior y contiene de 100 a 150 poros en las escamas y se encuentran de 60 a 66 vertebras (Scott y Crossman, 1973).

Su coloración varía con respecto a su hábitat. Las que viven en ríos y arroyos son más oscuras con colores más intensos y las que viven en lagos, son más claras,

brillantes y plateadas; las primeras son conocidas como trucha arco iris y las segundas como Kamloops. Los organismos de mayor tamaño que regresan del mar a desovar en la parte alta de los ríos, presentan una coloración plateada y por ello son conocidas como Steelhead. En la parte posterior de la cabeza se nota una coloración que va del azul-acero, azul-verde hasta el amarillo-verde con una tendencia a ser de color café. Las partes laterales son de color plata, blanco, amarillo pálido o bien gris. Las mejillas y opérculos son rosados. Los lados del cuerpo presentan un ligero color rosado, que se encuentra restringido a la parte superior de la línea lateral. Las aletas caudal y primera dorsal presentan manchas negras (McPhail y Lindsey, 1970) (Figura 1).



Figura 1. Ejemplar adulto macho de la trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* del río Gulkana en Alaska.

Distribución.

Esta especie se distribuye naturalmente desde Alaska hasta la península de Baja California en México, con una subespecie local, *O. mykiss nelsoni*, que habita en la sierra de San Pedro Mártir en Baja California Norte. En el Noroeste de México, en las partes altas y montañosas de los estados de, Chihuahua, Durango, Sonora y Sinaloa se distingue una nueva especie endémica, la trucha dorada *O. chrysogaster* Needham and Gard 1964 (Smith y Stearley, 1989) y múltiples supuestas especies nuevas (Espinosa-Pérez y col., 2007; Hendrickson y col., 2007 y 2002), las cuales han sido sugeridas como ocho unidades genéticamente independientes (De Los Santos, 2008) (Figura 2).

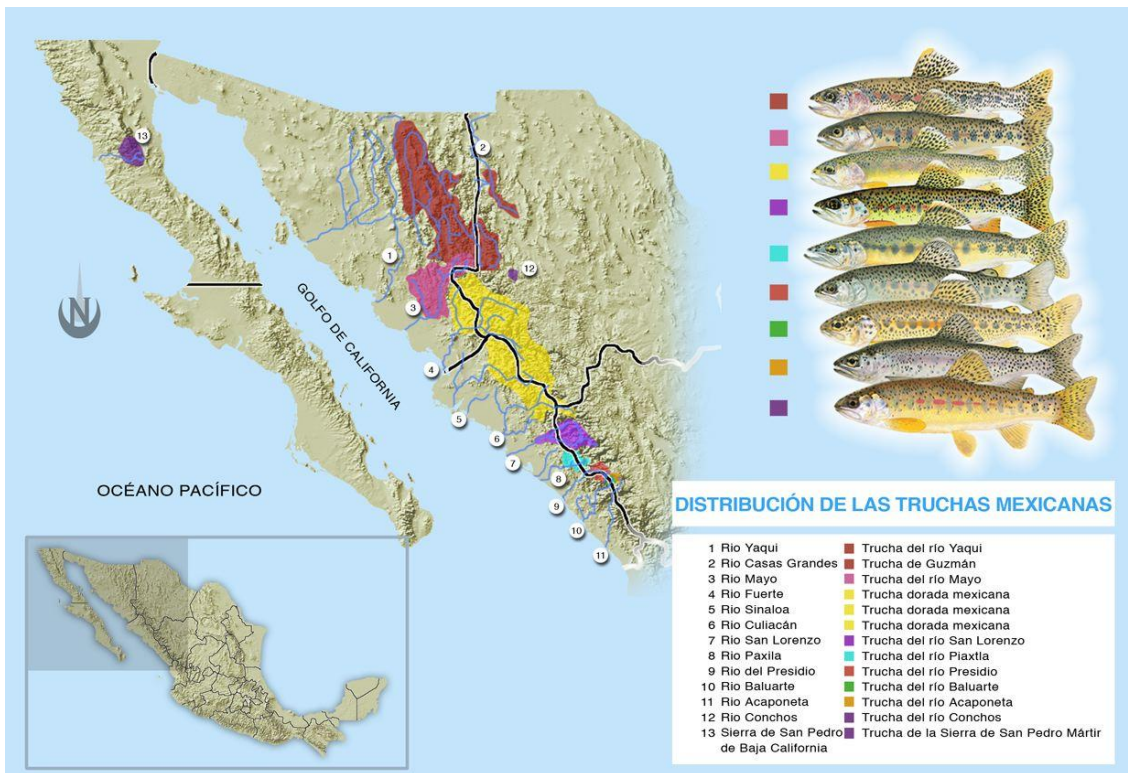


Figura 2. Distribución de la trucha arco iris (*O. mykiss nelsoni*) en México (número 13) y de las truchas nativas mexicanas. Las zonas con distintos colores indican las cuencas donde está presente esta subespecie y las especies tentativas. Los círculos numerados indican las áreas en donde se han realizado colectas (Tomada de Espinoza-Pérez y col., 2007).

Hábitat.

O. mykiss es una especie anádroma que de manera natural se reproduce en agua dulce en las partes altas y frías de los ríos y que migra posteriormente al mar para crecer y alcanzar el estado adulto. La reproducción se lleva a cabo en los remansos de los ríos, en el fondo donde hay presencia de grava. En países como en la República de Chile, el cultivo de la trucha se lleva a cabo en dos fases: la primera comprende la reproducción, cuidado y manejo de los huevos y la producción de crías y juveniles marca “parr” en las zonas altas y frías, en donde se aprovechan los lagos y presas; la segunda fase consiste en la adaptación lenta y gradual de los juveniles o

“smolts” a la salinidad marina (35 g/L), en las llamadas balsas-jaulas en donde son cultivadas hasta alcanzar su talla comercial (Blanco, 1995; Arredondo-Figueroa y Lozano-García, 2003).

En México, todo el ciclo de cultivo desde el huevo hasta la talla comercial se lleva a cabo en agua dulce, ya sea en presas, estanques, canales de corriente rápida, jaulas y recientemente en sistemas cerrados de recirculación.

Historia de vida.

El ciclo de vida se inicia con la reproducción cuando los organismos están preparados para realizar el cortejo nupcial y la liberación de los gametos masculinos y femeninos. Desde el mar las truchas maduras remontan los ríos provenientes del mar hasta alcanzar el sitio donde originalmente nacieron. Una vez que alcanzan la parte alta del río, se lleva a cabo el cortejo, la ovodepositación y la fecundación de los ovocitos maduros. Los huevos son colocados en el fondo de los ríos. El diámetro del huevo va de 0.3 a 0.45 cm y es incubado durante un periodo de 15 a 20 días dependiendo de la temperatura del agua. A 10 °C el desarrollo embrionario suele durar 20 días. Después de la eclosión, los alevines alcanzan una longitud total de 1.5 cm y un peso total de 0.25 g. En este estado no tienen movimiento propio y están sujetos al vaivén de la corriente; a medida que absorben el saco vitelino empiezan a desplazarse en la columna de agua y se inicia a la alimentación exógena. En aproximadamente 40 días alcanzan la condición de cría con una talla promedio que varía de 2.5 a 3.0 cm y un peso entre 2.5 y 3.0 g. A partir de aquí se inicia la migración hacia el mar y pasan por dos fases de preparación: los juveniles son conocidos como “parr” que es el inicio del proceso fisiológico mediante el cual se preparan para adaptarse a la salinidad marina y posteriormente a fase conocida como “smolt” que es cuando los organismos pueden penetrar a aguas marinas sin ningún problema. Generalmente las truchas en este estado alcanzan un peso entre

los 200 y 300 g y permanecen en el mar por lo menos dos años, hasta alcanzar pesos de 2 a 3 kg que es cuando regresan a su sitio de nacimiento a reproducirse y así se cierra el ciclo de vida de esta especie (Méndez y col., 1989; Blanco, 1995; Arredondo-Figueroa y Lozano-Gracia, 2003) (Figura 3).

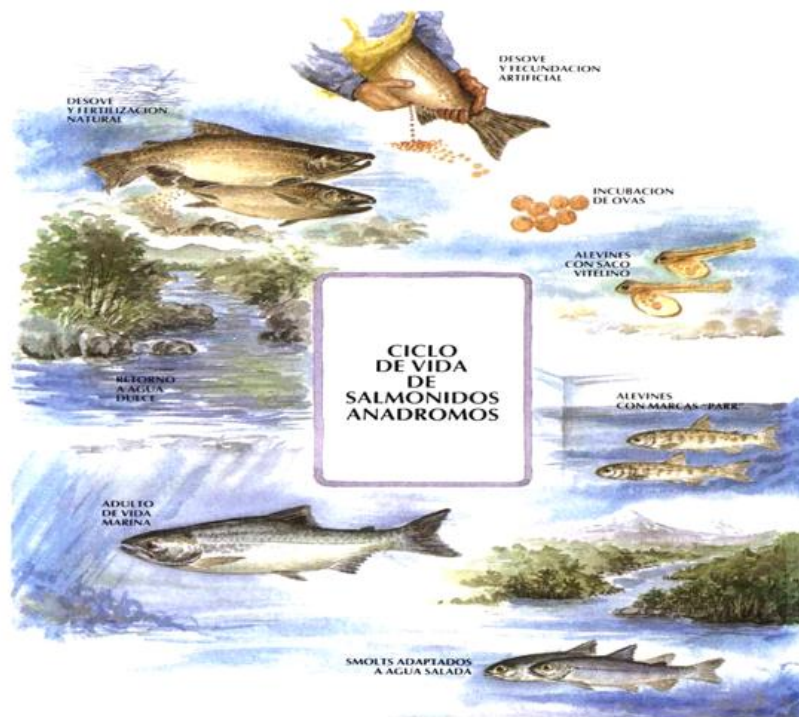


Figura 3. Ciclo de vida de un Salmónido anádromo (Méndez y col., 1989)

Alimentación.

Existen numerosos artículos acerca de los hábitos alimentarios de la trucha. La mayoría de estos trabajos confirman que la trucha se alimenta en su medio natural de cuatro grupos principales de organismos: zooplancton, invertebrados del bentos, insectos terrestres y peces. Se ha encontrado que prefieren la pulga de agua (*Daphnia* sp.) sobre todo las mayores de 1.3 mm. Los invertebrados bentónicos incluyen una amplia variedad de organismos tales como anfípodos, insectos

acuáticos, moluscos y gusanos planos. Los insectos terrestres forman una pequeña parte de la dieta, pero incluyen una amplia variedad de especies. La dieta piscívora la adquieren cuando alcanzan una talla de 25 a 40 cm (Andrusak y Parkinson, 1984).

En condiciones de cultivo, en todas las etapas del ciclo de vida excepto en la de alevín que no consume alimento, se utilizan alimentos balanceados producidos por distintas empresas comerciales con diferentes presentaciones, que van desde el alimento de iniciación con 52% de proteína y 14% de lípidos, hasta el trucha finalizador con 40% de proteína y 10% de lípidos. El tamaño del alimento o pienso varía desde 3/32 y 2.4 mm de longitud para crías de 10 a 13 cm de longitud y de 11 a 27.7 g de peso, hasta el 3/16 y 4.8 mm para truchas con una longitud de 24 a 33 cm y de 168 a 465 g de peso.

La frecuencia de alimentación fluctúa desde 10 raciones al día en crías hasta dos raciones al día en truchas mayores de 168 g. El porcentaje de alimento a suministrar fluctúa desde el 5% de la biomasa del pez por día en crías hasta 0.9% en truchas de 168 g.

En México, existen varias marcas de alimento balanceado que cubren los requerimientos nutrimentales de la trucha en todo el ciclo de vida del organismo, desde la etapa de cría hasta la talla comercial (Arredondo-Figueroa y Lozano-García, 2003).

Calidad del agua.

El término calidad del agua se refiere a las características físicas y químicas del agua y son determinantes para el cultivo de la trucha arco iris. De acuerdo con Wedemeyer y Wood (1974), la calidad óptima para el cultivo de la trucha debe estar en los límites señalados en la tabla 1.

Tabla 1. Valores óptimos de los parámetros fisicoquímicos para el cultivo de trucha arco iris de acuerdo con Wedemeyer y Wood (1974), modificada y adaptada para las condiciones de México.

Parámetros	Nivel aceptable
Temperatura ideal °C	13 a 19
Temperatura para crecimiento °C	14 a 19.3
Temperatura para reproducción e incubación °C	7 a 13
Oxígeno disuelto (mg/L)	mayor de 5
pH	6.5 a 9.0
Alcalinidad total (mg/L como CaCO ₃)	20 a 200
Dióxido de carbono (mg/L).	menor de 2
Calcio (mg/L).	mayor de 52
Zinc (mg/L)	0.04 a un pH de 7.6
Cobre (mg/L).	0.3 en agua dura
Hierro (mg/L).	menos de 1
Amoniaco NH ₃ (mg/L)	menos de 0.012
Nitrito N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	menos de 0.55
Nitrato N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	menos de 30
Nitrógeno total (mg/L)	100% de saturación
Sólidos disueltos (mg/L)	menos de 500
Sólidos suspendidos (mg/L)	menos de 80
Sulfuro de hidrógeno (mg/L).	menos de 0.002

Uno de los objetivos de la truiticultura intensiva es maximizar la capacidad de carga de los sistemas de cultivo, es decir la densidad de peces por metro cúbico, la cual a menudo está limitada por los parámetros químicos, físicos y biológicos del agua que alimentan el sistema de cultivo (Clark, 2003). El incremento en la tasa de crecimiento y la sobrevivencia de los salmónidos mantenidos en elevadas densidades depende básicamente de la calidad del agua. Los parámetros que pueden ser considerados como los óptimos para el cultivo de la trucha, independientemente de los señalados por Wedemeyer y Wood (1974) y de acuerdo con varios autores, son el oxígeno disuelto OD de 5 a 21 mg/L (Colt y Watten, 1988; Colt y Orwicz, 1991); dióxido de carbono que debe ser menor de 20 mg/L (Speece y col., 1988), el amoniaco (NH₃),

cuyo valor debe ser menor de 0.013 mg/L (Colt y Orwicz, 1991); el pH de 6.5 a 9.0 (Piper y col., 1982), el nitrógeno disuelto menor de 105% de saturación y la temperatura menor de 18 °C (Colt y Tomasso, 2001).

Clark (2003) encontró, al comparar varios canales de corriente rápida con distintos niveles de oxígeno disuelto, que el hematocrito de la sangre y el porcentaje de la masa visceral mejoraba significativamente en los canales en cuanto se aplicó oxígeno líquido adicional en contraste con aquellos en los que se colocaron aereadores. Además, se incrementó también la capacidad de carga del sistema, demostrando que la inyección de oxígeno líquido a los canales es un medio efectivo para incrementar la concentración de OD en el agua, reduciendo el efecto del aporte de la materia orgánica e incrementando la capacidad de carga.

Enfermedades.

Existen diferentes factores que influyen sobre la presencia de enfermedades en la trucha arco iris bajo condiciones de cultivo, entre ellos se encuentran los relacionados la nutrición y alimentación, el medio ambiente, diversos patógenos, y el estado fisiológico de los organismos.

Las enfermedades relacionadas con la nutrición y alimentación son conocidas como enfermedades nutricionales, dado que aquellos alimentos que no cubren los requerimientos nutricionales de las truchas en sus diferentes etapas de crecimiento, pueden ocasionar la presencia de cataratas, perforaciones en el iris, licuefacción microfática, escoliosis y lordosis. Afortunadamente, estas enfermedades se han reducido notablemente porque ya existen en el mercado alimentos balanceados que cubren perfectamente los requerimientos de la trucha arco iris en todas las etapas de cultivo. No obstante, cuando se llegan a presentar estas enfermedades, se atribuye al productor del alimento por un lado, por la formulación deficiente y por otro lado al

cultivador, sobre todo si no aplica suficiente alimento, si el tamaño del pienso no es el correcto o las condiciones de almacenamiento no es el adecuado.

Otras enfermedades están relacionadas con la calidad del agua, como por ejemplo niveles bajos de oxígeno disuelto, la presencia de concentraciones elevadas de metabolitos tóxicos como el nitrito y el amoníaco, exceso de magnesio (afectan los riñones) y la presencia de otros contaminantes agrícolas e industriales.

Los organismos patógenos son los más agresivos y pueden provocar mortalidades masivas: entre éstos se reconocen a los virus, bacterias, protozoarios y gusanos. La mayoría de las enfermedades infecciosas se hacen presentes en condiciones de estrés, ya sea por un manejo indebido o problemas con la calidad del agua. Los patógenos pueden entrar al pez a través del intestino, la piel, la boca o las branquias. Son transportados por el sistema sanguíneo y quedan atrapados en el bazo, riñón, corazón, meningues y cerebro. Existen bacterias que afectan el hígado y al riñón, otras al tejido muscular como la furunculosis, o bien virus que causan hemorragias en el hígado y páncreas.

En el caso de los virus, existen tres enfermedades que suelen presentarse en la trucha arco iris: a) la necrosis pancreática infecciosa conocida como IPN, b) la necrosis hematopoyética infecciosa NHI y c) la septicemia hemorrágica viral SHV. De éstas, la primera ha sido reportada en México y es la más peligrosa ya que puede causar el 90% de mortalidad y puede ser transmitida por huevos contaminados, es decir, su transmisión es de carácter vertical. Probablemente, esta enfermedad fue introducida a nuestro país por huevo importado (Ortega y col. 2002).

Entre las enfermedades provocadas por bacterias existen tres tipos: a) las sistémicas agudas, b) las sistémicas crónicas y c) las cutáneas agudas. Su identificación es difícil y requiere la intervención de laboratorios especializados. Entre las más importantes se tiene a las primeras en donde se incluye a la furunculosis, la

enfermedad entérica de la boca roja, la septicemia hemorrágica, la vibriosis y la Stretococosis (Klontz, 1991).

Cultivo.

Diferentes lotes de trucha arco iris *O. mykiss* han sido introducidos a México con fines de cultivo y reproducción, particularmente en las regiones montañosas y frías de los estados de México, Morelos, Michoacán, Hidalgo, Puebla, Querétaro, Tlaxcala, Guerrero, Guanajuato, Distrito Federal, Jalisco, Veracruz, Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila (Arredondo-Figueroa y Lozano-García, 2003). Esta especie ha sido preferida con respecto a otras especies introducidas como la trucha de arroyo *Salvelinus fontinalis* (Mitchill, 1814) y la trucha café *Salmo trutta* (Linnaeus, 1758), debido a su alto grado de domesticación, ya que se adapta mejor a condiciones de cautiverio, facilitando su manejo y alimentación, y especialmente el control natural y artificial de su reproducción, brindando la posibilidad de la manipulación sexual y cromosómica de los individuos, para realizar hibridaciones y una adecuada selección genética (Blanco, 1995).

Es por esta razón, que la truiticultura mexicana está basada exclusivamente en la producción de esta especie que ahora tiene más de un siglo que se estableció en México y la producción ha ido creciendo paulatinamente a lo largo del tiempo. En el año 2002 se registró una producción de 3,445 toneladas, ocupando el quinto lugar de la producción acuícola (Anuario Estadístico 2006), así como la presencia de más de 1,000 unidades de producción y de autoconsumo ubicadas en los estados de Michoacán, México, Veracruz, Chihuahua, Puebla e Hidalgo (Carta Nacional Pesquera, 2004).

Las tecnologías aplicadas al cultivo de la trucha son variadas, generalmente se utilizan los sistemas intensivos tales como los canales de corriente rápida, jaulas

flotantes o fijas y estanques de diferentes tamaños y formas (Olmos y Tejeda, 1990). Por otro lado, en los últimos años se ha observado un claro avance en el diseño y manejo de sistemas cerrados de recirculación (SCR) de agua para la acuicultura (Ingle de la Mora y col., 2003). Estos últimos sistemas, reciben una especial atención por el potencial que exhiben para reducir los requerimientos de agua para las actividades acuícolas, ahorran energía, maximizan la producción de peces bajo limitaciones de agua y espacio, minimizan los problemas de efluentes reduciendo así las descargas de desechos al ambiente, controlan y regulan los parámetros de la calidad del agua e incrementan la flexibilidad en la localización de sitios para construir instalaciones de acuicultura (Lucchetti y Gray, 1988; Heinen y col., 1996; Arredondo-Figueroa y col., 2006).

