

53  
2es.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

*Determinación de la Densidad de Carga Optima en un Sistema de Jaulas Flotantes de 1m<sup>3</sup> de Capacidad, para el Cultivo de Trucha Arco-iris (Oncorhynchus mykiss) en el Centro Acuicola El Zarco, D. F..*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

KATYA LEONOR FRANCO LOPEZ



FACULTAD DE CIENCIAS  
ASOCIACION ESCOLAR

1995



FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

**M. en C. Virginia Abrín Batule**  
**Jefe de la División de Estudios Profesionales de la**  
**Facultad de Ciencias**  
**Presente**

**Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:** Determinación de la densidad de carga óptima en un sistema de jaulas flotantes de  $1m^3$  de capacidad, para el cultivo de trucha arco-iris (*Oncorhynchus mykiss*) en el Centro Acuícola El Zarco, D.F..

realizado por Katya Leonor Franco López.

con número de cuenta 8622539-1 , pasante de la carrera de Biología.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis  
Propietario

Biól. Guadalupe Amalia Armijo Ortiz.

Propietario

Dr, Alberto de Jesús Sánchez Martínez.

Propietario

M. en C. Ma. Teresa Castrejón Osorio.

Suplente

Biól. Rebeca María López Rivas.

Suplente

Biól. Abraham Kobelkovsky Díaz.

**FACULTAD DE CIENCIAS**

Consejo Departamental de Biología

**COORDINACION GENERAL  
DE BIOLOGIA**

**A la memoria de mi madre**

**A mi padre**

**A Luis Ernesto**

## AGRADECIMIENTOS

A la Bióloga Amalia Armijo Ortiz, por su entusiasmo y apoyo, sin los cuales no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

Al Biól. Juan Antonio Pérez, por el préstamo de las instalaciones para la elaboración del experimento.

Al Biól. Alejandro Medina, por facilitar el lote de organismos.

Al Lic. Carlos Castro Buzo, por la atención brindada durante la visita a su granja.

Al Dr. Fernando Alvarez, por su apoyo en la parte estadística.

Al Dr. Luis Soto y a la M. en C. Cecilia Venegas, por las asesorías brindadas.

Por su gran disposición y acertados comentarios al trabajo, a los sinodales:

Biól. Amalia Armijo Ortiz.

Biól. Abraham Kobelkowsky Díaz.

Dr. Alberto de Jesús Sánchez Martínez.

Biól. Rebeca María López Rivas.

M. en C. Ma. Teresa Castrejón Osorio.

También doy las gracias a todas aquellas personas que estuvieron presentes durante el proceso de este estudio así como a las que permanecieron conmigo a lo largo de mi carrera:

Al Sr. Luis y a Jorge Barrón, por ayudarme con "la carga más pesada".

A Arturo Romero, por su gran cooperación en "videofilmaciones".

A Yadira, Ma. Elena, Alejandra, Cuiláhuac, Alfredo y Martín, por los "días helados y la buena compañía".

A Rocío y Angel, por sus excelentes "suturas y remiendos".

Al Sr. Sergio Sandoval, por su cooperación en el diseño.

A Don Enrique, Don Roberto, Don Juanito y Don Melquiades, por su paciencia.

A Claudia, Eloísa y Rubén, por los "grandes momentos de risa".

A la familia Barrón Romero, por su apoyo incondicional.

Y de manera muy especial a Luis Ernesto, por su apoyo, entusiasmo, tiempo, comprensión, cariño, etc., etc. ♥.

A todos ellos, mi más sincero y profundo reconocimiento.