Sin embargo, uno de los principales problemas que presentan los SCR es la eliminación de metabolitos tóxicos, como el amoníaco ($N-NH_3$) y el nitrito ($N-NO_2^-$) (Ingle de la Mora y col., 2003), ya que el nitrógeno amoniacal, es excretado por los peces a través de branquias y orina (Foster y Goldstein, 1969; Lagler y col., 1984) y es producido por la descomposición microbiana del alimento no consumido y de las excretas. La mayoría de estos sistemas incluyen componentes similares en sus procesos, que están basados principalmente en la filtración mecánica, filtros biológicos, aeración y oxigenación, así como desinfección del agua mediante el uso y aplicación de luz ultravioleta o bien de ozono (Gustavson, 1998). Actualmente, en la Planta Experimental de Producción Acuícola se está utilizando un sistema nuevo de purificación del agua conocido como activH₂O que genera un oxidante molecular que ataca directamente las membranas y puentes proteicos de las bacterias, destruyéndolas en el acto. La principal razón del estudio de estos sistemas, es que la piscicultura requiere de una óptima calidad del agua para lograr un sistema de recirculación eficiente y productivo por lo que es menester considerar los elementos fundamentales en el diseño y el manejo del sistema (Heinsbroek y Kamstra, 1990).

La independencia de los sitios donde se construyen y la consiguiente proximidad del mercado, ha sido el motor principal para el desarrollo de sistemas cerrados de recirculación. Además, para su posible uso en otros sitios no viables para la acuicultura en los que, por ejemplo, la calidad, cantidad de agua así como su temperatura, el costo de la tierra u otros parámetros se encuentran fuera de márgenes aceptables, la reducción del impacto ambiental ha sido un factor importante en el desarrollo de estos sistemas (Shnel y col., 2002).

Por otro lado, los canales de corriente rápida (CCR) presentan algunas ventajas con relación a los sistemas cerrados de recirculación como un menor costo de producción, menor frecuencia de limpieza y elevada capacidad de autodepuración. Estos sistemas, son estructuras típicamente largas y estrechas, rectangulares en las que el agua de abastecimiento fluye continuamente. Los lados y el fondo pueden ser construidos en cemento, en tierra o en piedra del sitio. Estos pueden poseer diferentes tamaños y formas. Dichos sistemas funcionan intensivamente a mayores densidades. El flujo de agua presenta recambios en ocasiones por hora. De esta forma, los residuos generados se arrastran junto a la corriente de agua y sedimentan en su última parte, dependiendo de su construcción, muchas veces en su nivel más bajo de donde se descargan por bombeo o por sifoneo (Egna y Boyd 1997). Se trata de un sistema abierto, esto quiere decir que el agua no es reutilizada, pueden estar construidos de manera secuencial o en forma individual, siendo estos últimos los más apropiados para evitar la propagación de enfermedades. Su capacidad de carga varía dependiendo las características de los canales (Faulk y col., 2007).

Para incrementar el rendimiento acuícola y obtener una mayor rentabilidad económica, se ha hecho un esfuerzo considerable para la selección de líneas mejoradas genéticamente. Dentro de las prácticas acuícolas que se utilizan para evaluar estas líneas se encuentran los indicadores de desempeño, tales como la tasa de crecimiento, el tamaño alcanzado en la madurez, la composición del músculo, y la resistencia a enfermedades (Gjerde, 1993; Gjøen y Bentsen, 1997; Gjedrem, 2000;

Midtlyng y col., 2002). La trucha arco iris bajo condiciones intensivas de cultivo, está expuesta a un régimen de agentes estresores agudos y crónicos, que tiene efectos adversos sobre el crecimiento y la calidad de carne, entre otros aspectos (Barton y col., 1987; Barton y Iwama, 1991; Balm, 1997; Sigholt y col., 1997; Schreck y col., 2001), motivo por el cual, en la prácticas actuales se trabaja para reducir al máximo cualquier agente estresor para obtener mejores resultados en la producción intensiva.

3. ANTECEDENTES

A continuación se presentan los antecedentes más relevantes que incluyen la temática del presente trabajo en orden cronológico, iniciando desde los trabajos más antiguos hasta los más recientes.

Aspectos generales.

Con relación a los aspectos generales de biología y sistemas intensivos de cultivo Andrusak y Parkinson (1984) realizaron estudios acerca de los hábitos alimenticios de la trucha arco iris *O. mykiss* en el Lago Kootenay, en Columbia Británica en Canadá. Anónimo (1984) elaboró una guía práctica para el cultivo de la trucha. Velázquez y Espinosa (1989) realizaron un diagnóstico del estado actual del cultivo de la trucha arco iris en México. Un trabajo importante a destacar es el realizado por Klontz (1991) quién elaboró un manual para la producción de trucha arco iris en granjas familiares, donde aborda diversos aspectos sobre como mejorar la producción de esta especie.

Lazur y Britt (1997) publican los principios y características básicas, así como los modelos de recirculación utilizados en la acuicultura. En 1998, Losordo y colaboradores realizaron un análisis sobre los sistemas cerrados de recirculación en acuicultura, haciendo un énfasis especial en sus aspectos Masser y col. (1999) describieron el manejo de los sistemas cerrados de recirculación utilizados en la acuicultura; Skjølstrup y col. en 1999, probaron un par de dietas medicadas en un sistema de recirculación para trucha arco iris, con buenos resultados. Shnel y col. (2002), diseñaron y evaluaron un sistema de recirculación para tilapia de cero descargas, obteniendo resultados interesantes, McGee y Cichra (2002), describieron de manera general los canales de corriente rápida utilizados en la acuicultura, y

finalmente Piggot (2008) analizó las ventajas y las desventajas de los canales de corriente rápida y los estanques circulares.

Indicadores de desempeño.

En lo que respecta a los indicadores de desempeño, en 1996 Arredondo y col. publicaron un trabajo sobre la evaluación del crecimiento, factor de conversión del alimento y calidad del agua del cultivo de la trucha arco iris en un sistema cerrado de recirculación. Alvarado (1998) publicó un trabajo acerca del efecto de diferentes concentraciones de calcio sobre el desarrollo de la trucha arco iris en condiciones de cultivo. Pokniak y col. (1999) efectuaron una investigación acerca de los efectos de alimento extruido y peletizado sobre la respuesta productiva de la trucha arco iris de tamaño plato. Alvarado (1999) describió el crecimiento y la sobrevivencia de la trucha arco iris cultivada en diferentes tipos de estanques y densidades. Otros trabajos que describen el desempeño de la trucha bajo distintas condiciones son el de Akbulut y col. (2002) quienes analizaron el efecto de la talla inicial de siembra sobre la tasa de crecimiento de la trucha arco iris cultivada en jaulas en la costa de Mar Negro en Turquía. Thiessen y col. (2003), evaluaron los indicadores de desempeño y la digestibilidad de dietas a base de proteína vegetal en juveniles de trucha.

Yildiz (2004) realizó un estudio acerca de la calidad del filete y el desempeño del cultivo de la trucha arco iris alimentada con dietas que contienen diferentes cantidades de vitamina E; Blanc y col. (2005) analizaron la variación maternal en la sobrevivencia de juveniles y crecimiento de híbridos triploides entre hembras de trucha arco iris y machos de trucha café y “brook charr”.

Pokniak y col. (2005) evaluaron dos estrategias de pigmentación en el Salmon Coho *Oncorhynchus kisutch*. Ingle de la Mora y col. (2006), compararon la eficiencia de la pigmentación de la oleoresina del chile rojo (*Capsicum annuum*) y la astaxantina en

la pigmentación del filete de trucha arco iris. Aknes y col. (2006) evaluaron el hidrolizado fraccionado como un ingrediente en la alimentación de la trucha arco iris con dietas con proteínas vegetales de alta calidad. Palti y col. (2006), evaluaron la respuesta de crecimiento de familias de trucha arco iris con dietas basadas en harina de pescado y gluten, observaron que los valores de crecimiento en ambas familias fueron similares. Morales y Quirós (2007), analizaron el desempeño de la trucha arco iris en jaulas bajo diferentes estrategias de alimentación, llegaron a la conclusión de que alimentar a saciedad sería la mejor opción durante el verano, cuando se presenta la temperatura óptima para su crecimiento. Yoshtitomi y col. (2007) analizaron el efecto del reemplazamiento total en la dieta de la harina de pescado por “krill” (*Euphausia superba*) sobre el desempeño de la trucha arco iris, y llegaron a la conclusión que el remplazo del alimento por “krill”, fue exitoso y no produjo defectos en el crecimiento, este estudio muestra que la proteína del “krill” es equivalente a la del alimento convencional. Finalmente, Maleri (2009) analizó la selección del sitio y el desempeño de la trucha arco iris cultivada en jaulas en pequeños embalses en Cape Occidental, Sudáfrica, llegaron a la conclusión de que en los reservorios con al menos tres hectáreas de superficie, se recomienda valores de recambio mayores a uno por año para evitar problemas de oxígeno

Relación longitud-peso.

Con respecto a la relación longitud-peso, Morato y col. (2001) describieron la relación longitud-peso de 21 peces costeros de la zona de las Islas Azores en el Noreste del Atlántico, encontrando significancia en esta relación en todas las especies. Posteriormente, Moutopoulos y Stergiou (2002) publicaron un trabajo similar pero con distintas especies de peces del Mar Egeo.

Calidad del agua.

Con respecto a la calidad del agua Ingle de la Mora y col. (2003) evaluaron la calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación (SCR) para la acuicultura, sometido a diferentes cargas de biomasa de peces. Clark (2003), realizó un estudio comparando la calidad del agua en la producción de trucha arco iris y la rentabilidad en canales de corriente rápida utilizando aereadores y oxígeno líquido inyectado. Barak, y col. en 2003, experimentaron la remoción de fósforo en un prototipo de sistema de recirculación con agua marina, examinaron la dinámica del fósforo en el sistema y su eliminación por dos sistemas diferentes. Arredondo-Figueroa y col. (2007) evaluaron las tasas de remoción de amoníaco y nitrito en un sistema cerrado de recirculación bajo tres cargas de trucha arco iris. Rodríguez (2009) describió los indicadores de desempeño del cultivo de la trucha arco iris en un SCR y propone por primera vez aplicar el Índice Único de Calidad del Agua (IUCA), como una medida para comparar la calidad del agua en diferentes sistemas de cultivo.

4. JUSTIFICACIÓN

La truiticultura mexicana, a pesar de que cuenta con una tradición de más de un siglo, su desarrollo y consolidación solo se ha dado en los últimos treinta años. No obstante, el avance logrado, aún persisten serios problemas que limitan su pleno crecimiento; entre ellos, se puede destacar la ausencia de huevos, crías, juveniles y reproductores de calidad genética certificada y el control de enfermedades infecciosas virales o bacterianas, que han sido introducidas al país procedentes del extranjero como la Necrosis Pancreática Infecciosa (IPN).

Durante muchos años, los productores han estado importando huevo “oculado” de otros países y continentes, sin tener un certificado de calidad genética y sanitaria. Esto ha dado como consecuencia, que algunas poblaciones de trucha arco iris tengan una baja variabilidad genética y se presenten problemas de endogamia y homocigosis, provocando que con el tiempo se pierdan las características deseadas por los truiticultores, como por ejemplo, elevada tasa de crecimiento, resistencia a enfermedades y adaptación a diversas condiciones climáticas. Si bien, el Gobierno Federal ha construido desde finales del siglo pasado centros productores de crías de trucha arco iris y también promovido y apoyado esta actividad económica, la calidad de los aionomorfos producidos en esos centros no ha sido la mejor, lo cual se ha reflejado en la baja rentabilidad económica de las granjas, además, que durante años se careció de un manejo sanitario eficiente, lo que permitió la distribución descontrolada de agentes infecciosos algunos de ellos agresivos y mortales.

Es por ello y consciente de esta situación, que en el año 2005 se presentó una propuesta al programa sectorial del CONACYT-SAGARPA, para crear un Centro de Referencia en el Centro Trutícola “El Zarco”, en el estado de México. Este programa fue aprobado y actualmente se encuentra en operación. Participan en el mismo, el Instituto Nacional de la Pesca (INAPESCA) y la Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Iztapalapa (UAM-I). Entre los objetivos de este proyecto, se encuentra el desarrollar una línea de fundadores de trucha arco iris de calidad genética reconocida y producir poblaciones caracterizadas y heterogéneas genéticamente que permitan el mantenimiento de lotes libres de enfermedades bacterianas y virales. La presente investigación forma parte de este proyecto, y pretende realizar el cultivo y manejo de la generación F1 de la trucha seleccionada genéticamente, comparando su desempeño en dos sistemas intensivos de cultivo.

5. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CULTIVO.

El estudio se realizó en dos centros con sistemas intensivos de acuicultura, que a continuación se describen:

Centro Trutícola “El Zarco”.

Está localizado en la Carretera Federal México-Toluca en el kilómetro 32.5, en el Municipio de Ocoyoacac, Estado de México (Figura 4).

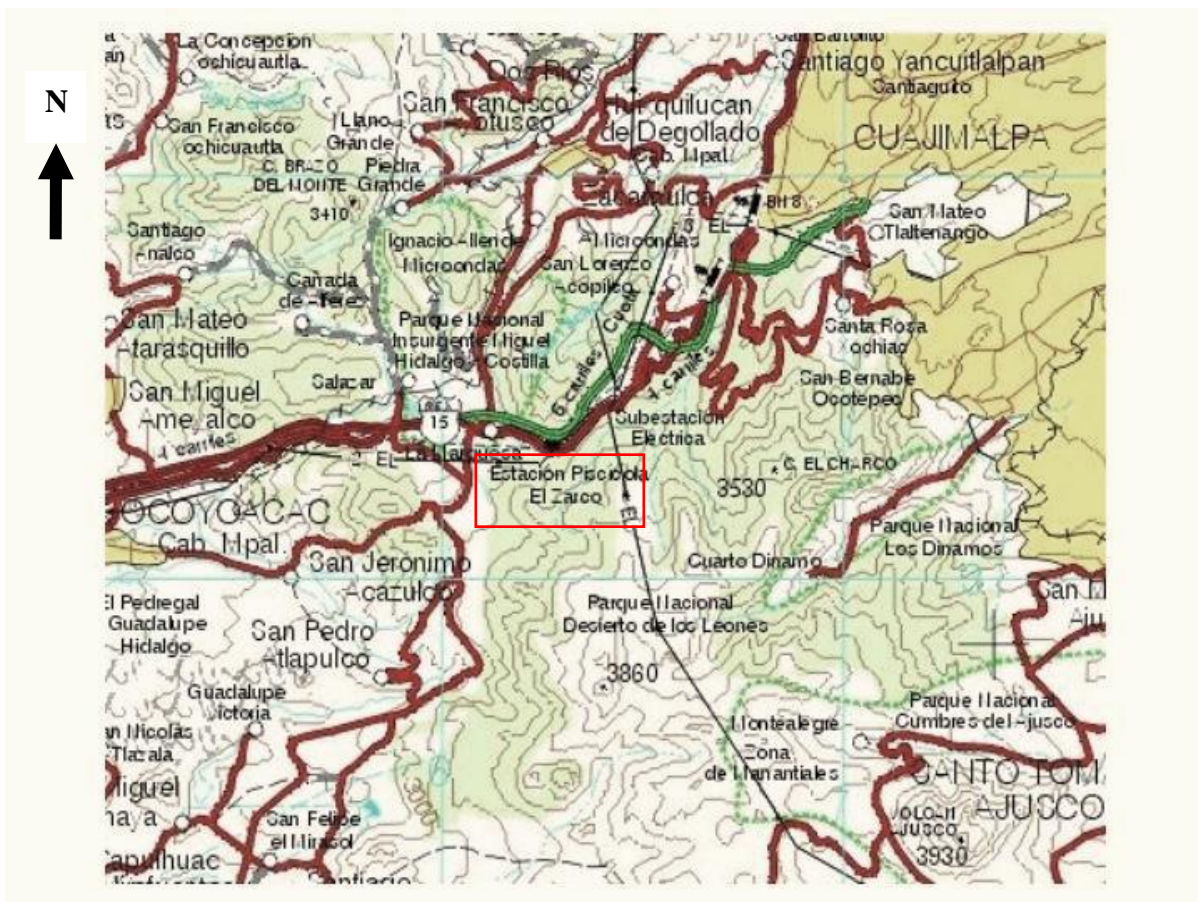


Figura 4. Localización geográfica Centro Trutícola El Zarco, Estado de México.

Se encuentra ubicado a 3,060 msnm, a los 19° 17' 58" de latitud Norte y 99° 17' 58" de longitud Oeste. Cuenta con un clima templado subhúmedo, (CW) con temperatura

ambiente que oscila entre los 30 y los -7 °C con promedio anual de 18 °C; la temperatura promedio registrada en el agua en los meses más fríos es de 10° C. La precipitación media oscila entre los 1,400 y los 1,800 milímetros (Zamora y col. 1999).

El agua que surte a los estanques y canales de corriente rápida, proviene de dos manantiales: Pajaritos y de Agua Azul, así como de pequeños manantiales (Zamora y col., 1999). La parte donde se realizó el presente experimento, consiste de cuatro canales de corriente rápida rectangulares, cada uno con una dimensión de 25 m de largo, 3 de ancho y 1.5 de altura. Los canales están contruidos de concreto armado y el agua se recambia constantemente, ya que entra por un extremo del canal y sale al final del mismo, cuentan con una pendiente del 2% aproximadamente para facilitar el drenado de materia o sedimento, el cual se va acumulando al final del canal. El nivel de operación del agua, se mantiene a 1 m de profundidad aproximadamente (Figura 5).

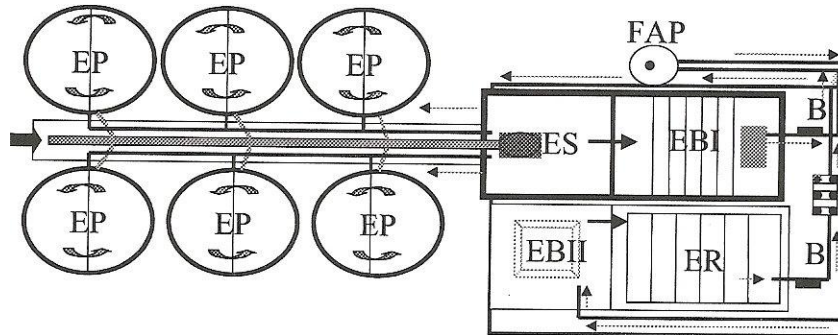


Figura 5. Vista de los canales de corriente rápida utilizados en la presente investigación.

Planta Experimental de Producción Acuícola (PexPA).

El sistema cerrado de recirculación (SCR) está ubicado en la Planta Experimental de Producción Acuícola (PexPA), en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, en la Delegación Iztapalapa en la Ciudad de México D.F.

El sistema cerrado de recirculación (SCR), donde se realizó este estudio, está conformado por seis estanques circulares de auto-limpieza, con una capacidad de carga máxima de 5.6 m³ de agua cada uno; un sistema de desalojo que incluye una red general de alcantarillado y el cuarto de maquinas donde el agua es tratada y reacondicionada antes de utilizarse de nuevo, donde se lleva a cabo un pre-tratamiento por filtración y decantación (cisterna de sedimentación), un primer biofiltro de bastidores con malla y aeración (pileta con biofiltros I), filtración rápida con un filtro de arena, zeolita y carbón activado; una segunda biofiltración consistente en sacos rellenos con bloques pequeños de carbón activado y aeración (pileta con biofiltro II), una pileta de acondicionamiento de agua (pileta de reacondicionamiento), un sistema de purificación del agua activH₂O que genera un oxidante molecular que ataca directamente las membranas y puentes proteicos de las bacterias (Figura 6). La recarga de agua al sistema se lleva a cabo a través de la red de abasto de la Universidad, que se surte a través de un agua pozo profundo con características de calidad de agua muy particulares que hacen que este sistema opere de manera adecuada (Arredondo y col., 1996 a y b; Ingle de la Mora y col., 2003; Arredondo y col., 2007).



EP= Estanques de producción; ES= Estanque de Sedimentación; EBI= Estanque con Biofiltro I; B= Bomba; EBII= Estanque con Biofiltro II; ER= Estanque de Reacondicionamiento; FAP= Filtro de Arena Presurizado y Active H₂O

Figura 6. Diagrama del Sistema Cerrado de Recirculación (SCR) utilizado en este trabajo.

6. OBJETIVOS

General

Evaluar los indicadores de crecimiento, relación longitud-peso, desempeño y calidad del agua de la generación F1 de trucha arco iris seleccionada *Oncorhynchus mykiss* cultivada en un sistema cerrado de recirculación y en canales de corriente rápida.

Específicos

Analizar y comparar los siguientes indicadores en los dos sistemas intensivos:

- El crecimiento en peso y longitud con respecto al tiempo de cultivo.
- La relación longitud-peso de la trucha.
- Desempeño del crecimiento y eficiencia alimenticia.
- Realizar correlaciones y regresiones entre los principales indicadores de desempeño.
- Analizar la calidad del agua en los dos sistemas de cultivo.
- Aplicar el índice único de calidad del agua (IUCA) a partir de los parámetros físico-químicos analizados.

7. HIPÓTESIS

Si los indicadores de desempeño del cultivo de la generación F1 de trucha arco iris *O. mykiss* en el sistema cerrado de recirculación (SCR) y en los canales de corriente rápida (CCR) muestran que la trucha seleccionada se adapta adecuadamente, **entonces**, se probará que esta especie puede ser cultivada con éxito en dos sistemas de cultivo diferentes.

8. MATERIALES Y MÉTODOS

Origen de los organismos.

La población F1 a la cual pertenece el lote objeto del presente estudio, fue generada el 14 de septiembre del 2006 a partir de un cruzamiento dialélico perfecto que comprendió nueve familias (N = 6,000) y cuyos progenitores se encuentran genotificados con tres marcadores mitocondriales (gen citocromo b, la subunidad ribosomal 12S y la región control) y 12 *loci* microsatelites. Tanto los progenitores como la F1 (Figuras 1 a y b) fueron certificados sanitariamente para ausencia del virus de la Necrosis Pancreática Infecciosa (IPN). La población F1 se dividió en tres lotes: uno de ellos se trasladó al sistema cerrado de recirculación (SCR) de la PexPA en la UAM-I; un segundo lote se colocó en dos canales de corriente rápida (CCR3 y 6) en el Centro Trutícola “El Zarco”. El número de organismos por lote se determinó con base a la capacidad de carga de cada uno de los sistemas.

a)





b)

Figura 7. a) Toma parcial de algunos de los Progenitores genotificados de trucha arco iris de los cuales deriva la F1 seleccionada; b) Toma parcial de la F1 generada a partir de cruzamientos dialélicos y utilizada en el presente estudio.

Durante el mes de abril del 2007, un total de 1,200 organismos de cinco meses de edad fueron trasladados del Centro Acuícola “El Zarco”, en un transportador de plástico acondicionado con suministro de oxígeno, al SCR de la PexPA. Una vez aclimatadas las truchas fueron separadas de acuerdo a su peso y talla en dos poblaciones (P1 con peso promedio de 29 g y longitud promedio de 13.5 cm, y P2 con peso promedio de 46.5 g y longitud promedio de 15.7 cm). Posteriormente, se colocaron 157 truchas por estanques en seis estanques circulares de cinco metros cúbicos (Figura 8).

En “El Zarco” se realizó un procedimiento similar, sólo que en este caso los organismos introducidos presentaron un peso total promedio de 52.0 g y una longitud total promedio de 15.8 cm, 900 crías fueron colocadas en el canal de corriente rápida número 3 (CCR 3) y 1,300 en el canal 6 (CCR 6).



Figura 8. Estanques circulares de 5 m³ de la PexPA utilizados en el experimento.

Alimentación.

El alimento utilizado durante todo el ciclo de cultivo, fue balanceado “El Pedregal de Silver Cup” (El Pedregal, Toluca, México). Se utilizaron diferentes tamaños de pienso de acuerdo al peso de los organismos (Tabla 2). La ración de alimentó se ajustó tomando como base las tablas de alimentación del fabricante, iniciando con una ración de 2.5% de la biomasa total al día, disminuyendo posteriormente de acuerdo al peso al 2%, 1.5% y al final del cultivo el 1%, para ambos sistemas.

Tabla 2. Tamaño del pienso proporcionado como alimento a las truchas cultivadas. (Información proporcionada por “El Pedregal”, Silver Cup, Toluca, Edo. de Mex.)

Pienso extruido flotante	Tamaño del pienso (mm)
Minipienso Steelhead (45-16).	2.5 o migaja gruesa.
Steelhead (45-16).	3.5
Steelhead (45-16).	4.5
Steelhead (45-16)	5.5
Steelhead (45-16)	5.5

Entre paréntesis se marca el contenido de proteínas y lípidos.

Crecimiento y relación longitud-peso.

El crecimiento se expresó en términos de peso total (PT) y longitud (LT) con respecto al tiempo de cultivo en meses. La relación peso-longitud se calculó mediante la fórmula $PT = aLT^b$, donde PT = peso total, LT = longitud total, a = intercepto y b = pendiente. El valor b se determinó mediante la regresión del logaritmo del PT contra el logaritmo de la LT, donde la pendiente del ajuste lineal es una estimación de b (Ricker, 1975). Para realizar estos cálculos se efectuaron muestreos biométricos donde se registró el peso total en gramos con una balanza digital Ohaus modelo Adventure con una precisión de 0.01 g y la longitud total con un ictiómetro graduado en centímetros y una precisión de 1 mm. Los biométricos en el SCR fueron mensuales (n = 30), iniciando en mayo del 2007 y finalizando en abril del 2008 y en los CCR fueron cada tres meses (n = 100), iniciando en mayo del 2007 y finalizando en febrero del 2008.

Indicadores de desempeño.

Se evaluaron los indicadores de desempeño con base en los criterios desarrollados por Hashim y colaboradores (2002), Pokniak y col. (2005), Yoshitomi y col. (2007) y Morales y Quirós (2007) (Tabla 3).

Tabla 3. Indicadores de desempeño del cultivo con sus fórmulas.

Indicadores de desempeño	
Densidad	D
Días de Cultivo	dc
Peso Inicial (g)	Pi
Peso Final (g)	Pf
Ganancia en Peso (g)	GPT=Pf-Pi
Crecimiento por día (g/día)	CDP=GPT/dc
Longitud inicial (cm)	Li
Longitud final (cm)	Lf
Ganancia en longitud (cm)	GLT=Lf-Li
Crecimiento en día (cm/día)	CDL=GLT/dc
Total de alimento suministrado (kg)	TAS
Biomasa total BT (kg)	BT
Peso total de la cosecha final (kg)	PTC
Volumen Total de agua (m ³)	VTA
Sobrevivencia (%)	s
Tasa de Crecimiento Relativo (TCR, %)	$TCR = \left\{ \frac{(Pf - Pi)}{Pi} * (100) \right\}$
Tasa Específica de Crecimiento (TEC, % día)	$TEC = \left\{ \frac{(\ln Pf - \ln Pi)}{dc} * (100) \right\}$
Factor de Conversión Alimenticia (FCA)	Biomasa/tasa de alimentación
Factor de Condición (FC, %)	$FC = \left(\frac{Pf}{Lf^3} \right) * (100)$
Rendimiento por volumen de agua (BT, kg/m ³)	RTV=BT/VTA

Calidad del agua.

Se realizó un registro continuo de los principales parámetros fisicoquímicos. Diariamente se midió la concentración de oxígeno disuelto (OD) y la temperatura del agua, con ayuda de un Oxímetro YSI 55, modelo 55-12FT, en cada uno de los estanques circulares de la PexPA y en los canales de corriente rápida del Zarco.

Semanalmente, se midió el grado de acidez del agua (pH), con un Potenciómetro Lauka modelo 8005 y se evaluaron las especies químicas derivadas del nitrógeno: nitrito (N-NO_2^-), nitrato (N-NO_3^-) y nitrógeno amoniacal total ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4$), con ayuda de un equipo Hach modelo DR 5000, por medio de pruebas colorimétricas; el amoniaco (NH_3) se calculó en tablas con base al registro del nitrógeno amoniacal total, la temperatura y el pH del agua (Klontz, 1991).

Análisis estadísticos.

Todos los datos fueron vaciados en una hoja de cálculo Excel (Microsoft Office 2003). A partir de esta hoja, se calcularon las medidas de tendencia central y de dispersión, así como el coeficientes de variabilidad (CV) por medio de la fórmula $CV = de/me \times 100$, donde de = desviación estándar y me = media. Con este mismo programa, se realizaron las gráfica de las regresiones entre el peso total y la longitud total de todas las poblaciones, ajustando los datos a una curva potencial, además, fue estimada la ecuación del modelo y el coeficiente de correlación r^2 . Para conocer la tendencia del crecimiento (isométrico o alométrico) se realizó la prueba de t-student (Pauly, 1984).

En los otros análisis estadísticos se utilizaron los programas SPSS para Windows versión 12 y Statistica versión 3.0 y se siguió el siguiente procedimiento:

1. En principio, se generó una hoja de cálculo en los programas de software utilizados.
2. Con el programa SPSS, se realizaron graficas de cajas y bigotes de la longitud y peso total de ambos sistemas con respecto al tiempo de cultivo.
3. Con el programa SPSS, se analizó la correlación r de Pearson, de los indicadores de desempeño. Se realizó el contraste por defecto de dos colas y el cálculo del coeficiente de correlación r y su significancia. Para explicar la relación bivariada se utilizó el programa de dispersión de datos entre las correlaciones que presentaron el coeficiente de correlación más elevado. Este análisis sólo se aplicó en los datos de la población 1 del SCR, debido a que la población 2 presentó las mismas tendencias y las poblaciones de los canales de corriente rápida no presentaron información suficiente para realizar el análisis.
4. Con el programa SPSS, se elaboró el análisis de varianza de una vía (ANDEVA) para buscar diferencias significativas entre el crecimiento en peso y longitud de las poblaciones cultivadas, así como los indicadores de desempeño de en ambos sistemas. Se utilizó el análisis comparativo de las medias *post hoc* mediante la prueba de Tuckey, así como las opciones que incluyeron los estadísticos descriptivos, la prueba de homogeneidad de varianza de Levene y la prueba robusta de igualdad de medias de Welch. Dado que la prueba de homogeneidad de varianza resultó significativa no se utilizaron transformaciones de las variables originales.
5. También con este mismo programa, se compararon los parámetros de calidad del agua de los dos sistemas. Debido a que las variables no presentaron homogeneidad de varianza, se aplicaron las pruebas no paramétrica de Mann-Whitney, Wilcoxon y Z con el objeto de analizar si existían diferencias significativas entre los parámetros.
6. Utilizando las mediciones de la temperatura del agua ($T^{\circ}\text{C}$), oxígeno disuelto (OD), pH, nitrito (N-NO_2^-), nitrato (N-NO_3^-), nitrógeno amoniacal total (NAT) ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) y amoniaco (NH_3), se construyó el índice único de calidad de agua (IUCA), tanto del SCR como de los CCR, mediante la técnica de Componentes Principales (CP) del análisis multivariado (ACP, programa Statistica versión 3), de acuerdo al criterio propuesto por Rodríguez (2009).

Considerando que el IUCA es una combinación lineal de los parámetros fisicoquímicos medidos, y se expresan en la forma siguiente:

$$\text{IUCA} = A(T^{\circ}\text{C}) + B(\text{O}_2) + C(\text{pH}) + D(\text{NO}_2) + E(\text{NO}_3) + F(\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+) + G(\text{NH}_3).$$

Donde:

IUCA= Es el índice multivariado único de calidad del agua.

Los coeficientes A, B, C, D, E, F, G, son constantes desconocidas.

Con el programa Excel se realizaron los gráficos del IUCA en ambos sistemas.

9. RESULTADOS

Crecimiento.

El crecimiento expresado en peso total (PT) de las dos poblaciones (P1 y P2) con respecto al tiempo de cultivo en el SCR, se presenta en la figura 9.

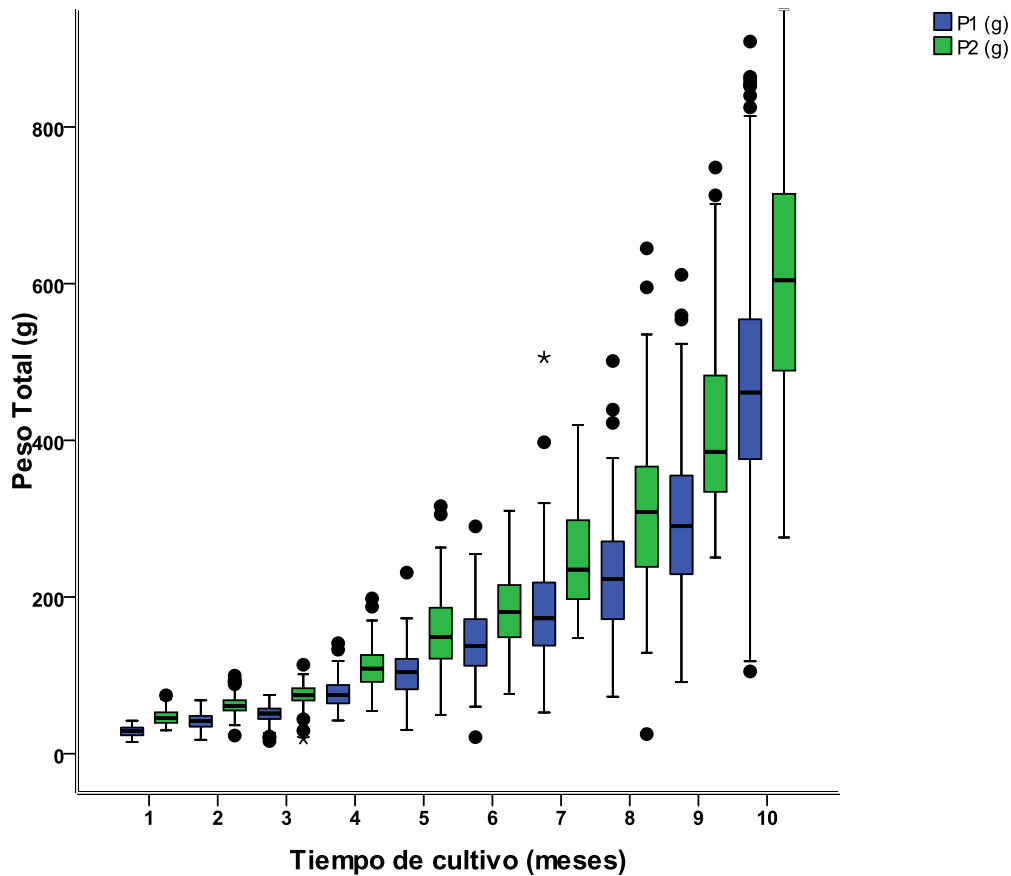


Figura 9. Tendencia del crecimiento en peso total (g) con respecto al tiempo de cultivo de las poblaciones 1 y 2 en el SCR.

En esta figura, se aprecia que las truchas crecieron de manera sostenida a lo largo del experimento, con una tendencia homogénea en la ganancia de peso con respecto al tiempo; también, se muestra que ambas poblaciones crecieron manteniendo una misma proporción entre ambas; así la población 2 que corresponde

a las truchas con mayor peso y longitud se separaron de la población 1, durante todo el tiempo de cultivo. En la figura también se observa que la trucha alcanzó su talla comercial (300 a 350 g) en siete meses en la población 2 y en ocho meses en la población 1. El ANDEVA de una vía, indicó que se presentaron diferencias significativa ($F = 457.5$; $P \leq 0.05$) entre ambas poblaciones a lo largo de todo el periodo experimental.

En la figura 10, se presenta el crecimiento expresado en longitud total (LT) de las dos poblaciones, donde se observa una tendencia similar al peso total y donde también el ANDEVA mostró que existieron diferencias significativas ($F = 901$; $P \leq 0.05$) entre ambas poblaciones a lo largo del tiempo de cultivo.

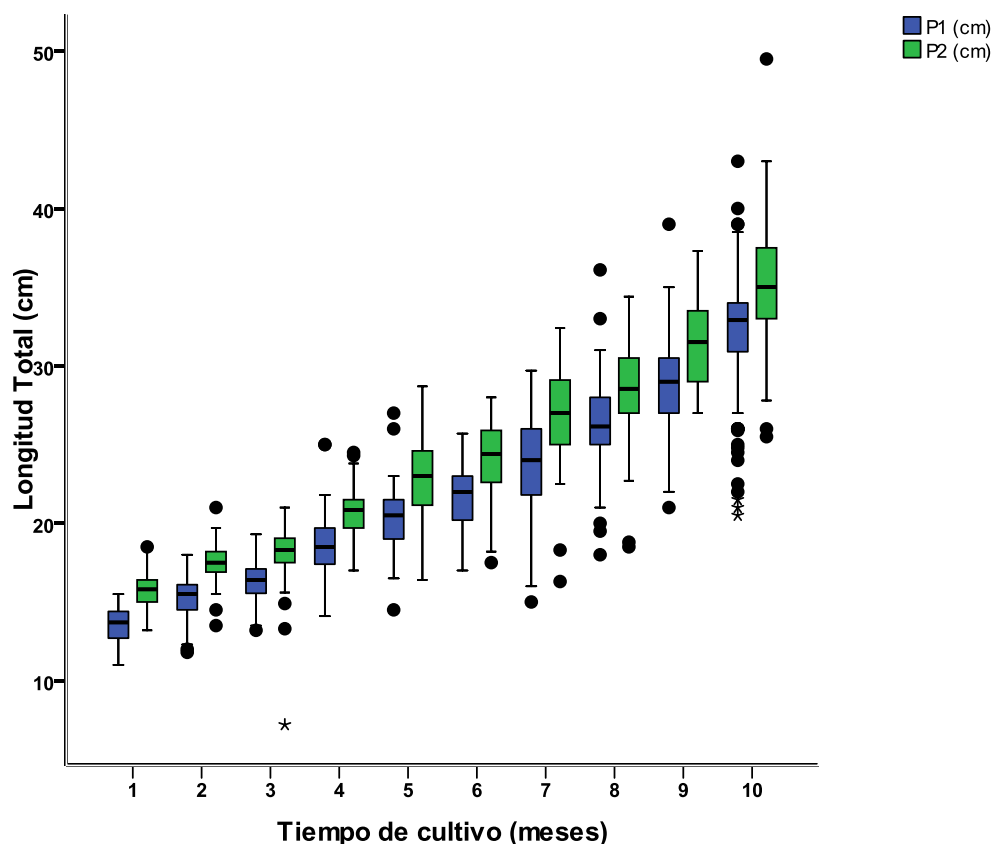


Figura 10. Tendencia del crecimiento en longitud total (cm) con respecto al tiempo de cultivo de las poblaciones 1 y 2 en el SCR.

En el caso de El Zarco, a pesar de que únicamente se contó con cuatro muestreos biométricos, también se encontró una tendencia parecida a la registrada en el SCR, ya que la población inicial de trucha arco iris mantuvo una tendencia de crecimiento similar, separándose por la densidad más que el peso y la talla. En las figuras 11 y 12, se observa que la población (CCR 3 y 6) mantuvo un crecimiento semejante a lo largo del tiempo de cultivo. Las truchas en este sistema alcanzaron el peso comercial en tan sólo en tres meses. El ANDEVA indicó que se presentaron diferencias significativas ($F = 324.8$ y $F = 692.5$; $P \leq 0.05$) en crecimiento tanto en peso como en longitud en los dos canales de corriente rápida a lo largo del tiempo de cultivo.