## **CONTENIDO**

	<b>Páginas</b>
<b>Resumen</b>	1
<b>Introducción</b>	2
<b>Antecedentes</b>	4
<b>Descripción de la especie</b>	10
<b>Objetivos</b>	12
<b>Hipótesis</b>	13
<b>Area de estudio</b>	14
<b>Material y método</b>	16
<b>Resultados</b>	
<b>I. Registros morfométricos</b>	26
<b>II. Parámetros físico-químicos</b>	34
<b>III. Costos de Inversión</b>	38
<b>Discusión</b>	39
<b>Conclusiones</b>	45
<b>Bibliografía</b>	46

## INDICE DE FIGURAS

Figura		Páginas
1.	Mapa de ubicación del Centro Acuícola El Zarco, D.F.	15
2.	Contrucción de jaulas	17
3.	Unión de la red a la estructura de la jaula	17
4.	Jaulas terminadas, con flotadores laterales de unisel	18
5 y 6.	Perfiles batimétricos de la presa del Zarco	19
7.	Disposición del sistema de jaulas dentro de la presa	20
8.	Limpieza de las jaulas	20
9 y 10.	Limpieza de paredes laterales de las jaulas	21
11.	Alimento balanceado tipo pellet	23
12.	Alimentación manual	24

## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un estudio sobre la determinación de la densidad de individuos óptima para el cultivo de la trucha arco-iris en etapa de pre-engorda para un sistema de jaulas flotantes de 1 m<sup>3</sup> de capacidad, en la presa de El Centro Acuícola El Zarco, D.F., probando tres diferentes densidades: 20, 35 y 50 indiv./m<sup>3</sup>, durante 70 días.

Para determinar la densidad de individuos óptima, se usó como referencia el crecimiento, el cual fué medido en base al peso de los peces. Inicialmente en las jaulas flotantes se introdujeron truchas de 95 -115 g. de peso.

Se determinó que la densidad adecuada era de 20 Indiv./m<sup>3</sup>, con rendimientos de 9.5 kg/m<sup>3</sup> promedio a la cosecha, y un Factor de Conversión Alimenticia (FCA) promedio de 1.29 -1.30; sin embargo, las diferencias observadas en el crecimiento entre las distintas densidades empleadas no fueron significativas con la prueba de Tukey.

En este estudio se aprecia la importancia de los factores físico-químicos del agua sobre el crecimiento de los organismos bajo cultivo.

Al término de este trabajo se concluyó que el presente sistema resulta muy conveniente para pequeños cuerpos de agua, por ser práctico, además de tener un costo de inversión accesible.

## INTRODUCCION.

Los Estados Unidos Mexicanos cuentan con 11,500 Km. de litorales, una plataforma continental de 358,000 Km<sup>2</sup>, 1.6 millones de hectáreas de lagunas costeras, además de 2.9 millones de hectáreas de aguas interiores y una riqueza ictiológica elevada, tanto marina como dulceacuícola. Estos recursos acuáticos, son susceptibles de explotación por lo que ofrecen una amplia oportunidad para el desarrollo de actividades pesqueras y de acuicultura (Ayala, 1995; com. pers.).

No obstante, para efecto de mantener estas actividades de manera sostenida y dentro de un marco de conservación, tanto ecológico como económico, es necesario llevar a cabo estudios previos a la utilización de dichos recursos.

En el campo de la acuicultura en nuestro país, se han utilizado diferentes tecnologías; desde los estanques rústicos hasta los sistemas de canales de vía rápida (race ways) pasando por los corrales, canaletas, encierros o tapos y las jaulas flotantes. Sin embargo, en México el sistema de cultivo en jaulas no se ha popularizado como en otros países, en donde Pantulu (1976) reporta productividades obtenidas de 10 a 20 veces mayores que en estanques en un tiempo menor (reducido en un 30%). No obstante de que este tipo de tecnología es una alternativa que existe en los cuerpos de agua como una forma de optimización de los recursos e incremento del rendimiento en el mínimo de espacio posible, la información bibliográfica disponible se refiere a estudios realizados en otros países con especies distintas a las que se cultivan en México (Ayala, et al., 1983; com. pers.).

Por lo anterior, los resultados de este sistema de cultivo en México son muy escasos y se refieren a estudios realizados a nivel de tesis de licenciatura.

Entre las especies de peces dulceacuícolas que se cultivan en el país, ha adquirido especial interés la producción de la trucha arco-iris *Oncorhynchus mykiss* Walbaum (1792) (Espinosa, et al. 1993), por parte del sector social y de la iniciativa privada, que a través del conocimiento de la biotecnología de la especie logran obtener buenos rendimientos que se traducen en altos ingresos y en un mejoramiento de la dieta (Velázquez y Espinosa, 1989).