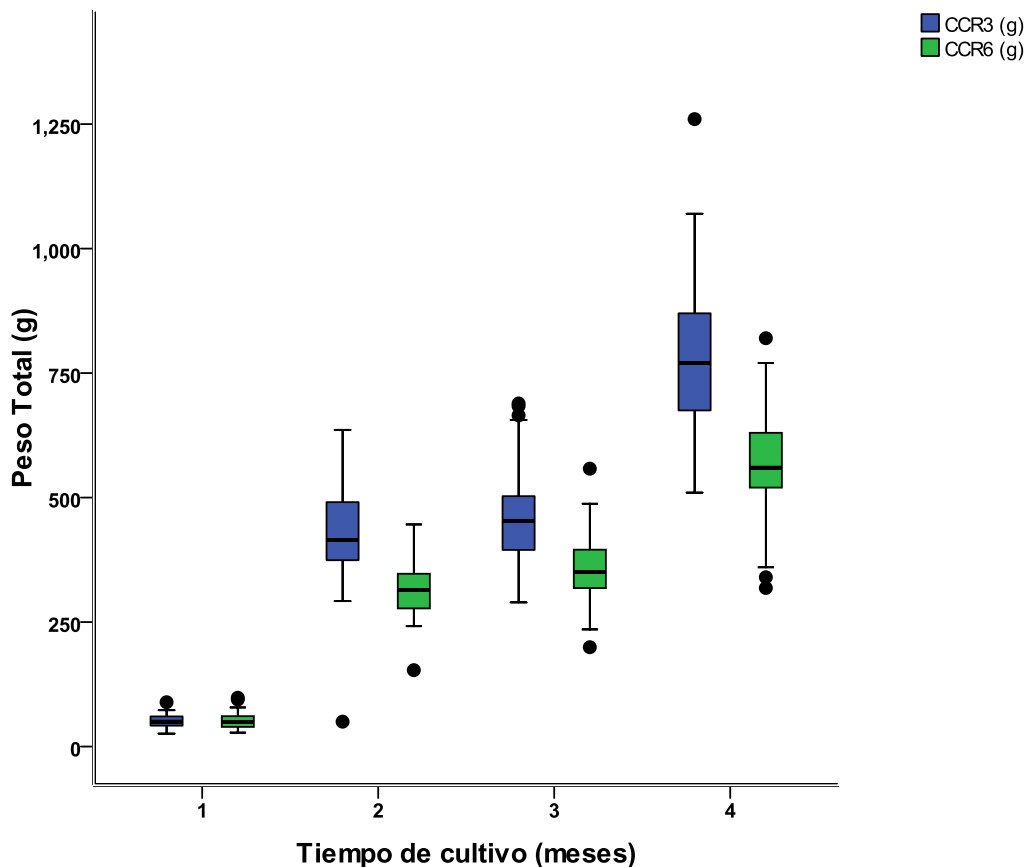


Figura 11. Tendencia del crecimiento en peso total (g) con respecto al tiempo de cultivo de las poblaciones cultivada en los CCR 3 y 6.

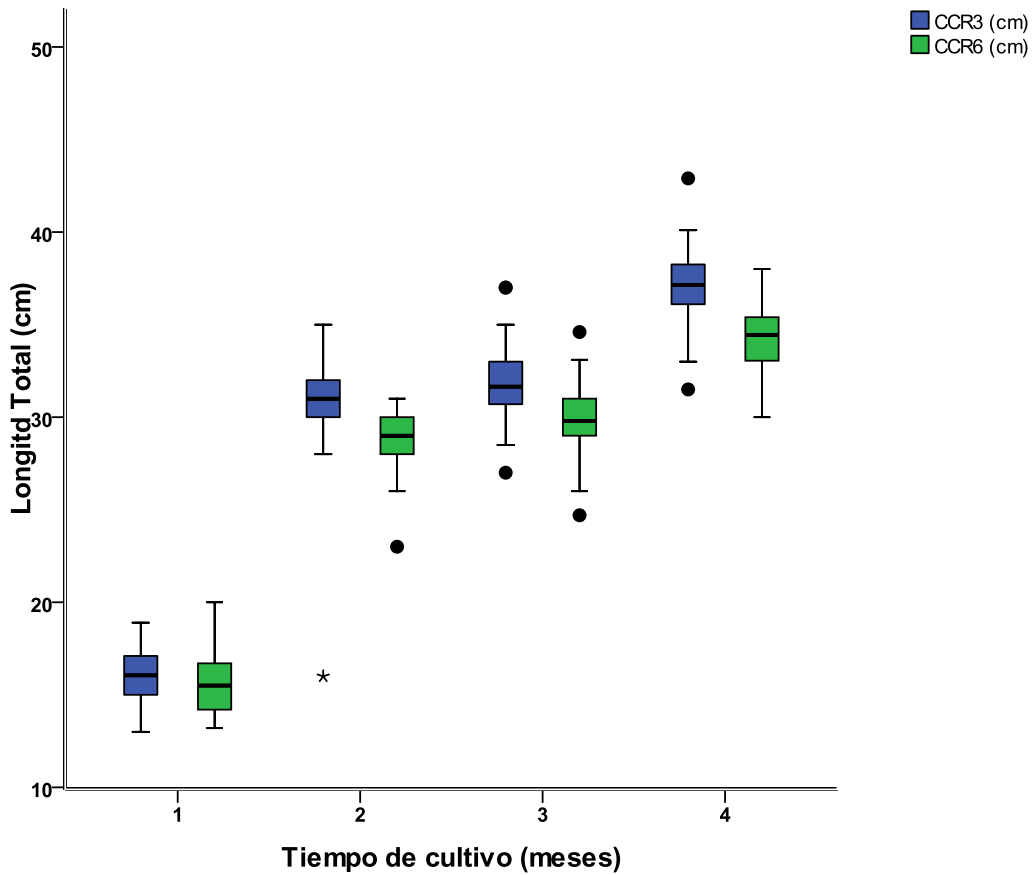


Figura 12. Tendencia del crecimiento en longitud total (cm) con respecto al tiempo de de las poblaciones cultivadas en los CCR 3 y 6.

Relación longitud-peso.

En las figuras 13 a 16, se presentan las relaciones longitud contra peso en ambos sistemas de cultivo.

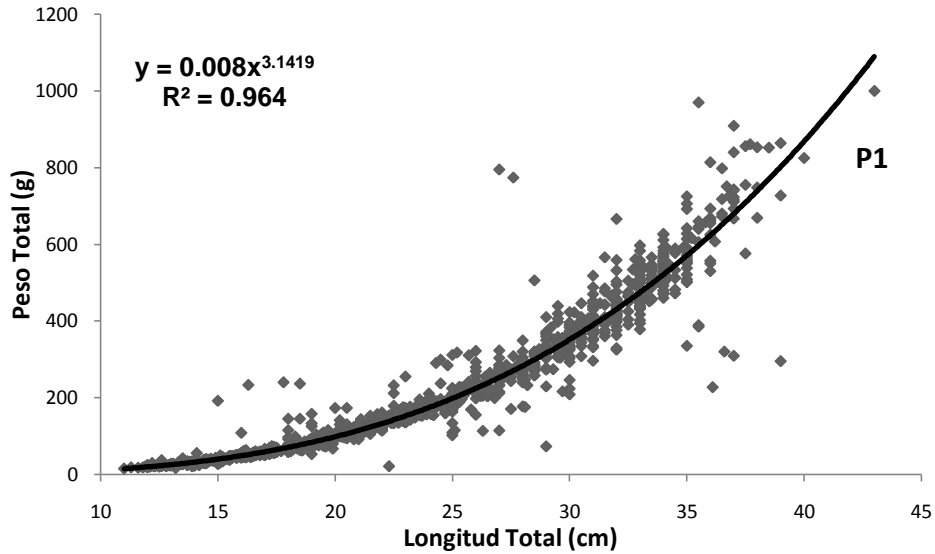


Figura 13. Relación longitud-peso de la población 1 cultivada en el SCR.

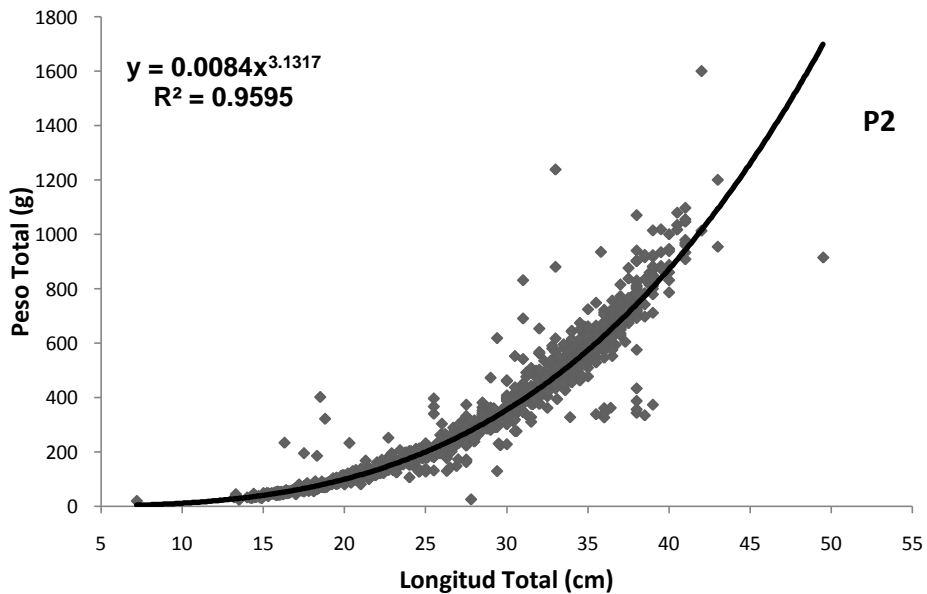


Figura 14. Relación longitud-peso de la población 2, cultivada en el SCR.

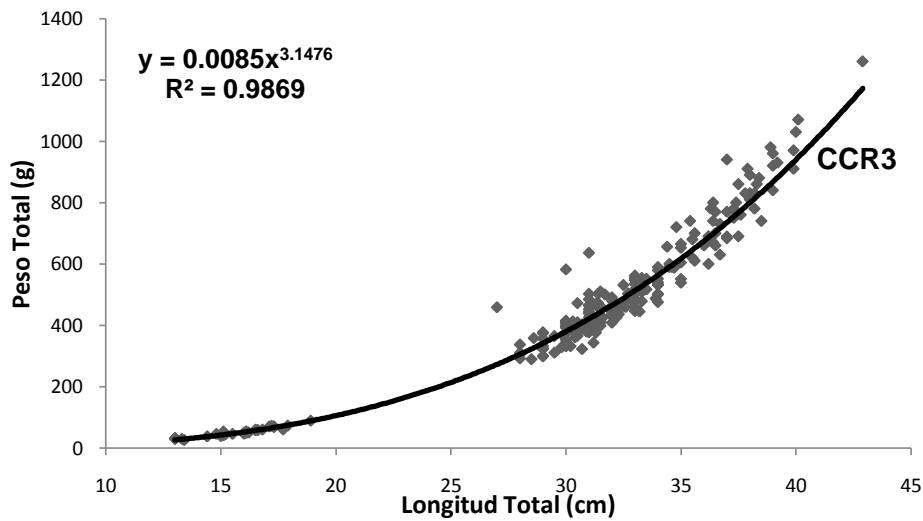


Figura 15. Relación longitud-peso de la población cultivada en el CCR 3.

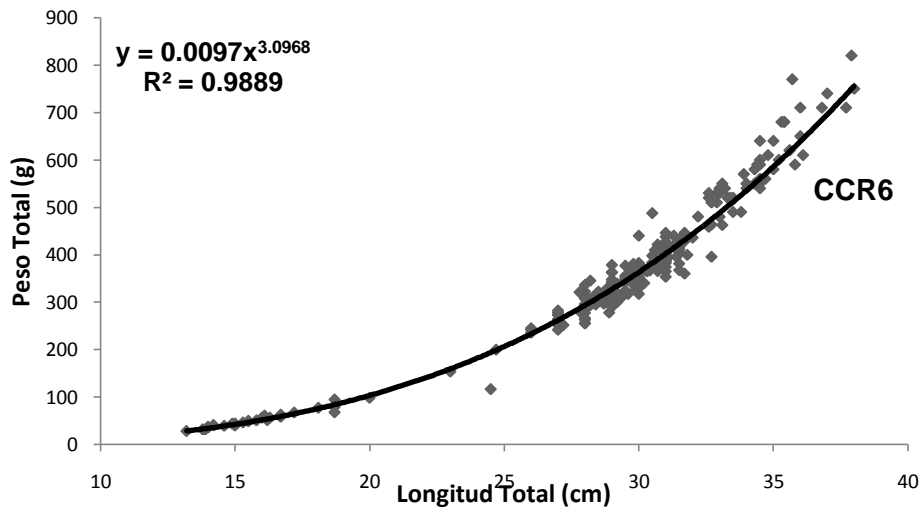


Figura 16. Relación longitud-peso de la población cultivada en el CCR 6.

Las ecuaciones obtenidas en cada curva del modelo ajustado mostraron un crecimiento de tipo isométrico (prueba de Pauly t-student $P \leq 0.05$) con una pendiente ligeramente por arriba de 3.0, excepto en el CCR6 del Zarco, con un ajuste elevado que en todos los casos fue superior al 99%.

Indicadores de desempeño.

En la Tabla 4, se presentan los indicadores de desempeño de las truchas arco iris cultivadas en el SCR y en los CCR.

Tabla 4. Indicadores de desempeño de la trucha arco iris cultivada en los dos sistemas intensivos.

Tipo de estanque	SCR1	SCR2	CCR 3	CCR 6
Densidad	157	157	900	1,300
Días de cultivo	317	317	273	273
Peso inicial (g)	28.98	46.54	51.75	52.37
Peso final (g)	475.69	628.74	775.00	576.00
Ganancia en peso (g)	446.71	582.20	723.20	520.60
Crecimiento diario en peso (g/día)	1.41	1.84	2.65	1.91
Longitud inicial (cm)	13.53	15.75	15.80	15.80
Longitud final (cm)	32.35	35.32	37.00	34.30
Ganancia en longitud (cm)	18.82	19.57	21.20	18.50
Crecimiento diario en longitud (cm/día)	0.06	0.06	0.08	0.07
Total de alimento suministrado (kg)	73.8	107.0	1,227.1	1,354.0
Peso total de la cosecha final (kg)	213.33	308.00	466.00	187.00
Volumen total de agua (m ³)	5	5	75	75
Sobrevivencia (%)	72.8	80.0	66.8	24.9
Tasa de crecimiento relativo (TCR, %)	1,536.5	1,247.6	1397.6	999.9
Tasa específica de crecimiento (TEC, % día ⁻¹)	0.88	0.82	1.23	1.13
Factor de conversión alimenticia (FCA)	2.67	2.66	1.70	2.60
Factor de condición (FC, %)	1.40	1.42	1.53	1.43
Rendimiento por volumen de agua (BT, kg/m ³)	42.67	61.60	6.21	2.49

SCR1 = Sistema cerrado de recirculación, Población 1; SCR2 = Sistema cerrado de recirculación, Población 2; CCR3 = Canal de corriente rápida 3; CCR6 = Canal de corriente rápida 6.

Correlaciones entre los indicadores de desempeño.

Debido a que los resultados de las correlaciones producto-momento de Pearson fueron semejantes en las poblaciones P1 y P2 cultivadas en el SCR de la PExPA, solamente se presentan las de la población 1 (Tabla 5). Debido a la falta de datos biométricos no se incluyen los canales de corriente rápida.

Tabla 5. Correlaciones producto-momento de Pearson, de los indicadores de desempeño de la población 1 cultivada en el SCR. Se muestran únicamente aquellas que fueron significativas a un $\alpha = 0.05^*$.

Indicadores		PF	GPT	LF	GLT	TAS	PTC	S
		(g)	(g)	(cm)	(cm)	(kg)	(kg)	(%)
PF (g)	Correlación		0.96	0.97	0.87	0.93	0.99	-0.93
	Significancia		0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*
	N		9	9	9	9	9	9
GPT (g)	Correlación	0.96		0.88	0.85	0.97	0.94	-0.80
	Significancia	0.00*		0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.010*
	N	9		9	9	9	9	9
LF(cm)	Correlación	0.97	0.88		0.84	0.86	0.99	-0.97
	Significancia	0.00*	0.00*		0.00*	0.00*	0.00*	0.00*
	N	9	9		9	9	9	9
GLT (cm)	Correlación	0.87	0.85	0.84		0.81	0.86	-0.74
	Significancia	0.00*	0.00*	0.00*		0.00*	0.00*	0.02*
	N	9	9	9		9	9	9
TAS (kg)	Correlación	0.94	0.97	0.86	0.81*		0.91*	-0.80
	Significancia	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*		0.00*	0.00*
	N	9	9	9	9		9	9
PTC (kg)	Correlación	0.99	0.94	0.98	0.86	0.91		-0.94
	Significancia	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*		0.00*
	N	9	9	9	9	9		9
S (%)	Correlación	-0.92	-0.80	-0.97	-0.74	-0.80	-0.94	
	Significancia	0.00*	0.01*	0.00*	0.02*	0.00*	0.00*	
	N	9	9	9	9	9	9	

PF = Peso final en gramos; GPT = Ganancia de peso total en gramos; LF = Longitud final en centímetros; GLT = Ganancia de longitud total en centímetros; TAS = Total de alimento suministrado en kilogramos; PTC = Peso total de la cosecha en kilogramos y S = Supervivencia en porcentaje.

Las principales correlaciones encontradas en el SCR de la PExPA muestran que los indicadores de desempeño relacionados con el peso (PF, GPT y PTC), así como aquellos relacionados con la longitud total (LF, GLT), además de la tasa de alimento suministrado (TAS) y la supervivencia, fueron los que presentaron la correlación más alta.

En las figuras 17 a la 22, se muestran las curvas ajustadas de las correlaciones con mayor significancia.

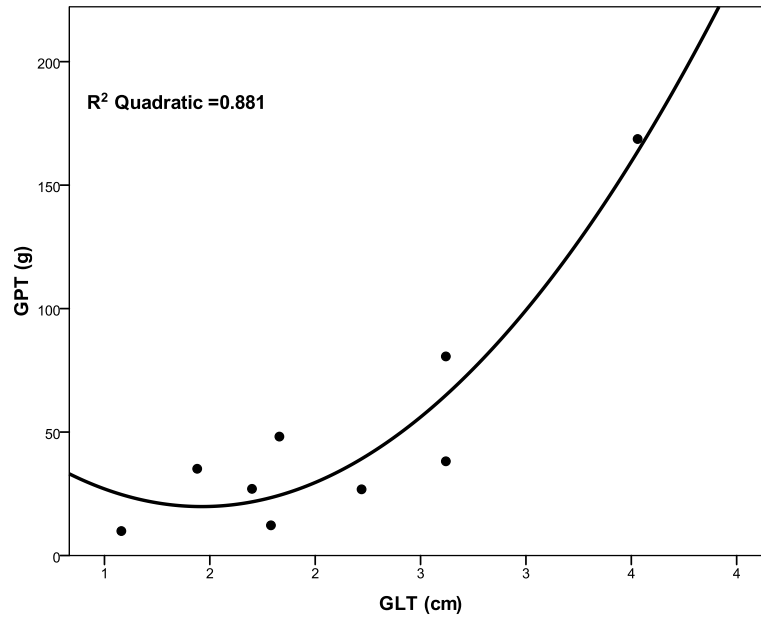


Figura 17. Correlación entre la ganancia de peso total (GPT) y la ganancia en longitud total (GLT).

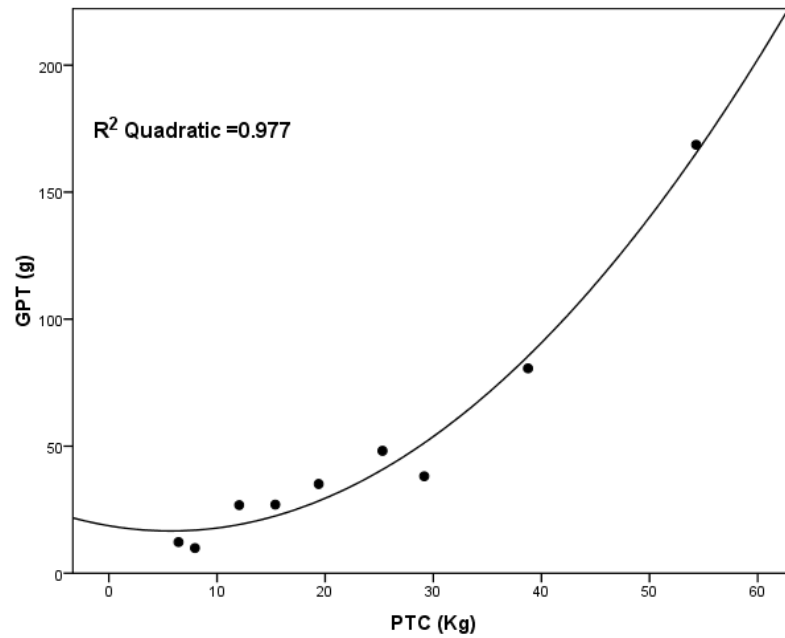


Figura 18. Correlación entre la ganancia de peso total (GPT) y peso total de la cosecha (PTC).

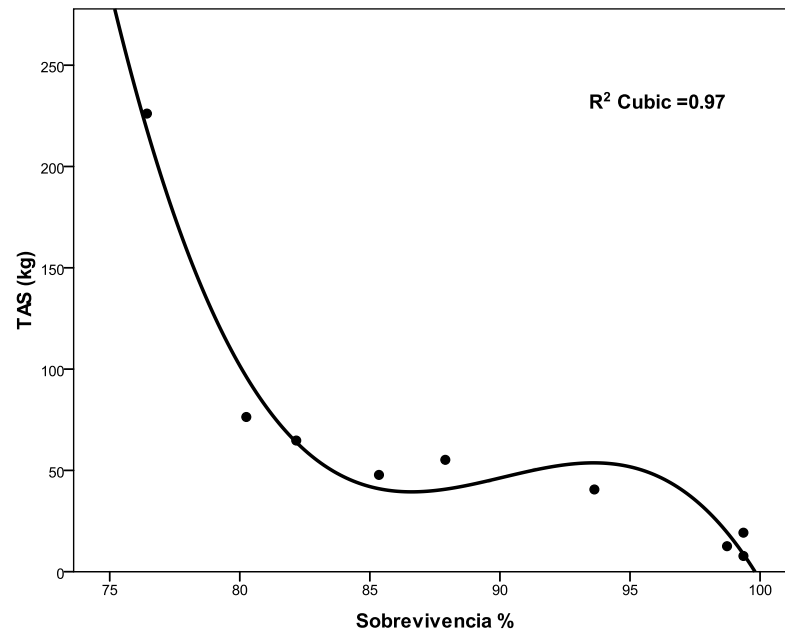


Figura 19. Correlación entre el total de alimento suministrado (TAS) y la sobrevivencia (%).

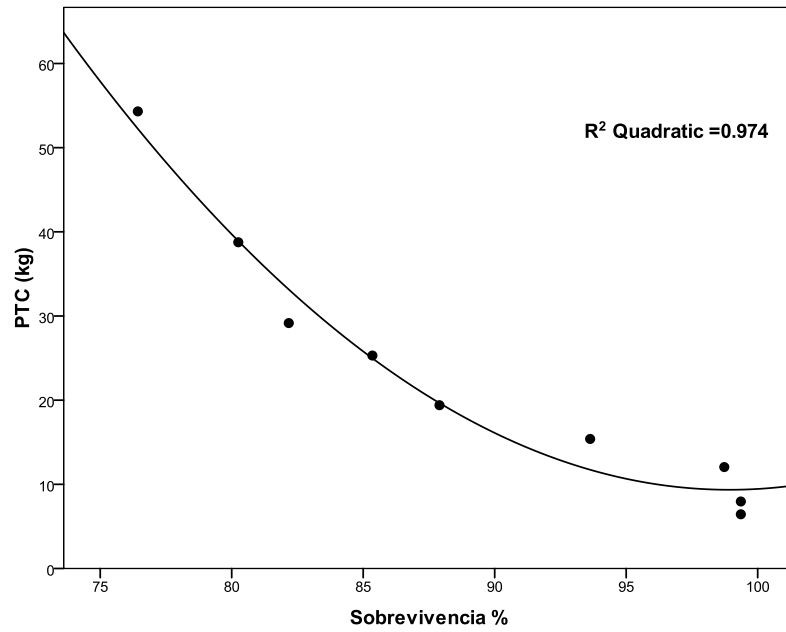


Figura 20. Correlación entre el peso total de la cosecha (PTC) y la sobrevivencia (%).

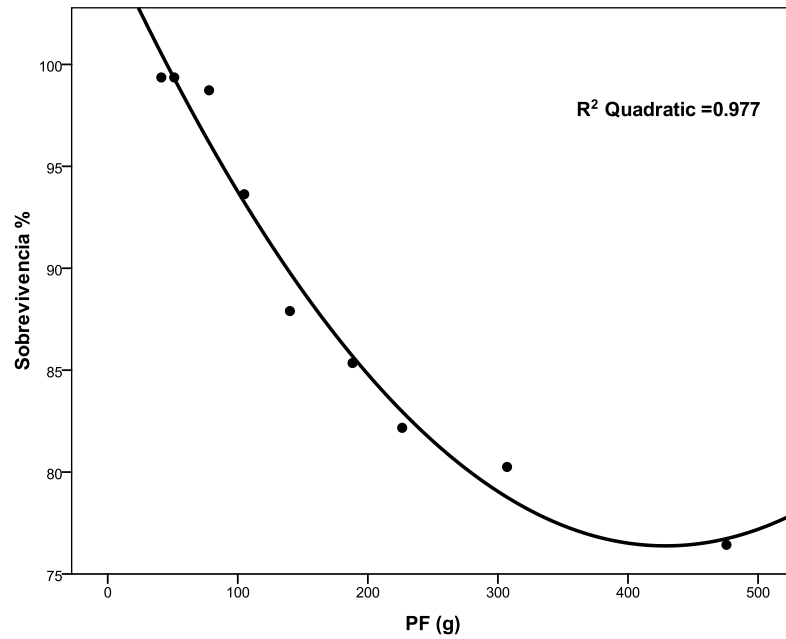


Figura 21. Correlación entre la sobrevivencia (%) y el peso final (PF).

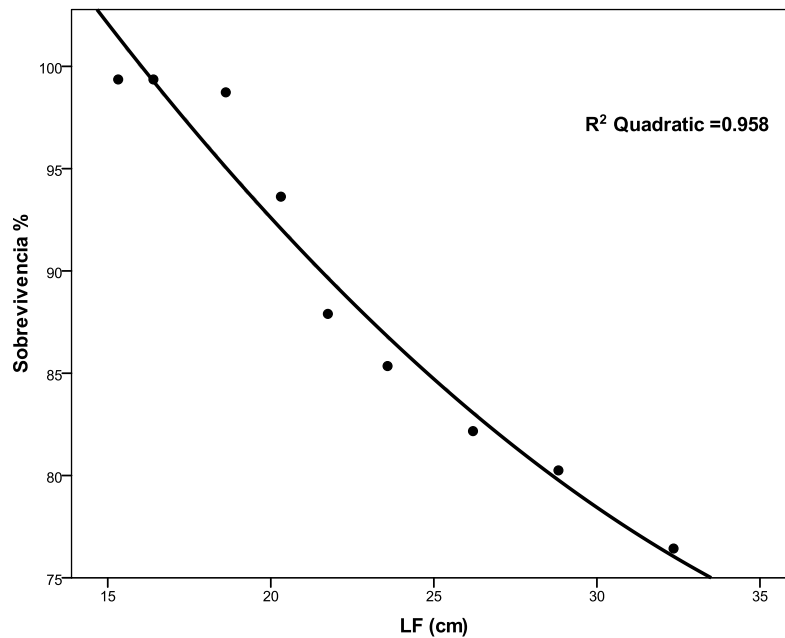


Figura 22. Correlación entre la sobrevivencia (%) y la longitud final (LF).

La mayoría de las correlaciones mostraron un modelo de tipo cuadrático ajustado, excepto la correlación entre el total de alimento suministrado (TAS) y el porcentaje de sobrevivencia (Figura 19).

Análisis de varianza de los indicadores de desempeño.

Los resultados del ANDEVA entre los indicadores de desempeño más representativos entre las poblaciones cultivadas los dos sistemas de cultivo se presentan en las tablas 6 y 7.

Tabla 6. Resultados del ANDEVA de una sola vía entre las poblaciones cultivadas.

Indicadores	P1 (SCR)	P2 (SCR)	P1 (CCR 3)	P2 (CCR 6)
GPT (g)	49.63 ± 49.36 ^a	64.69 ± 60.16 ^a	241.08 ± 194.60 ^b	174.54 ± 117.95 ^{a,b}
TAS (Kg)	61.15 ± 66.20 ^a	85.40 ± 95.19 ^a	473.41 ± 252.61 ^b	938.54 ± 1107.90 ^{a,b}
PTC (Kg)	23.20 ± 15.67 ^a	33.40 ± 22.76 ^a	378.54 ± 76.89 ^c	283.27 ± 84.75 ^b
S (%)	89.24 ± 8.85 ^a	91.01 ± 7.98 ^{a,b}	78.00 ± 11.11 ^b	59.59 ± 30.10 ^b

Superíndices diferentes en el renglón significan diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

GPT = Ganancia en Peso Total; TAS = Tasa de Alimento Suministrado; PTC = Peso Total Cosechado, S = Supervivencia.

Tabla 7. Resultados del ANDEVA en las poblaciones cultivadas.

Indicadores		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	Sig.
GPT (g)	Entre grupos	109793.631	3	36597.877	4.815	0.011
	Dentro de grupos	152012.718	20	7600.636		
	Total	261806.349	23			
TAS (Kg)	Entre grupos	2126631.682	3	708877.227	5.270	0.008
	Dentro de grupos	2690079.770	20	134503.988		
	Total	4816711.452	23			
PTC (Kg)	Entre grupos	426160.408	3	142053.469	87.973	0.000
	Dentro de grupos	32294.834	20	1614.742		
	Total	458455.242	23			
S (%)	Entre grupos	2570.321	3	856.774	5.188	.008
	Dentro de grupos	3303.153	20	165.158		
	Total	5873.474	23			

Los datos indican que se presentaron diferencias significativa ($P \leq 0.05$) en los indicadores de desempeño de ambos sistemas de cultivo en la ganancia de peso total (GPT), el total de alimento suministrado (TAS), el peso total de la cosecha (PTC) y la supervivencia (S).

Calidad del Agua.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos registrados en los dos sistemas de cultivo se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados de los análisis de calidad del agua en los dos sistemas de cultivo.

Sistema cerrado de recirculación (PEXPA)								
Meses	pH	N-NO₃⁻ (mg/L)	N-NO₂⁻ (mg/L)	NAT (mg/L)	NH₃ (mg/L)	OD (mg/l)	T (°C)	IUCA
may-07	8.0	3.80	0.090	0.120	0.003	5.19	19.7	1.34
jun-07	7.5	8.55	0.129	0.140	0.010	6.23	21.5	1.42
jul-07	8.0	12.90	0.134	0.430	0.020	6.57	21.6	0.64
ago-07	8.0	13.42	0.233	0.400	0.020	7.00	20.9	0.40
sep-07	8.0	10.03	0.256	0.590	0.020	7.03	20.3	0.22
oct-07	8.1	12.00	0.371	0.630	0.020	7.00	20.1	-0.10
nov-07	8.6	22.55	0.173	0.520	0.020	7.15	18.7	-0.32
dic-07	8.5	28.44	0.291	0.750	0.030	6.41	18.7	-0.89
ene-08	8.8	31.13	0.276	0.800	0.030	6.51	17.1	-1.30
feb-08	7.9	36.08	0.357	0.770	0.030	6.60	18.9	
mar-08	8.1	35.14	0.521	0.970	0.040	5.85	19.4	-1.40
Media	8.1	17.80	0.247	0.535	0.021	6.49	19.8	
DE	0.4	11.56	0.127	0.269	0.010	0.59	1.4	
CV	0.0	0.6	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	
Canales de corriente rápida (El Zarco)								
may-07	6.0	0.90	0.007	0.260	0.0005	4.75	11.3	-0.66
jun-07	7.0	0.80	0.006	0.133	0.0002	5.05	11.2	0.22
jul-07	6.0	0.80	0.006	0.246	0.0004	5.63	11.2	-0.25
ago-07	6.5	1.10	0.007	0.140	0.0003	7.11	10.9	0.03
sep-07	8.0	0.89	0.006	0.304	0.0087	7.27	10.2	0.77
oct-07	6.0	1.00	0.007	0.196	0.0004	7.89	9.5	0.32
nov-07	7.0	0.85	0.006	0.120	0.0002	7.06	9.1	0.92
dic-07	7.0	0.90	0.006	0.183	0.0003	7.46	8.8	0.90
feb-08	6.0	1.25	0.015	0.382	0.0007	3.95	11.6	-2.26
Media	6.6	0.94	0.01	0.22	0.001	6.46	10.4	
DE	0.70	0.15	0.00	0.09	0.00	1.41	1.06	
CV	0.11	0.16	0.39	0.40	2.14	0.22	0.10	
Wedemeyer y Wood (1974)	9.0	1.0	0.55	16.1	0.05	5.0	17.6	-86.38

Análisis estadísticos de la calidad del agua.

Dado que las variables evaluadas no cubrieron las pruebas de homocedasticidad de la varianza, se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney, que incluyó otras pruebas como la Z de Kolmogorov-Smirnof, y la prueba de Wilcoxon. Los resultados indicaron que de acuerdo con estas pruebas estadísticas se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los parámetros físico-químicos registrados en los dos sistemas (SCR y CCR), excepto la concentración de oxígeno (OD) (Tabla 9), lo que demuestra que ambos sistemas presentaron una calidad del agua diferente, pero con niveles de oxígeno disuelto suficientes para permitir el desarrollo adecuado de la trucha arco iris.

Tabla 9. Resultados estadísticos de las pruebas no paramétricas de los dos sistemas de cultivo.

Estadístico	Temp.	O.D.	pH	Nitrito	Nitrato	NAT	Amoniaco
Mann-Whitney.	0,000	45,000	4,000	0,000	0,000	15,000	1,000
Wi de Wilcoxon.	45,000	111,000	49,000	45,000	45,000	60,000	46,000
Z.	-3,764	-0,343	-3,503	-3,795	-3,764	-2,667	-3,723
Sig. asíntot (bilateral).	0,000	0,730	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000
Sig. exacta (2* (sig. unilateral)).	0,000 ^a	0,766 ^a	0,000 ^a	0,000 ^a	0,000 ^a	0,007 ^a	0,000 ^a

a = No corregidos para los empates.

Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos.

En el SCR se observó una relación entre la temperatura del agua y los niveles de OD. Se marca un incremento gradual de OD de mayo a diciembre del 2007 y una posterior disminución, estos cambios están relacionados con la temperatura del agua. La temperatura alcanzó su valor promedio máximo en el mes de julio con 21.5

°C y el mínimo en enero con 17.3 °C con una diferencia cercana a los 5 °C. El oxígeno disuelto siempre se mantuvo por encima de los 5.0 mg/L, alcanzando su valor promedio máximo en noviembre con 7.3 mg/L y el mínimo en mayo con 5.3 mg/L (Figura 23). En contraste en los canales de corriente rápida ubicados en el Zarco, se observó un decremento gradual de la temperatura a partir del mes de mayo del 2007, llegando a un mínimo promedio de 8.7 °C y un incremento posterior marcado en el mes de febrero del 2008 alcanzando el valor promedio máximo de temperatura con 11.7 °C, con una diferencia entre ambos valores de sólo 3 °C. Por su parte el OD sufrió un incremento gradual pasando de 4.7 mg/L en el mes de mayo del 2007 hasta alcanzar un valor promedio máximo de 7.8 mg/L en el mes de octubre y manteniendo esta tendencia hasta el mes de diciembre del mismo año. Se observó un decremento brusco en el mes de febrero del 2008, cuando se registró el valor promedio mínimo más bajo del año con 3.8 mg/L (Figura 24).

Las especies químicas derivadas del nitrógeno como los nitritos y nitratos, exhibieron en el SCR a lo largo del experimento una tendencia de incremento gradual pero constante, así por ejemplo, al inicio del experimento los valores de nitratos presentaron en promedio 4 mg/L y al final de experimento finalizaron en 34.8 mg/L, es decir una diferencia de 30 mg/L; en el caso de los nitritos al principio se registraron valores de 0.008 y se terminó con 0.55 mg/L (Figura 25). En el caso de los canales de corriente rápida, los nitratos presentaron variaciones, el valor más bajo se presentó en los meses de junio y julio del 2007 con 0.80 mg/L y el valor máximo se registró en el mes de febrero con 1.25 mg/L. A su vez, los nitritos se mantuvieron casi constantes a lo largo del tiempo de cultivo con un valor promedio de 0.006 mg/L, a excepción del mes de febrero del 2008 cuando se registró el valor más alto con 0.015 mg/L (Figura 26).

Existe una estrecha relación entre el nitrógeno amoniacal total (NAT) y el amoníaco (NH_3), ya que la concentración de éste último depende en este caso de la temperatura del agua y del pH. En el SCR a medida que avanzó en ciclo de cultivo

se presentó un incremento gradual de ambos parámetros. Al inicio del experimento el NAT presentó valores bajos (0.1 mg/L) y al final del mismo el valor alcanzó 0.9 mg/L. En el caso del amoniaco, los valores inician con 0.004 y finalizan con 0.040 mg/L (Figura 27).

En el caso de los canales de corriente rápida por ser un sistema abierto los valores de NAT fluctuaron marcadamente. El valor más bajo fue de 0.140 mg/L y se registró en los meses de junio, agosto y noviembre y el valor más alto se presentó en el mes de febrero con 0.355 mg/L. En contraste el amoniaco presentó valores casi imperceptibles y sólo en el mes de septiembre se presentó un pico que alcanzó un valor de 0.090 mg/L (Figura 28).

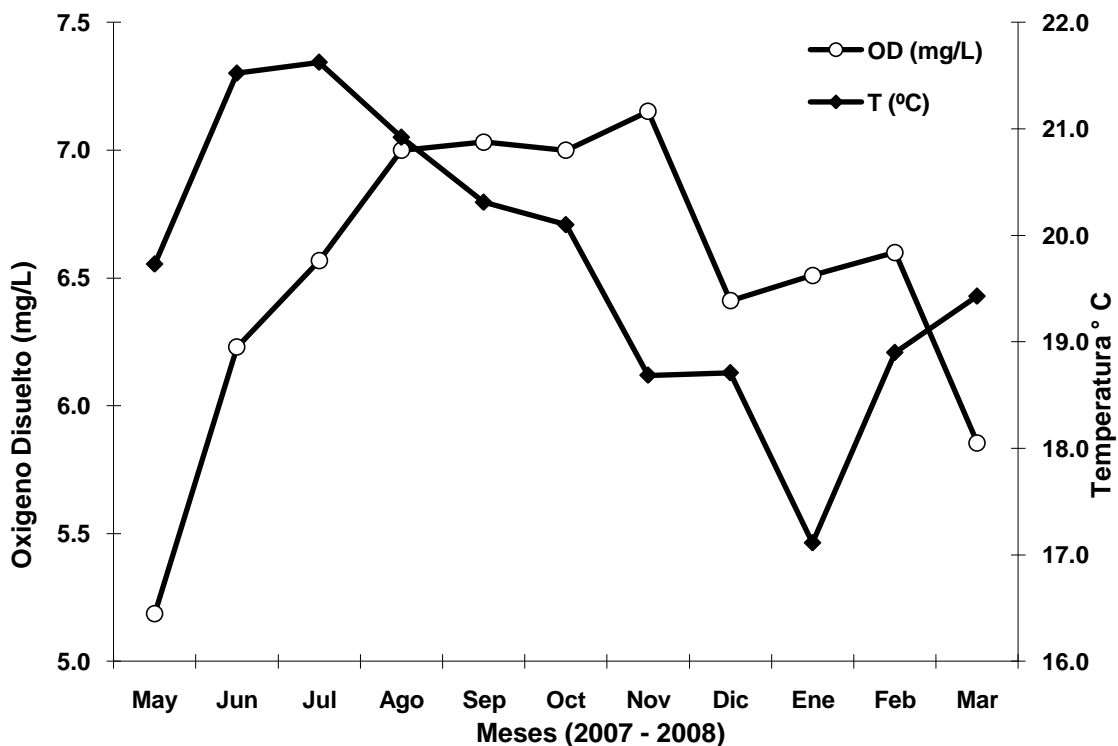


Figura 23. Fluctuaciones del oxígeno disuelto y la temperatura en el SCR.