En México son nueve las entidades federativas en donde se desarrollan cultivos intensivos, semiintensivos y extensivos de trucha arco-iris, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Hidalgo, México, Michoacán, Oaxaca, Puebla y Veracruz, destacando tres tipos de instalaciones :

1. Estanques rústicos.....83.2 %

2. Canales de corriente rápida.....10.8 %  
3. Jaulas flotantes.....6.0 %

(Velázquez y Espinosa, 1989)

La estimación de la densidad de población adecuada en las instalaciones, es primordial para lograr una producción óptima, por lo cual resulta muy importante conocer la cantidad de peces en kilogramo por metro cúbico que se debe emplear en cualquier instalación, lo que está en función de diversos factores tales como el peso de los organismos, el oxígeno disuelto en el agua, calidad del agua y condiciones hidráulicas de las instalaciones (Velázquez y Espinosa, 1989).

En el país existen lugares con agua suficiente y de buena calidad con las características adecuadas para la trucha, de forma que se han usado para la fase de engorda densidades de 30 - 60 kg/m<sup>3</sup> con recambios de agua de 1.5 - 3.0 veces/hora. Para otras localidades con menor abastecimiento de agua, se han manejado densidades de 8 - 15 Kg/m<sup>3</sup> (Velázquez y Espinosa, 1989; Drummond, 1988).

Considerando lo anterior, la realización de este trabajo se justifica por las siguientes razones:

- A) Es necesario ampliar la información del comportamiento de este sistema de cultivo bajo las condiciones propias de nuestro país.
- B) Es indispensable conocer la máxima densidad que soporta este tipo de cultivo, considerando los requerimientos fisiológicos de la especie.
- C) Se requiere conocer la rentabilidad de este sistema de producción para plantear alternativas más económicas y eficientes

Con todo ello, este estudio puede representar una alternativa para las comunidades rurales, de escasos recursos económicos, principalmente para aquellas del Estado de México (ya que la fase de experimentación se llevó a cabo en sus cercanías), pues aplicando la metodología pueden cultivar esta especie bajo condiciones similares, a bajo costo, y usarla ya sea para autoconsumo o para su venta.

Esta investigación se realizó en la presa del Centro Acuícola "El Zarco", D.F., con el objetivo principal de obtener la densidad poblacional óptima de cultivo de la trucha arco-iris (*Oncorhynchus mykiss*) en la fase de engorda en jaulas flotantes de un metro cúbico de capacidad, para lo cual se manejaron tres diferentes densidades, usando para su nutrición alimento balanceado de la marca "El Pedregal".

## ANTECEDENTES

El cultivo de peces en jaulas flotantes tiene un origen relativamente reciente y procede del Sureste de Asia. Se cree que las primeras jaulas flotantes que se construyeron procedieron de Kampuchea, donde se criaba bagre del género *Clarias* y otros peces; se les mantenía en cestos y jaulas de bambú hasta que alcanzaban la talla comercial y se llevaban al mercado. Mientras se tenían en cautiverio, se les alimentaba con restos de comida del hombre, y obtenían resultados satisfactorios. Este método se practicó también en Viet-Nam, Tailandia y otros países de Indochina (Beveridge, 1986). A pesar de ello, el crecimiento del cultivo en jaulas es un hecho que cobró auge en grande entre los 1970's y 1980's (Beveridge, 1991).

En los últimos 15 años aproximadamente, el cultivo en jaulas en aguas continentales se ha extendido a más de 35 países de Europa, Asia, África y América; en 1978 se criaban experimentalmente en jaula más de 70 especies de peces de agua dulce (Coche, 1978).

El cultivo en jaulas tradicional, distinguido por el uso de materiales naturales para su construcción, como la madera, es practicado en muchas partes de Indonesia e Indochina (Beveridge, 1991). Con excepción de algunas zonas, la madera y el bambú han sido sustituidos por materiales nuevos como mallas de nylon, plástico, polietileno y acero, que aunque resultan mucho más costosos tienen mayor duración y permiten un mejor flujo de agua (Beveridge, 1986).