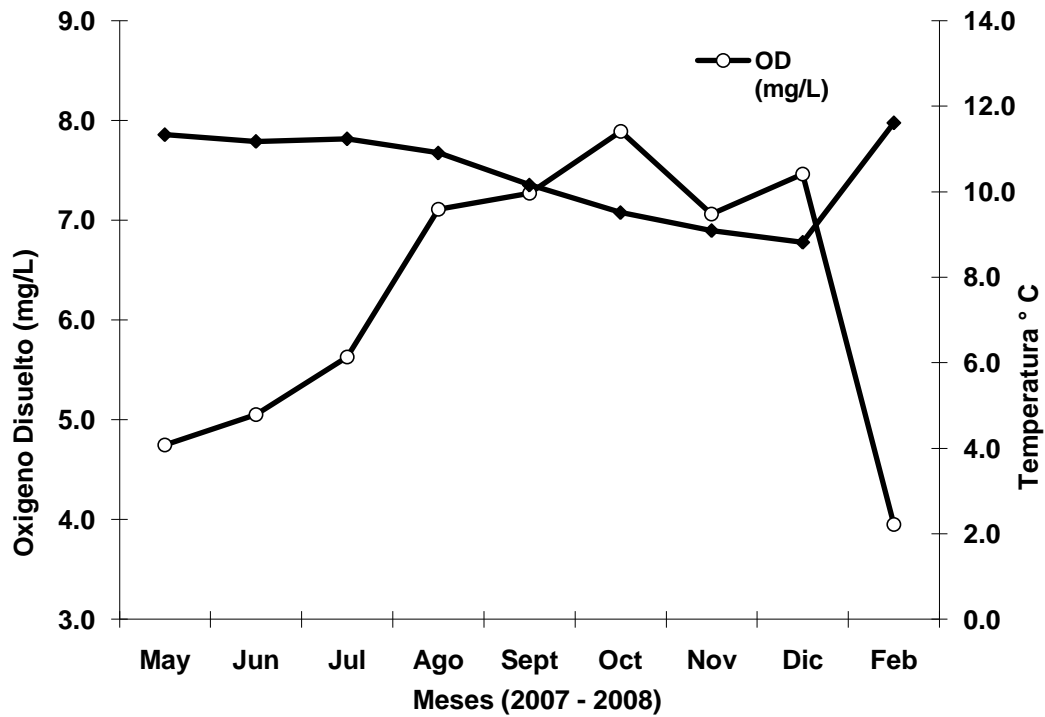


Figura 24. Fluctuaciones del oxígeno disuelto y la temperatura en los CCR.

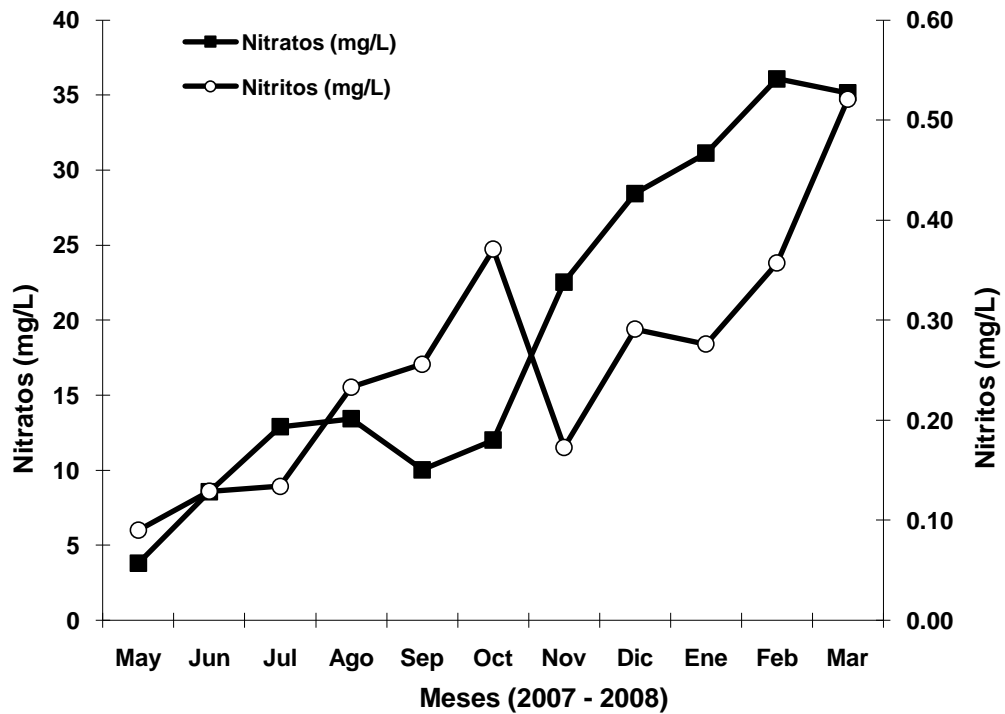


Figura 25. Fluctuaciones de los nitritos y nitratos en el SCR.

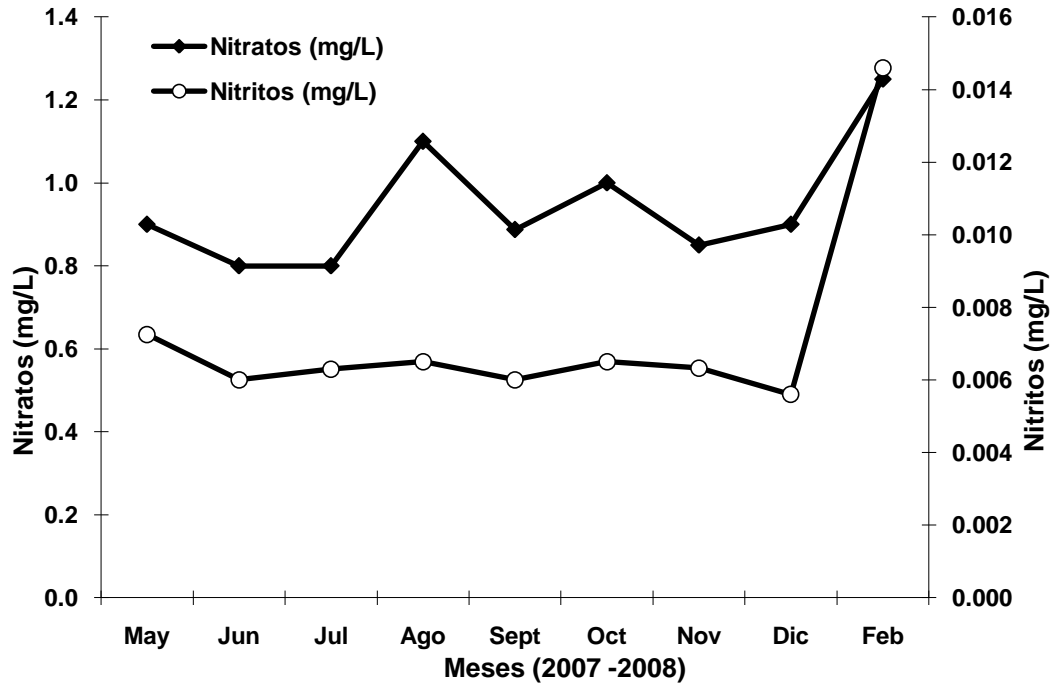


Figura 26. Fluctuaciones de los nitritos y nitratos en los CCR.

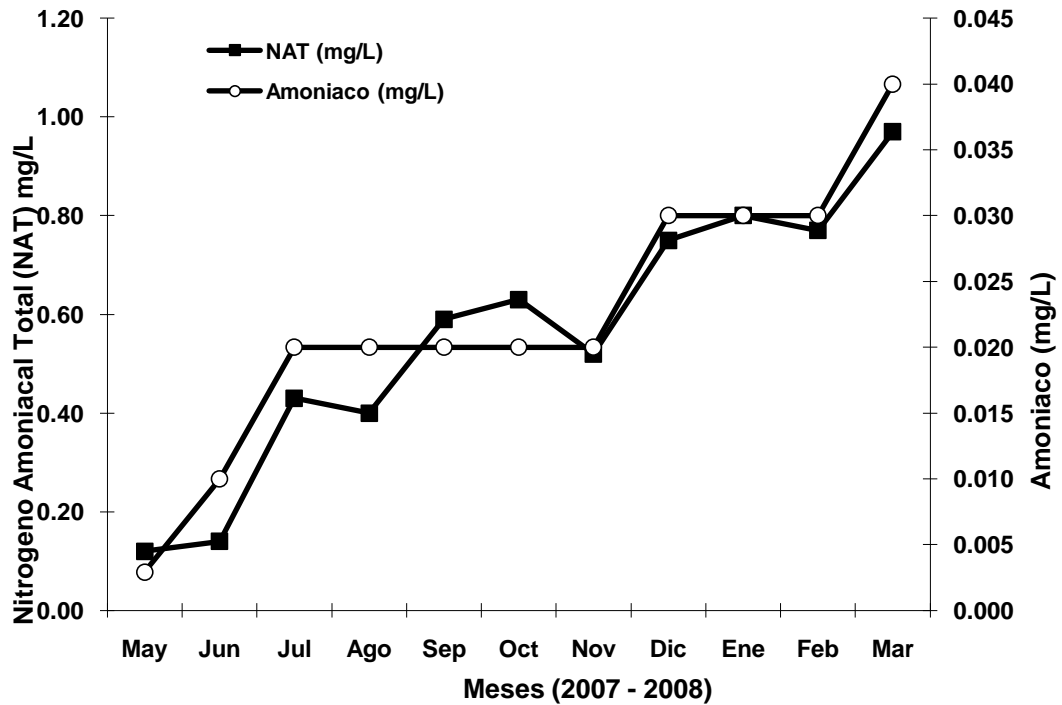


Figura 27. Fluctuaciones del NAT y el amoniaco en el SCR.

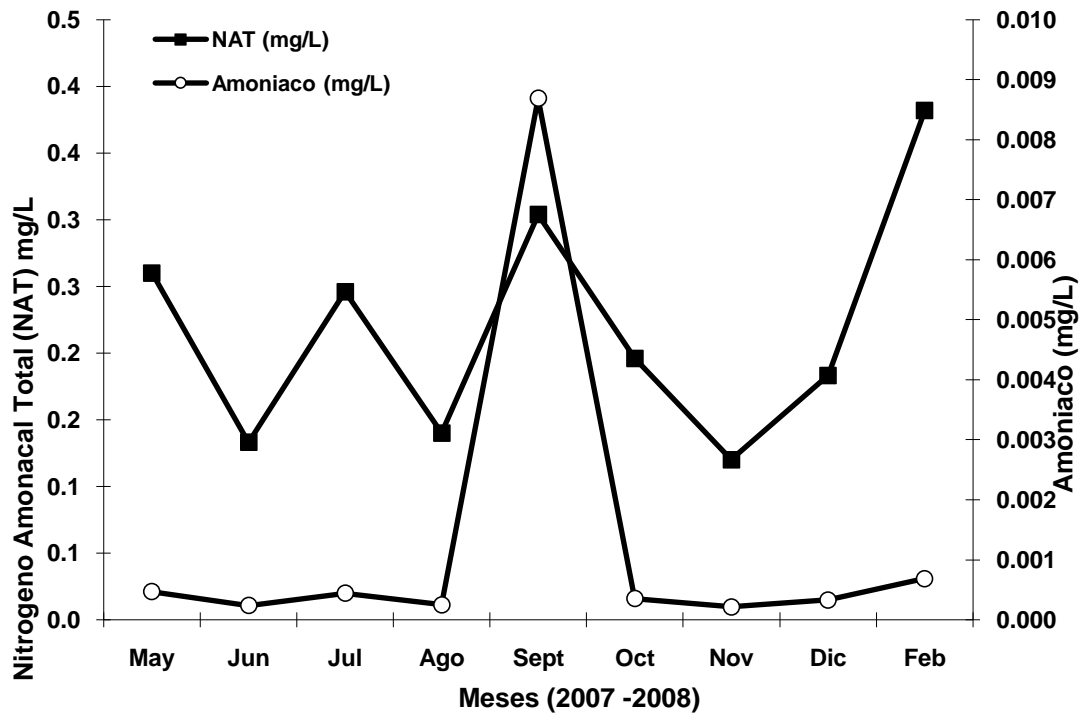


Figura 28. Fluctuaciones del NAT y el amoniaco en los CCR.

Índice Único de Calidad del Agua (IUCA).

El Índice Único de Calidad del Agua (IUCA), para los dos sistemas de cultivo, se presenta en la figura 29.

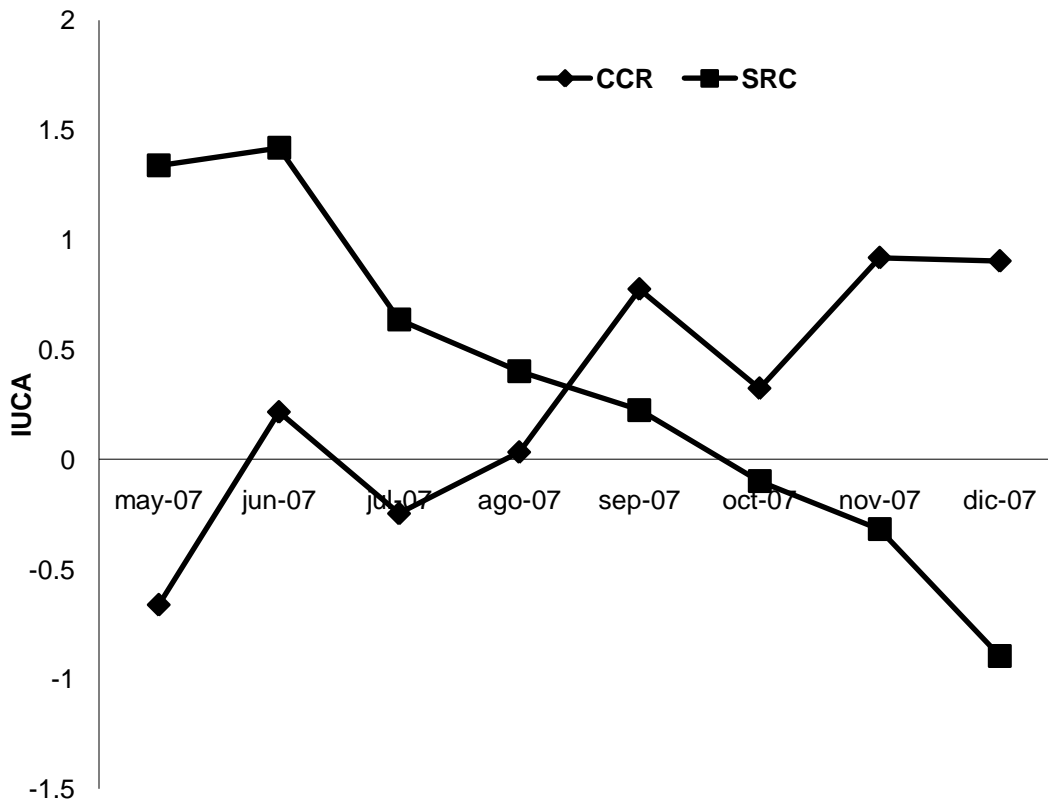


Figura 29. Fluctuaciones IUCA a lo largo del tiempo de cultivo en los dos sistemas.

Se aprecia que ambos sistemas de cultivo presentan un comportamiento diferente de acuerdo con las estimaciones del IUCA, ya que en el SRC a lo largo del tiempo los parámetros de calidad del agua se deterioraron paulatinamente a medida que avanza el cultivo, en contraste en los canales de corriente rápida los parámetros mejoran sensiblemente en el tiempo, aunque en el mes de enero del 2008 se observa una caída brusca. Sin embargo, a pesar de ello la calidad del agua en ambos casos es óptima para el cultivo de la trucha arco iris en ambos casos.

10. DISCUSIÓN

Crecimiento.

En términos comparativos la tendencia del crecimiento tanto en peso corporal como en longitud total de la trucha arco iris seleccionada, fue semejante en ambos sistemas de cultivo. Así por ejemplo, en el SCR las dos poblaciones que inicialmente se introdujeron de manera separada por su peso y longitud promedio, mostraron a lo largo del tiempo de cultivo una tendencia creciente de incremento de peso corporal y longitud total, que se hizo más evidente en los últimos meses de cultivo. A medida que se incrementó el tiempo de cultivo, la trucha arco iris rebasó en promedio los 300 g de peso corporal, el cual es el peso comercial de este organismo. En contraste, en los canales de corriente rápida, a pesar de que los juveniles de trucha iniciaron con un peso promedio total muy similar, el crecimiento en el canal 3 se disparó a tal grado que al final del experimento los organismos rebasaron los 700 g de peso en tan sólo 10 meses de cultivo y en el canal 6 alcanzaron en promedio 500 g. Se ha demostrado que la sobrevivencia y el crecimiento de los Salmónidos dependen entre otros factores de la densidad dentro de los estanques, del tamaño de los peces y la calidad del agua donde son cultivados. Por ejemplo, Alvarado, (1999) reportó diferencias entre las densidades y el cultivo en estanques de tierra y concreto, en el cual se apoya la teoría de que la densidad dentro del sistema de recirculación fue un factor determinante en la talla que alcanzaron los organismos, Arredondo y col., (1996 b), cultivaron la trucha arco iris en el mismo SCR con una densidades de 3 org/m³, obtuvieron tasas de crecimiento elevadas sobre todo cuando se incluyen organismos con un peso corporal inicial promedio de 98.2 ± 18.9 g y 22.5 ± 0.94 cm de longitud total. Bajo estas condiciones fue posible obtener un crecimiento de 3.6 g día⁻¹ en tan solo 39 días de cultivo, la curva de crecimiento exhibió una tendencia similar a la registrada en el presente experimento. Alvarado (1998) reportó

crecimientos semejantes utilizando truchas con un peso inicial promedio de 85.2 y longitud de 19.4 cm y en un periodo de cuatro meses obtuvo organismos cercanos a los 250 g en promedio. Al parecer y de acuerdo con la literatura analizada, la trucha arco iris exhibe una tendencia semejante de crecimiento en ambas variables y la ganancia en peso y longitud esta relacionada con la densidad, el tipo de sistema de cultivo, la calidad del agua y la alimentación suministrada (Pokniak y col., 1999; Akbulut y col., 2002; Thiessen y col., 2003; Yildiz, 2004; Pokniak y col., 2005; Blanc y col., 2005; Palti y col., 2006). Debido a estos factores, las diferencias en las ganancias de peso y longitud obtenidas en la presente investigación obedecen principalmente a la densidad utilizada y al tipo de sistema, ya que la calidad del agua se mantuvo en los intervalos óptimos de cultivo para la mayoría de los parámetros físico-químicos y el alimento utilizado fue el mismo.

Relación longitud-peso.

Se ha encontrado que en un cultivo intensivo el peso total varía por una potencia de la longitud total. Esta expresión puede aplicarse mejor a un pez que ha sido medido y pesado en sucesivas etapas de su ciclo de vida, lo cual es posible realizarlo en la actividad acuícola más que en el análisis de pesquerías (Ricker, 1975). Esta relación es esencial para numerosos estudios, por ejemplo estimar la tasa de crecimiento, la estructura de edad de una población y otros aspectos relacionados con la dinámica de poblaciones. La regresión longitud-peso también es utilizada para calcular el factor de condición en el análisis de los cambios ontogénicos (Morato y col., 2001). Moutopoulos y Stergiou (2002) indican que esta relación es útil ya que permite la conversión de crecimiento en longitud a peso; estimar la biomasa a partir de datos de longitud; calcular el factor de condición de acuerdo a Fulton y es útil para comparaciones de historias de vida de ciertas especies. En la acuicultura, la relación longitud-peso tiene una utilidad práctica sobre todo porqué conociendo bien esta relación es posible estimar el peso a partir de la longitud y viceversa, con lo que se

puede calcular la tendencia del crecimiento en el tiempo de cultivo, la biomasa contenida en los estanques, las raciones alimenticias y el factor de condición, que refleja el estado de salud de los organismos. Al realizar el cálculo de la curva a través de una regresión potencial, se puede estimar el valor de la pendiente b ; este valor varía y cuando $b = 3$ se dice que el crecimiento es isométrico, lo que significa que el pez a lo largo de su ciclo de vida no cambia su forma del cuerpo ni su gravedad específica. Por otra parte, existen peces que presentan valores de b menores o mayores a 3, lo cual indica un crecimiento de tipo alométrico (Ricker, 1975).

Los resultados obtenidos en el presente trabajo mostraron valores de b que fluctuaron de 3.0 a 3.1, siendo ligeramente inferiores en los canales de corriente rápida. Esta variación indicó que para ambos casos el crecimiento fue de carácter isométrico (t -student, $P \leq 0.05$) y por lo tanto existió una proporción en el crecimiento entre el peso y la longitud. La correlación lineal de los datos mostró un valor por encima del 99% en todos los casos, lo que demuestra un ajuste perfecto a pesar de que en la trucha se presenta un efecto de dominancia de algunos organismos que crecen más rápido y se desarrollan, relegando a los otros. Son los primeros que consumen alimento y los que marcan un dominio sobre el resto de la población.

Indicadores de desempeño.

La mayoría de las publicaciones que utilizan los indicadores de desempeño, lo hacen con propósitos comparativos como por ejemplo determinar diferencias entre sistemas de cultivo o bien la respuesta de los organismos a la aplicación de dietas experimentales. Los indicadores más utilizados en diversas investigaciones han sido los siguientes: mortalidad (%), ganancia de peso (GP), eficiencia del uso de la proteína (EUP), índice gonadosomático (IGS), índice hepatosomático (IHS), coeficiente térmico de crecimiento (CTC), tasa de crecimiento específico (TCE), factor de conversión del alimento (FCA), tasa diaria de alimentación (g), eficiencia de

conversión (EC) y factor de condición (K) (Alvarado, 1998; Alvarado, 1999; Pokniak y col., 1999; Akbulut y col., 2002; Thiessen y col., 2003; Yildiz, 2004; Pokniak y col., 2005; Aksnes y col., 2006; Ingle de la Mora y col., 2006; Morales y Quirós, 2007; Yoshitomy y col., 2007 y Maleri, 2009).

En el presente experimento, se utilizaron los indicadores relacionados con el desempeño productivo de la trucha arco iris, con el propósito de hacer una comparación entre el sistema cerrado de recirculación y los canales de corriente rápida. De acuerdo con la bibliografía más reciente, sólo es posible comparar algunos indicadores, debido a que en las diversas investigaciones, se presentan diferencias en la talla y peso inicial de cultivo, en las densidades, en los sistemas de cultivo, en la tasa de alimentación, la calidad de agua del sistema, el tiempo de cultivo y el contenido nutricional de los alimentos utilizados. Sin embargo, para propósitos prácticos los indicadores utilizados en la presente investigación son de gran utilidad, sobre todo para comparar el desempeño de una línea seleccionada de trucha arco iris cultivada en dos sistemas intensivos completamente diferentes. Los indicadores que permiten comparar diversos sistemas de cultivo esencialmente son el factor de conversión de alimento (FCA), el factor de condición (FC) y la tasa específica de crecimiento (TEC). Estos factores permiten obtener indicadores útiles bajo diferentes situaciones de cultivo. Así por ejemplo, Alvarado (1999) evaluó el crecimiento y la sobrevivencia de la trucha arco iris en diferentes tipos de estanques y densidades y encontró valores promedio de la TEC desde 1.52 a 1.81 y un FCA de 1.44 a 2.51. Pokniak y col. (1999) utilizando dos tipos de alimento comercial extrudizado y pienso, reportó una TEC de 1.37 a 2.18, un FCA de 1.04 a 1.37 y mortalidad que fluctuó de 0.66 a 4.04%. Akbulut y col. (2002) al describir el efecto de la talla inicial de cultivo en jaulas, encontró una TEC de 1.02 a 1.11, FCA de 1.37 a 1.65 y un FC de 1.37 a 1.65. Thiessen y col. (2003) utilizando dietas con proteína vegetal reportó una TEC de 1.87 a 1.94 y un FCA de 1.06 a 1.12. Yildiz (2004) realizando cultivos con dietas conteniendo diferentes cantidades de vitamina E, registró una TEC de 1.4 y un FCA de 1.2. Pokniak y col. (2005) en un trabajo de

pigmentación utilizando el pigmento sintético astaxantina en dos periodos de tiempo reportó una TEC de 1.4 a 1.5 y un factor de condición de 1.6. Aksnes y col. (2006) utilizando una dieta especializada con alto contenido de proteína vegetal encontró una TEC desde 0.30 a 1.21 y factor de condición (FC) que varió de 1.18 hasta 1.52. En un trabajo experimental para probar el efecto de pigmentos naturales para la pigmentación del filete en trucha arco iris, Ingle de la Mora y col. (2006) reportó una TEC que fluctuó entre 1.3 y 1.6 y FCA de 1.5 en promedio. Morales y Quirós (2007) señaló una TEC de 0.07 a 3.3 y un FCA de 1.1 y 1.3, alimentando a la trucha arco iris cultivada en jaulas con diferentes estrategias del tamaño de la ración. Yoshitomi y col. (2007), indicó valores de TEC que fluctúan entre 3.0 y 3.1, con sobrevivencia cercana a 99% en todos los casos y finalmente en 21 pequeños embalses donde se lleva a cabo el cultivo en jaulas de trucha arco iris, el FCA fluctuó de 1.1 a 2.5 y se observó una tasa de crecimiento diario de 1.4 a 9.0 g día⁻¹, con una mortalidad que fluctuó de 5 al 50% (Maleri, 2009).

Todos estos datos confirman que los valores de la TEC obtenidos en este trabajo se encuentran dentro del límite reportado en las diferentes investigaciones. Es importante destacar que se encontraron valores mayores en los canales, con un crecimiento diario por encima de 1.91 g día⁻¹ comparado con el crecimiento máximo de 1.84 g día⁻¹ en el SCR, lo cual confirma que el crecimiento fue mayor en los canales, aunque hay que tomar en cuenta que la densidad y el volumen de agua fue diferente y quizá; al final del experimento sobre todo, la calidad del agua. Con respecto al FCA, los valores registrados fueron relativamente elevados, sin embargo, son semejantes a los obtenidos en otros experimentos. El factor de condición (FC) también se considera aceptable y la sobrevivencia fue elevada excepto en el CCR6, debido a una mortalidad causada por error humano, (cloro en agua) y al movimiento subsecuente que se hizo de los organismos. A pesar de algunos inconveniente, los dos sistemas mostraron valores de los indicadores de desempeño, semejantes a los obtenidos en otras regiones del mundo, con lo cual se confirma que la trucha arco iris

seleccionada mantuvo una tasa de crecimiento, FCA, FC y una sobrevivencia aceptable.

El coeficiente de correlación r de Pearson sólo se pudo realizar en las dos poblaciones de trucha arco iris cultivada en el SCR, dado que se contó con una mayor cantidad de datos a lo largo del tiempo de cultivo. Por otra parte, debido a que los resultados fueron iguales en ambas poblaciones, sólo se presentaron los resultados de la población 1. Se encontró que existieron correlaciones significativas ($P \leq 0.05$) entre los diversos indicadores de desempeño. Estas correlaciones agruparon a indicadores de crecimiento principalmente en peso, eficiencia de alimento y sobrevivencia. La representación gráfica de la relación entre éstas variables, mostró que el coeficiente de correlación más alto (r^2) se ajustó en su mayoría de los casos a un modelo de tipo cuadrático, excepto la TAS (kg) versus la sobrevivencia (%) que fue cúbico. Al respecto Morales y Quirós (2007), encontraron correlaciones entre la tasa específica de crecimiento TEC (% día⁻¹) y la ración suministrada (R) con un $r^2 = 0.75$, que fue curvilínea ajustándose a un modelo de regresión polinomial de segundo orden y entre el FCA y la TEC con un $r^2 = 0.73$, que se ajustó a una curva potencial. En este trabajo no se encontraron correlaciones altas entre estos factores, debido a que la tasa de alimentación suministrada a lo largo del experimento fue similar en ambos casos. Sin embargo, si se observaron altas correlaciones entre la ganancia mensual de peso vs. longitud total (cuadrática; $r^2 = 0.881$); entre el peso total del organismos y el peso de la cosecha final (cuadrática; $r^2 = 0.997$); entre la tasa de alimento suministrado y la sobrevivencia (cúbica; $r^2 = 0.97$); el peso total de la cosecha y la sobrevivencia (cuadrática; $r^2 = 0.974$); sobrevivencia y peso final (cuadrática; $r^2 = 0.977$) y sobrevivencia y longitud final (cuadrática; $r^2 = 0.958$). Los resultados muestran una asociación estrecha entre los indicadores de desempeño relacionados con el peso, la longitud y la sobrevivencia, lo cual demuestra una estrecha asociación entre estas tres variables, independientemente de la talla y peso inicial de los organismos. Desafortunadamente, no se pudo realizar una comparación con los canales de

corriente rápida, debido a que faltaron más registros biométricos lo cual constituye una línea de investigación que puede realizarse en experiencias futuras.

Los resultados del ANDEVA mostraron que los indicadores de desempeño registrados en el SCR fueron idénticos en ambas poblaciones y no presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$). En contraste, en los canales de corriente rápida se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la TAS, PTC y RTV, indicando un comportamiento diferencial de las poblaciones cultivadas. Al comparar ambos sistemas se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre las variables antes señaladas. Estos resultados señalan el hecho de que el comportamiento productivo de ambos sistemas es diferente, a pesar de que los dos son considerados como sistemas intensivos de cultivo. El ANDEVA reforzó estas diferencias, ya que los resultados mostraron que el efecto entre los grupos y dentro de los grupos fue significativo ($P \leq 0.05$), con éstos indicadores.

Existe una discusión para determinar cual de los dos sistemas de cultivo son más eficientes en términos de rendimiento y rentabilidad. Así por ejemplo, Piggott (2008) mencionó las ventajas y desventajas de ambos sistemas de producción, destacando entre sus diferencias que los CCR son diez veces más largos que anchos y requieren de 1.5 a 3.0 veces más el área de la pared que un estanque circular de volumen similar. Los estanques circulares a su vez tienen un diámetro en relación a la profundidad de 3:1 a 10:1, que es importante desde el punto de vista de la hidrodinámica para mantener uniforme la columna de agua. Ambos sistemas son eficientes para producir trucha arco iris, ya que para mantener el estado de salud de los organismos, se requieren velocidades entre 0.5 y 2.0 veces la longitud total del cuerpo del pez por segundo; el flujo que se genera en ambos sistemas mantienen a la trucha arco iris en un continuo movimiento, ya que nada en contra de la corriente, esta situación propicia que mejore notablemente su resistencia a las enfermedades, incrementa la tasa de crecimiento y reduzca el factor de conversión del alimento (FCA), además, el ejercicio constante al que está sometido, reduce el consumo de

oxígeno disuelto, dado que el agua pasa a través de las branquias en vez de ser bombeado, por lo que se reduce el gasto energético.

Al comparar los dos sistemas utilizados en la presente investigación, se encontró que los rendimientos fueron de siete a nueve veces superior en el SCR, a pesar de que los CCR son 15 veces más grandes. A simple vista se podría asumir que es mejor utilizar un SCR para obtener un mayor rendimiento acuícola, sin embargo, la densidad de peces utilizada en los CCR fue casi de la mitad (12.0 org/m³ en el CCR3 y 17.3 org/m³ en el CCR6). Debido al efecto de la densidad la trucha alcanzó un mayor peso en un menor tiempo de cultivo. Esta situación es común en la piscicultura, ya que la talla de cosecha depende básicamente de la capacidad de carga del sistema, de esta manera a menor carga los organismos alcanzarán un mayor peso en menor tiempo y a mayor carga suele ocurrir lo contrario. Losordo y col. (1998), opinaron que la capacidad de carga debe ser elevada para hacer rentable el cultivo, sin embargo, entre más intensivo es el cultivo, se requiere una mayor inversión para eliminar los desechos orgánicos, mantener controlados los metabolitos tóxicos y la calidad del agua particularmente los niveles de oxígeno disuelto.

El uso actual de los sistemas cerrados de recirculación (SCR) en la acuicultura amplía el conocimiento de la tecnología de intensificación y permite conocer el manejo adecuado de la calidad del agua. No obstante, estos sistemas requieren de una mayor cantidad de equipos y componentes, para eliminar la materia orgánica, eliminar los metabolitos tóxicos y mantener elevados los niveles de oxígeno disuelto en la columna de agua. Estos son los retos del futuro ante una alta demanda del agua para uso doméstico, agricultura y la industria, lo que lleva a conservar el agua y mejorar su calidad, en el caso de la acuicultura esto permite obtener bajos valores del FCA, reducir los costos de tratamientos de enfermedades y desde el punto de vista económico, su cercanía a los mercados (Lazur y Britt, 1997). Las ventajas que se observaron en el presente trabajo es que en el SCR se tiene un mejor control del

sistema, se requiere menos mano de obra y la cosecha es relativamente fácil, a diferencia de los CCR donde se dificulta más el control, la cosecha de los organismos y se requiere una mayor cantidad de mano de obra. Por otra parte, la trucha arco iris seleccionada genéticamente, se adaptó perfectamente a ambos sistemas de cultivo tal como lo indica su desempeño a pesar de que presentaron características totalmente diferentes.

Calidad del agua

Al comparar los resultados de los parámetros fisicoquímicos registrados a lo largo del periodo de cultivo en ambos sistemas, se encontró que los valores promedio comparados con la propuesta de Wedemeyer y Wood (1974) quién marcó los intervalos óptimos para el cultivo de la trucha arco iris (*O. mykiss*), la mayoría éstos se ubicaron dentro de este intervalo, a excepción de la temperatura promedio en el SCR donde el valor promedio estuvo casi tres grados centígrados por encima del valor óptimo.

Así mismo, la calidad del agua a pesar de encontrarse dentro de los intervalos recomendados para el cultivo de esta especie, presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre ambos sistemas de cultivo, excepto en los niveles de oxígeno disuelto (OD). En el caso de los CCR el sistema es de flujo abierto y recibe agua de un manantial, por lo cual el recambio constante de agua implica que la calidad del agua se renueva constantemente y los cambios en ella obedecen a las temporadas de lluvia y estío. En contraste en el SCR que es un sistema de flujo cerrado, la calidad del agua se controla a través de diferentes mecanismos físicos, químicos y mecánicos, lo que permite que se cubran adecuadamente los requerimientos de la especie en este caso la trucha, en particular en este sistema no se controló la temperatura del agua y el oxígeno disuelto se aumentó a través de procesos mecánicos como la

aireación. En este sentido Maleri (2009) indica que la calidad del agua en embalses donde se lleva a cabo el cultivo de trucha arco iris en jaulas, presenta cambios marcados dependiendo de la estación del año, así como de los procesos de estratificación y recirculación de la columna de agua, lo cual influye en el desempeño del cultivo, ya que estos cambios producen niveles elevados de nitrógeno amoniacal total (NAT) durante el verano, que alcanzan valores por arriba de 5 mg/L en el fondo y que contribuyen a la producción del nitrito (N-NO_2^-) bajo condiciones de anoxia. El pH se mantuvo en la mayoría de los embalses analizados por debajo de 6.0; sólo algunos embalses presentaron valores de OD menores de 1 mg/L durante la fase de estratificación. En cultivos en jaulas en ambientes marinos Akbulut y col. (2002), reportaron valores de temperatura que fluctuaron entre 7.9 y 15.3 °C, con variaciones estacionales marcadas; el OD varió de 7.7 a 10.0 mg/L y la salinidad y el pH no presentaron variaciones en el tiempo con valores que fluctuaron de 16.6 a 18.0 g/L y de 8.0 a 8.3. Estos dos ejemplos representan un sistema abierto, que generalmente suele presentar cambios marcados a lo largo del año, como consecuencia de la época del año. En el manantial que surge al Centro Trutícola “El Zarco”, los cambios estacionales marcados por las épocas de lluvias y estío, son menos marcados tal como lo demuestran los resultados obtenidos; el agua tiene un pH en promedio de 6.6, niveles de oxígeno disuelto mayores de 6 mg/L y una temperatura del agua promedio de 10.4 °C, que es ideal para el cultivo de trucha (Klontz, 1991); las especies derivadas del nitrógeno presentaron valores por debajo de los límites considerados como óptimos por Wedemeyer y Wood (1974) y diferentes a los reportados por Maleri (2009) y Akbulut y col. (2002).

En el caso del SCR existe una mayor información con respecto a la calidad del agua. Arredondo y col. (1996 b) cultivando trucha arco iris a bajas densidades en el mismo sistema utilizado en esta investigación, reportó valores promedio de pH de 9.0; temperatura del agua de 19.8 °C; 6.5 mg/L de OD; 0.01 mg/L de NAT, 0.01 mg/L de nitrito y 0.12 de nitrato, lo que permitió un buen crecimiento de la trucha. Posteriormente, Ingle de la Mora y col. (2003) trabajando en el mismo sistema y

sometiéndolo a diferentes cargas de biomasa de peces durante 120 días, registró promedios de pH de 8.4; 18.9 °C de temperatura del agua; 6.4 mg/L de OD; 0.32 mg/L de NAT y 0.26 mg/L de amoníaco (NH₃) lo que permitió mantener la calidad del agua dentro de los límites razonables de seguridad para las especies cultivadas, entre ellas la trucha arco iris. La misma Ingle de la Mora y col. (2006) al evaluar la pigmentación del filete con pigmentos naturales determinó valores promedio de 8.7 de pH, 19.0 °C de temperatura; 6.5 mg/L de OD; 0.03 de amoníaco; 0.49 de nitritos y 24.1 de nitrato. Estos valores permitieron un crecimiento adecuado de la trucha arco iris. Finalmente, Arredondo y col. (2007) en este mismo sistema de recirculación, manejando tres diferentes cargas de trucha arco iris en los estanques de cultivo reportó valores promedio de pH de 8.5; temperatura de 20.5 °C; 6.4 de OD, 1.96 mg/L de NAT; 0.11 mg/L de amoníaco; 0.44 mg/l de nitrito y 25.9 mg/L de nitrato. De acuerdo con esta información, el SCR ha sido probado numerosas veces y en todas ellas se ha comprobado que la calidad de agua se mantiene en niveles aceptables que permiten el desarrollo y crecimiento de la trucha arco iris.

Cada sistema a pesar de tener una intensidad tecnológica elevada, presentan diferencias con respecto a la calidad del agua, tal como lo muestra el análisis estadístico no paramétrico, a excepción del OD. Esto obedece a que en el SCR se aplica oxígeno en el agua a través de tres procesos: a) el intercambio con la atmósfera, b) la inyección de aire por medio del soplador y c) la inyección de aire por medio de los tubos Venturi, lo que permite obtener nivel de saturación y de sobresaturación, suficientes para mantener las condiciones apropiadas de la trucha, a pesar de que la temperatura promedio rebasa los 19 °C. En contraste, en los canales de corriente rápida, los niveles de oxígeno disuelto se mantienen porque la temperatura es más baja y el agua del manantial al correr varios metros intercambia este gas con la atmósfera manteniendo niveles de saturación a pesar de que la altura sobre el nivel medio del mar rebasa los 3,000 m. Además, el flujo constante de la columna de agua en el canal permite una disposición constante de niveles apropiados de OD.

El comportamiento espacial de los parámetros de calidad del agua en ambos sistemas, en algunos casos fue similar como por ejemplo entre la temperatura del agua y el OD. Los valores de nitrito y nitrato fueron más elevados en el SCR debido a que los procesos de nitrificación son más marcados en este sistema, mientras que en los canales se mantienen más estables y sólo se observó un cambio brusco en el mes de febrero del 2008, que es cuando corresponde la época de estío, que es cuando disminuye el volumen de agua del manantial y hay un mayor aporte de material orgánico. También se observó una diferencia notable entre el comportamiento estacional de NAT y el amoníaco. En el SCR se observa una tendencia de incremento gradual a lo largo del tiempo sin alcanzar valores subletales y en los canales, sólo se registró un pico marcado en el mes de septiembre, que podría corresponden a un incremento de material orgánico arrastrado por el manantial.

Rodríguez (2009) presentó una propuesta para elaborar un índice único de calidad del agua (IUCA) para caracterizar la calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación. Desde el punto de vista práctico, este índice es más útil cuando se comparan varios sistemas. Su uso y aplicación en esta investigación, refuerza las diferencias observadas en cuanto a calidad del agua en los sistemas intensivos evaluados. Así por ejemplo, en el SCR se observa un continuo deterioro de la calidad con respecto al tiempo, sin llegar a valores que perjudicaran a los organismos, aspecto que ya ha sido discutido con anterioridad y en los canales de corriente rápida la calidad del agua es mejor respecto al tiempo, aunque se marca una caída brusca a finales del año, cuando se presenta el estío. Al parecer el IUCA es una herramienta útil que permite precisar el comportamiento de la calidad del agua bajo diferentes esquemas de cultivo.

11. CONCLUSIONES

1. La generación F1 de la trucha arco iris seleccionada presentó una tendencia homogénea de crecimiento en peso y longitud a lo largo del periodo de cultivo en ambos sistemas, siendo en los canales de corriente rápida en donde alcanzaron un mayor peso en menor tiempo, debido principalmente a las diferencias en la densidad utilizada y al tipo de sistema de cultivo.
2. La relación longitud-peso mostró que la F1 de trucha arco iris seleccionada mantiene un crecimiento isométrico a lo largo del periodo de cultivo, ajustando el modelo a una curva potencial la cual mostro un elevado coeficiente de correlación. Esto indica que el crecimiento en proporción de la longitud y peso es similar y se mantiene en ambos sistemas de cultivo.
3. Los indicadores de desempeño analizados a lo largo del cultivo en ambos sistemas, permitió una adecuada comparación de los indicadores de crecimiento y eficiencia alimentaria. Los indicadores más útiles para propósitos comparativos a nivel mundial fueron aquellos que están relacionados con el crecimiento como la tasa específica de crecimiento (TEC), la alimentación como el factor de conversión de alimento (FCA) y con el estado de bienestar y salud del organismo como el factor de condición (FC). De acuerdo a los datos obtenidos en el presente trabajo, el desempeño del cultivo tanto en el sistema cerrado de recirculación como en los canales de corriente rápida fue adecuado y similar al reportado en otros trabajos de investigación.
4. Los indicadores de desempeño comparados en los dos sistemas de cultivo mostraron su utilidad práctica y refuerzan la idea de seguir utilizando estos indicadores bajo distintas condiciones de cultivo.