Se utiliza el término genérico de "cultivo en recintos" para describir lo que sería exacto definir como cultivo en jaulas o en corrales, ambos tipos de recintos incluyen el mantenimiento de organismos en cautiverio dentro de un espacio cerrado pero con flujo libre de agua. Ambos métodos difieren entre sí: la jaula está cerrada por todos los lados, (salvo en ocasiones, por la parte superior) con paños de red o rejillas de otros materiales; mientras que en los corrales es el mismo fondo que contiene al cuerpo de agua el que delimita la parte inferior (Beveridge, 1986). Beveridge (1991) describe algunos tipos básicos de jaulas:

1. Fijas. Consisten en una bolsa de red soportada por postes que están en el fondo, usadas en localidades tropicales.
2. Flotantes. Consisten en una bolsa de red soportada por un collar con boyas, siendo éstos los modelos más usados.
3. Sumergibles. Tienen un collar de flotación, de manera que se mantienen a media columna de agua.

Generalmente, las jaulas flotantes se agrupan en "balsas" y están ancladas al fondo del cuerpo de agua o bien unidas a la orilla por una pasarela de madera (Secretaría de Pesca, 1994).

De esta forma, las jaulas se han usado para una gran variedad de propósitos, ya que son poco costosas relativamente y convenientes para el mantenimiento de organismos acuáticos. Por muchas décadas se usaron para el transporte de peces, como atunes, recién capturados. Recientemente se usan para monitorear la calidad de agua de efluentes de plantas de poder,

manteniendo organismos indicadores, y para tratar los signos de eutroficación por cultivo (Beveridge, 1991).

En diversos países se han utilizado las jaulas, como en la República de Viet-Nam del Sur, donde las jaulas son tipo caja; en Noruega, a principios de 1960's, se usaron para cultivar salmón del Atlántico (*Salmo salar*); en Estados Unidos de Norte América, en 1966, el primer pez cultivado en jaulas fué el bagre de canal, *Ictalurus punctatus* (Shepherd, et al., 1990); en México, a partir de 1974 se registraron los primeros antecedentes del uso de jaulas flotantes, cuando se cultivaron por primera vez anguilas, *Anguilla rostrata*, y posteriormente 3 especies de tilapia *Oreochromis nilotica*, *O. mossambicus* y *O. melanopleura* (SEPESCA, 1981). Hasta hace 6 años, el cultivo en jaulas en la República, se efectuaba en un volumen de 5.944 m<sup>3</sup>, correspondiendo al Estado de Puebla el 37.6% y a Durango el 32.3%. Estos volúmenes no se han incrementado hasta la fecha, en gran medida debido al poco conocimiento de su redituabilidad económica y rentabilidad (Velázquez, et al., 1989).

En nuestro país se encuentran truchas en forma silvestre: *Salmo chrysogaster*, endémica, conocida como "trucha dorada mexicana", y se le encuentra en Río Verde, cerca del Río Guadalupe y Río Calvo, al suroeste de Chihuahua; esta trucha es descrita por Needham y Gard (1959). Otra trucha es la de arroyo, *Salvelinus fontinalis*, que originalmente estaba restringida al noreste de México (Huet, 1975). Ninguna de estas dos especies se cultiva actualmente en el país (Velázquez, 1988). Por último la trucha arco-iris, *Oncorhynchus mykiss*, también se encuentra de forma natural en los estados del norte de México, sin embargo, fué necesario introducir huevecillos de esta especie desde Estados Unidos de Norteamérica para iniciar su cultivo (Arredondo, 1983).