5. Se presentaron correlaciones significativas al comparar los indicadores de desempeño, agrupando a los indicadores que tienen relación con el incremento en peso, la longitud y la sobrevivencia. El modelo de ajuste que explicó mejor esta correlación fue el cuadrático con coeficientes de correlación por encima 97%.

6. El análisis de varianza indicó que los indicadores de desempeño que fueron registrados en las dos poblaciones cultivadas en el sistema cerrado de recirculación no presentaron diferencias significativas en comparación con los canales de corriente rápida que presentaron diferencias significativas entre la Ganancia en Peso Total (GPT), el peso total de la cosecha (PTC), la Sobrevivencia (S) y el Total de Alimento Suministrado (TAS) y el efecto entre los sistemas y dentro de los sistemas fue significativo para estos indicadores.

7. Los resultados refuerzan que ambos sistemas son eficientes para la producción de esta especie y a pesar de que el rendimiento acuícola fue más elevado en el SCR, esto obedece básicamente a la diferencias en densidad que fueron utilizadas. Sin embargo, el SCR presenta mayores ventajas.

8. La calidad del agua de ambos sistemas fue apta y suficiente para mantener el desarrollo y crecimiento adecuado de la trucha arco iris, sin llegar alcanzar niveles críticos y peligrosos para la sobrevivencia. El análisis estadístico mostró que los parámetros que determinan la calidad del agua en ambos sistemas presentaron diferencias significativas, excepto por los niveles de concentración del oxígeno disuelto.

9. El índice único de calidad del agua (IUCA), resultó ser una herramienta útil para caracterizar a cada sistema y permite tener un seguimiento del comportamiento general con respecto al tiempo. Este índice puede ser utilizado con propósitos comparativos bajo diferentes sistemas de cultivo.

12. LITERATURA CITADA

- Akbulut, B., Sahin, T., Aksungur, N. and Aksungur, M. 2002. Effect of initial size on growth rate of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, reared in cages on the Turkish Black Sea Coast. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 2: 133-136.
- Aksnes, A., Hope, B., Jönsson, E., Björnsson, B.T., and Albrektsen, S. 2006. Size-fractionated fish hydrolysate as feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed high plant protein diets. I: Growth, growth regulation and feed utilization. *Aquaculture* 261: 305-317.
- Alvarado de A., H. 1998. Efecto de diferentes concentraciones de calcio sobre el desarrollo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en condiciones de cultivo. *Zootécnia Tropical* 16 (1): 99-111.
- Alvarado, H. 1999. Crecimiento y sobrevivencia de la trucha arco iris cultivada en diferentes tipos de estanques y densidades. *Veterinaria Trópic* 24 (2): 121-129.
- Álvarez, J., Ávila, P., Calderón, G. y Chapa, H. 1961. Los recursos naturales de México. Estado actual de las investigaciones de Hidrología y pesca. *Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables* 3: 421 p.
- Andrusak, H. and Parkinson, E.A. 1984. Food habits of Gerrard stock rainbow trout in Kootenay Lake, British Columbia. *Fisheries Technical Circular* No. 60: 15 p.
- Anónimo. 1984. *Guía práctica para el cultivo de la trucha (Salmo gairdneri)*. Secretaría de Pesca, Subsecretaría de Fomento Pesquero, Dirección General de Acuicultura, México, D.F. 31 p.

- Anuario estadístico de acuicultura y pesca. 2006. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Conapesca, 219 p.
- Arredondo F.J.L., Campos, R., Villareal, E., Rodríguez, A., Sánchez, P., Ingle, G. y Ibáñez, A.L. 1996 a. Descripción, operación y resultados de un sistema cerrado de recirculación para acuicultura. *Contactos* 18: 33-38.
- Arredondo F. J.L., Valdivia S. R., Hernández L., L. y Campos V.R. 1996 b. Evaluación del crecimiento, factor de conversión de alimento y calidad del agua del cultivo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en un sistema cerrado. *Hidrobiológica* 5 (1-2): 59-65.
- Arredondo-Figueroa, J.L., Barriga-Sosa I.A., Núñez García, L.G. y Ponce-Palafox, T.J. 2006. Cultivo De Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) en un sistema cerrado de recirculación de agua. *Comunicación Científica, CIVA 2006*. IV Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura.
- Arredondo-Figueroa, J.L. y Lozano-Gracia, D.S. 2003. *La Acuicultura en México*. Primera Edición, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México, Distrito Federal. 266 p.
- Arredondo-Figueroa, J.L., Ingle de la Mora, G., Guerrero-Legarreta, I., Ponce-Palafox J.T. y Barriga-Sosa, I. de los A. 2007. Ammonia and nitrite removal rates in a closed recirculating-water system, under three load rates of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 6 (3): 301-308.
- Balm, P.H.M. 1997. Immune-endocrine interactions. Pp. 195–221. *In: Iwama, G.K., Pickering, A.D., Sumpter, J.P., and Schreck, C.B. (Eds.), Fish Stress and Health in Aquaculture*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Barak, Y., Cytryn, E., Gelfand, I., Krom, M., and van Rijn, J. 2003. Phosphorus removal in a marine prototype, recirculating aquaculture system. *Aquaculture* 220: 313–326.
- Barton, B.A., and Iwama, G.K. 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annual Review of Fish Diseases* 1: 3–26.
- Barton, B.A., Schreck, C.B., and Barton, L.D. 1987. Effects of chronic cortisol administration and daily acute stress on growth, physiological conditions, and stress responses in juvenile rainbow-trout. *Diseases of Aquatic Organism* 2: 173–185.
- Bastardo de C, H. 1994. Sobrevivencia de la Trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) en condiciones de cultivo, en Mérida, Venezuela. *Zootecnia Tropical* 12(1):77-97.
- Blanc, M.J., Vallée, F., Maunas, P. and Fouriot, J.P. 2005. Maternal variation in juvenile survival and growth of triploid hybrids between female rainbow trout and male brown trout and brook char. *Aquaculture Research* 36: 120-129.
- Blanco, C.M.C. 1995. *La Trucha cría industrial*. Mundi-Prensa, España. 503 p.
- Carta Nacional Pesquera. 2004 Diario Oficial de la Federación 15-03-2004. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Clark, L.M. 2003. *Comparison of water quality, rainbow trout production, and economics in oxygenated and aerated raceways*. Thesis of Master in Science in

Fisheries and Wildlife Sciences, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, USA. 66 p.

Colt, J. and Watten, B. 1988. Applications of pure oxygen in fish culture. *Aquacultural Engineering* 7: 397-441.

Colt, J. and Orwicz, K. 1991. Modeling production capacity of aquatic culture systems under freshwater conditions. *Aquacultural Engineering* 10: 1-29.

Colt, J. Orwicz, K. and Bouck, G. 1991. Water quality considerations and criteria for high density fish culture with supplemental oxygen. *American Fisheries Society Symposium* 10: 372-385.

Colt, J. and Tomasso, R.J. 2001. Hatchery water supply and treatment. Pp. 91-186. *In: G.A. Wedemeyer, Editor. Fish hatchery management.* second edition. American Fishery Society, Bethesda, Maryland, USA.

De Los Santos C.A.B. 2008. Definición de unidades taxonómicas en el complejo de truchas del noroeste de México, mediante el análisis de marcadores microsatélites. Tesis de Maestría en Ciencias. Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales. Orientación Ecología de Zonas Áridas Centro de Investigación Biológicas de Noroeste, S. C. 105 p.

Egna, H.S. and Boyd, C.E. 1997. *Dynamics of Pond Aquaculture.* United States of America, USA. 437 p.

Eikebrokk, B.1990. Design and performance of the BIOFISH water recirculation system. *Aquacultural Engineering* 9: 285-294

- Elrom, K (2000). Handling and transportation of broilers: welfare, stress, fear and meat quality. *Israeli Journal of Veterinary and Medicine* 55:1-11
- Espinosa, H., García de León, F., Ruiz-Campos, G., Varela-Romero, A., Barriga-Sosa, I., Arredondo-Figueroa, J.L., Hendrickson, D., Camarena-Rosales F.y Santos, A.B. 2007. Las truchas mexicanas: peces enigmáticos del noroeste. *Especies, revista sobre conservación y diversidad*(Enero-Febrero): 8-14
- Foster, R.P. and Goldstein, L. 1969. Formation of excretory products. Pp 313-345. *In*: Hoar, W.S. y Randall L. (Eds.). *Fish Physiology*. Academic Press, New York. Vol. I.
- Faulk, K.C., Kaiser, B.J.and Holt, G. 2007. Growth and survival of larval and juvenile cobia *Rachycentron canadum* in a recirculating raceway system. *Aquaculture* 270: 149–157.
- Gjedrem, T. 2000. Genetic improvement of cold-water fish species. *Aquaculture Research* 31: 25–33.
- Gjerde, B. 1993. Breeding and selection. Pp. 187–208. *In*: Heen, K., Monahan, R. and Utter, F. (Eds.), *Salmon Aquaculture*. Blackwell, Oxford, UK.
- Gjøen, H.M.and Bentsen, H., 1997. Past, present, and future of genetic improvement in salmon aquaculture. *ICES Journal of Marine Science* 54: 1009–1014.
- Gustavson, K. 1998. Overview of existing and developing technologies for commercial salmon culture. *Salmon aquaculture review*. 4(D). Disponible en URL: http://www.eao.gov.bc.ca/project/aquacult/salmon/report/v4D_iv.htm.

- Hart, J.L. 1973. Pacific fishes of Canada. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada* 180: 740 p.
- Hashim, R., Chong, A.S.C., Fatan, N.A., Layman, N., and Ali, A. 2002. Production of hybrid red tilapia *Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus* at varying stocking densities in portable canvas tanks. *Journal of Applied Aquaculture* 12(3): 1-12.
- Heinen, J. M., Hankins, J. A., and Weber, A. L. 1996. A semiclosed recirculating-water system for high-density culture of rainbow trout. *The Progressive Fish-Culturist* 58:11-22.
- Heinen, J.M., Hankins, J.A. and Subraman, M. 1993. Evaluation of four commercial diets for commercial diets for rainbow trout. *The Progressive Fish Culturist* 55:265-9
- Heinsbroek, L.T.N. and Kamstra, A. 1990. Design and performance of water recirculation systems for eel culture. *Aquaculture Engineering* 20: 187-207.
- Hendrickson, D., Neel, D., Manden, R., Anderson, K., Brook, J., Camarena, F., Clitters, R., Cutres, L., Santos, A.B., Ernsting, G., Espinosa-Perez, H., Findley, O., García de Leon, F., George, A., Hatch, J., Kuhajda, B., Manden, K., Mcnyset, K., Nielsen, J., Pfeifer, F., Props. D., Ruiz-Campos, G., Clair, E., Tomeller, J., and Varela-Romero, A. 2006. *Conservation of Mexican native trout and the discovery, status, protection and recovery of the Conchos trout, the first native*. Studies of North American desert fishes in honor of E. P. (PHIL) pister, conservationist. México: 162-200 p.
- Ingle de la Mora, G., Villareal- Delgado, E.L., Arredondo-Figueroa, J.L., Ponce-Palafox, J.T. y Barriga-Sosa I.A. 2003. Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura,

sometido a diferentes cargas de biomasa de peces. *Hidrobiológica* 13(4): 247-253.

Ingle de la Mora, G., Arredondo-Figueroa, J.L., Ponce-Palafox, J.T., Barriga-Sosa, I. de los A. and Vernon-Carter, E.J. 2006. Comparison of red chilli (*Capsicum annuum*) oleoresin and astaxanthin on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet pigmentation. *Aquaculture* 258: 497-495.

Klontz, W.G. 1991. *A manual for rainbow trout production on the family-owned farm*. Nelson & Sons, Inc. Utah, USA. 113 p.

Lagler, K.F., Bardach, J.E., Miller, R.R y Pasi6n, M.1984. *Ictiología*. AGT Editor, S. A. M6xico, D. F. 506 p.

Landau, M. 1992. *Introduction to Aquaculture*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 440 p.

Lazur, M.A., and Britt, C.D. 1997. Pond recirculating production systems. *South Regional Aquaculture Center*, No. 455: 7 p.

Losordo, M.T., Masser, P.M.and Rakocy, J. 1998. Recirculating aquaculture tank production systems. An overview of critical considerations. *Southern Regional Aquaculture Center*, No. 451: 6 p.

Lucchetti, G.L., and Gray, G.A. 1988. Water reuse systems: a review of principal components. *The Progressive Fish-Culturist* 50:1-16.

Maleri, M. 2009. Site selection and production performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cage operations in small farm reservoirs: the Western Cape experience, South 6frica. *Aquaculture Research* 40: 18-25.

- Masser, M. 1997. Cage Culture. Handling and Feeding Caged Fish. *SRAC No. 164*.
- Masser, P. M., Rakocy, J. and Losordo, M.T. 1999. Recirculating aquaculture tank production systems. Management of recirculating systems. *Southern Regional Aquaculture Center No. 452*: 11 p.
- McGee, M. and Cichra, C. 2002. Raceway production of warm-water fish. *University of Florida, IFAS Extension, FA4*: 4 p.
- McPhail, J.D. and Lindsey, C.C. 1970. Freshwater fishes of northwestern Canada and Alaska. *Fisheries Research Board of Canada, Bulletin 173*: 381 p.
- Méndez, Z.R., Munita, O.C. y Cortés, D.R. 1989. *La Salmonicultura en Chile*. Fundación Chile, Santiago, 229 p.
- Midtlyng, P.J., Storset, A., Michel, C., Slierendrecht, W.J. and Okamoto, N., 2002. Breeding for disease resistance in fish. *Bulletin of the European Association of Fish Pathology 22*: 166–172.
- Morales, D.A. 1975. *Breve historia sobre la piscicultura mundial y nacional*. Subsecretaria de Pesca. México. 20 p.
- Morales, A.G. y Quirós, R. 2007. Desempeño productivo de la trucha arco iris en jaulas bajo diferentes estrategias de alimentación. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 15(4)*: 119-127.
- Morato, T., Alfonso, P., Lourinho, P., Barreiros, J.P., Santos, R.S. and Nash, R.D.M. 2001. Length-weight relationships for 21 coastal fish species of the Azores, north-eastern Atlantic. *Fisheries Research 50*: 297-302.

- Moutopoulos D.K. and Stergiou, K.I. 2002. Length-weight and length-length relationships of fish species from Aegean Sea (Greece). *Journal of Applied Ichthyology* 18: 200-203.
- Needham P.R. and R. Gard. 1964. A New Trout from Central México: *Salmo chrysogaster*, the Mexican Golden Trout. *Copeia* 1: 169-173.
- Olmos, T.M. y Tejeda, S.M. 1990. *Inventario nacional de unidades de producción acuícola*. Secretaría de Pesca, México, 66 p.
- Ortega, S., César and Montes de Oca, R. 2002. Case Report: Viral Infectious Pancreatic Necrosis in Farmed Rainbow Trout from México. *Journal of Aquatic Animal Health* 14: 305-310.
- Palti, Y., Silverstein, T.J., Wieman, H., Phillips, G.J., Barrows, T.F. and Parsons, E.J. 2006. Evaluation of family growth response to fishmeal and gluten-based diets in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 255: 548-556.
- Pauly, D. 1984. *Fish population dynamics in tropical waters: A manual for use with programmable calculators*. International Center for Living Aquatic Resources Management, Studies and Reviews 8, Manila, Philippines. 325 p.
- Piggot, K.E. 2008. Circular tanks or raceways? The pros and cons. *Nuts & Bolts* (Novembre-December): 36-37.
- Piper, R.G., McElwain, I.B., Orme, L.E., McCraren, J.P., Fowler, L.G. and Leonard, J.R. 1982. *Fish hatchery management*. US Fish and Wildlife Service, US Government Printing Office, Washington D.C. USA.

- Pokniak, J., Cornejo, S., Galleguillos, C., Larraín, C. y Battaglia, J. 1999. Efectos de la extrusión o peletización de la dieta de engorda sobre la respuesta productiva de la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) tamaño plato. *Archivos de Medicina Veterinaria* 31 (1): 141-150.
- Pokniak, J. Muñoz, S., Díaz, N., Saldes, A. y Cornejo, S. 2005. Evaluación de dos estrategias de pigmentación en salmón coho (*Oncorhynchus kisutch*). *Archivos de Medicina Veterinaria* 37(2): 139-145.
- Ricker, E.W. 1975. *Computation and interpretation of biological Statistics of fish populations*. Department of the Environment Fisheries and Marine Services, Bulletin 191, Ottawa, Canada, 382 p.
- Rijn, J., Tal, Y., and Schreier, H. 2006. Denitrification in recirculating systems: Theory and applications. *Aquacultural Engineering* 34: 364–376.
- Rodríguez, S.E.O. 2009. Evaluación de indicadores de cultivo en un sistema cerrado de circulación de agua de una línea seleccionada de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Tesis de Maestría en Ciencias del Mar, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima, México. 104 p.
- Scott, B.W. and Crossman, J.E. 1973. *Freshwater fishes of Canada*. Fisheries Research Board of Canada, Bulletin 184, Ottawa, Canada, 966 p.
- Schreck, C.B., Contreras-Sánchez, W., and Fitzpatrick, M.S. 2001. Effects of stress on fish reproduction, gamete quality, and progeny. *Aquaculture* 197: 3–24.
- Shnel, N., Barak, Y., Ezer, T., Zaevev Dafni, Z. and Rijn, J. 2002. Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system. *Aquacultural Engineering* 26 (2002) 191–203

- Sigholt, T., Erikson, U., Rustad, T., Johansen, S., Nordtvedt, T.S., and Seland, A. 1997. Handling stress and storage temperature affect meat quality of farm-raised Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Food Science* 62: 898–905.
- Skjølstrup, J., McLean, E., Nielsen, and P., Frier, O. 1999. The influence of dietary oxolinic acid on fluidized bed biofilter performance in a recirculation system for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 183: 255–268.
- Smith, G.R. and R.F. Stearley. 1989. The classification and scientific names of rainbow and cutthroat trouts. *Fisheries* 14: 4-10.
- Speece, R.E., Nirmalakhandan, N. and Lee, Y. 1988. Design of high purity oxygen absorption and nitrogen stripping for fish culture. *Aquacultural Engineering* 7: 201-210.
- Stickney, R.R., 1996. *Aquaculture in the United States, A Historical Survey*. Wiley, New York, USA, p.
- Talbot, C., Corneillie, S. and Korsøen, O., 1999. Pattern of feed intake in four species of fish under commercial farming conditions: implications for feeding management. *Aquaculture Research* 30, 509–518.
- Thiessen, I.D., Campbell, L.G. and Adelizi, D.P. 2003. Digestibility and growth performance of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with pea and canola products. *Aquaculture Nutrition* 9: 67-75.
- Velázquez, E. M.A. y Espinosa, H.R.M. 1989. *Diagnosis del estado actual del cultivo de la trucha arco-iris de México*. Secretaría de Pesca, Pachuca, Hidalgo. 73 p.

Wedemeyer, G.A. and Wood, J.W. 1974. *Stress as predisposing factor in fish disease*. FDL-38, U.S. Dept. Interior Fish Wild Life Service, USA. 28 p.

Weir, B.S. and Cockerham, C.C., 1984. Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution* 38, 1358–1370.

Yildiz, M. 2004. The study of fillet quality and the growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with diets containing different amounts of vitamin E. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 4: 81-86.

Yoshitomi, B., Auki, M., and Oshima, S-I. 2007. Effect of total replacement of dietary fish meal by low fluoride krill (*Euphasia superba*) meal on growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in fresh water. *Aquaculture* 266: 219-225.

Zamora, B.G., Vásquez, P.C., Berruecos, V.J., y Soto, R.L. 1999. Estimación de algunos efectos genéticos de la trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) a partir de un cruzamiento dialélico completo de dos líneas. *Veterinaria México* 30(3): 231-234.