Por otro lado, Beveridge (1991) menciona algunos de los peces susceptibles de cultivo en jaulas:

Extensivamente	Carpa cabezona ( <i>Hypophthalmichthys nobilis</i> ) Salmónidos (estados planctívoros) Tilapias ( <i>Oreochromis niloticus</i> , <i>O. mossambicus</i> , <i>O. aureus</i> )
Semi-intensivo	Varias especies de tilapias ( <i>O. niloticus</i> , <i>O. mossambicus</i> , <i>O. aureus</i> ) Carpa cabezona y carpa común ( <i>H. nobilis</i> y <i>Cyprinus carpio</i> )
Intensivamente	Salmónidos Bagre de canal ( <i>Ictalurus punctatus</i> ) Carpa común ( <i>C. carpio</i> ) Especies marinas ( <i>Seriola quinqueradiata</i> , <i>Epinephelus spp.</i> ) Tilapia

Las especies de peces que actualmente se cultivan con fines comerciales en jaulas, en aguas templadas y tropicales son aproximadamente 10:

- Trucha arco-iris (*O. mykiss*) en Europa, América del Norte, Japón, Colombia, Bolivia, Papua Nueva Guinea.
- Crías de salmón de varias especies en Europa, América del Norte y del Sur, Japón.
- Carpa plateada (*Hypophthalmichthys molitrix*), herbívora (*Ctenopharyngodon idella*) y cabezona (*H. nobilis*) en Asia, Europa, América del Norte.
- Carpa indias en Asia.
- Carpa común (*C. carpio*) en Asia, Europa, América del Norte y del Sur.
- Tilapias (*O. mossambicus*, *O. niloticus*, etc.) en Asia, Africa, América del Norte y del Sur.
- Bagres de canal (*Ictalurus punctatus*) en América del Norte, Sudeste de Asia, Africa.

(Beveridge, 1986).

Como se puede apreciar, las jaulas se han usado en parte del mundo, esto es debido a sus menores dimensiones (generalmente de 1,000m<sup>2</sup> de superficie) y su facilidad de manejo, lo que las hace más adaptables que los corrales.

En muchos países, como Cambodia, Inglaterra, Estados Unidos de Norte América y, Francia; el cultivo en jaulas se considera lucrativo, sobre todo para las especies carnívoras, como lo son los salmónidos y muchos bagres (*Ictalurus punctatus*, *Pangasius sutchi*), que no pueden cultivarse con éxito si no se recurre a métodos intensivos, usando dietas basadas sobre todo en proteínas de pescado, lo que representa del 40 - 60 % de los costos totales de la explotación. Siendo así, el cultivo intensivo en jaulas sólo resulta viable si se pagan precios suficientemente altos por las especies cultivadas, para que su producción logre beneficios (Beveridge, 1986; Pantulu, 1976). Según Coche (1976) de aquí es de donde surge el reto para adaptar el cultivo de peces en jaulas a zonas nuevas, donde la situación laboral y económica es escasa (Jiménez, 1995), por lo que no disponen de gran financiamiento para la construcción y mantenimiento de jaulas y de especies, y sin embargo, la población requiere de entradas de dinero para poder mantenerse, sobre todo en

América Latina, ya que posee un gran potencial para el cultivo en jaulas, por contar con un gran número de lagos y reservorios susceptibles de explotación (Merola, et al., 1988).

Como la producción de peces tiene como base al factor económico, el cual se logra disminuir con las densidades elevadas de individuos bajo cultivo, así como alcanzar la talla deseada; resulta importante conocer más acerca del crecimiento de estos organismos.

El crecimiento de los peces está influenciado por varios factores, algunos de los cuales son señalados por Laird y Needham (1988):

1. Cantidad y calidad de alimento
2. Factores genéticos
3. Temperatura
4. Disponibilidad de oxígeno
5. Corrientes
6. Salinidad
7. Diseño del sistema de cultivo
8. Densidad

Klontz (1991) agrupa a estos factores como sigue:

- a. Factores asociados con el pez
- b. Factores asociados con el agua
- c. Factores asociados con el sistema y métodos de cultivo
- d. Factores asociados con la nutrición
- e. Factores asociados con el manejo.

Shepherd, et al. (1990); Weatherley y Gill (1987), Laird y Needham (1988); han estudiado el crecimiento en peces y lo definen como "indeterminado", ya que responde sensitivamente a diferencias en el suministro de alimento, densidad poblacional y temperatura, bajo condiciones tanto naturales como artificiales. Por ello los peces no tienen una talla adulta fija que se detenga con el crecimiento, de forma que si el alimento está disponible, ellos mantienen el crecimiento aún cuando la cantidad de alimento decline. Si el pez no comió, puede sobrevivir por un tiempo muy largo pero a costa de la pérdida de peso.

**FCA.** La relación entre crecimiento y ración se conoce como factor de conversión alimenticia (FCA), de esta relación se desprende el concepto de ración óptima, que es aquella ración mínima de alimento requerida para dar un máximo crecimiento. Antes y después de esta ración óptima, el uso del alimento es ineficiente (Laird, et al., 1988). La ración óptima es calculada por parte de los productores de alimento balanceado, para cada especie, y relacionan: la temperatura del agua, con el tamaño de los peces, con la presión atmosférica, con el número de peces, con el tamaño del alimento (Vázquez, et al., 1987; Stevenson, 1985; Barnabé, 1990; Klontz, 1991).

Experimentos recientes, muestran que el crecimiento y comportamiento de los salmónidos están influenciados por la densidad (Refstie, 1977). Algunos de estos experimentos son los que a continuación se citan:

\* Reyes, et al. (1986), realizaron una evaluación del crecimiento de trucha arco-iris, considerando 3 variables.- densidad (92 indiv./m<sup>3</sup>); tipo de alimento

(Albamex y Alver) y ración alimenticia para el cultivo en jaulas flotantes de 6 m<sup>3</sup> de capacidad en la Laguna de Quechulac, Puebla. Obtuvieron rendimientos de 9.4 kg/m<sup>3</sup>/6 meses, con pesos iniciales de 100 g en promedio (Jiménez, 1995).

\* Refstie (1977), analizó el efecto de la densidad en el crecimiento y sobrevivencia de trucha arco-iris, para lo cual usó 5 diferentes densidades durante 180 días en estanques; encontró que en los grupos con altas densidades se obtenía una tasa de crecimiento baja y un factor de condición bajo (K).

\* Papoutsoglou, et al. (1979) observaron los efectos de la densidad en la composición corporal, tasa de crecimiento y sobrevivencia en trucha arco-iris, en sistemas cerrados. Emplearon densidades de 200, 450, 550, 650 y 750 indiv./150 lt., con un peso inicial de 0.331 g., durante 52 días, con una alimentación de 5 veces/día a saciedad, por 6 días/semana. Reportaron que a mayores densidades hubo menor peso corporal, mayor mortalidad, pero con un costo final muy bajo por pez producido. Por ello concluyeron que la densidad afecta directamente en la tasa de crecimiento e influye en el metabolismo del pez.

\* Papoutsoglou, et al. (1980) probaron el crecimiento y producción de trucha arco-iris en relación a la unidad de volumen en agua, para lo que utilizaron truchas de 60 g de peso inicial, con densidades de 250, 750, 1250, 2000 y 2500 individuos con el sistema de corriente rápida (race ways), durante 181 días. De tal estudio reportaron que con altas densidades se logra bajar el costo de producción, pero el crecimiento es reducido; que a densidades bajas, el costo de producción es intermedio, y el crecimiento es mayor que el obtenido en densidades altas; y que a densidades intermedias, el costo de producción es alto, pero el crecimiento es mucho mayor que en las otras densidades.

\* Trzebiatowski, et al. (1981), evaluaron el efecto de la densidad en el crecimiento y sobrevivencia de trucha arco-iris cultivada en jaulas flotantes, durante 147 días. Probaron densidades de 150-900 indiv./ m<sup>3</sup>, obtuvieron que a mayores densidades se incrementaba la producción de peces, el peso ganado/ m<sup>3</sup>, y el factor de conversión alimenticia. La tasa de crecimiento individual y natural disminuyeron de manera inversamente proporcional a la densidad.

\* Austreng, et al. (1987) estimaron la tasa de crecimiento para el cultivo del salmón del Atlántico y trucha arco-iris. Observaron que la tasa de crecimiento (%peso/día) depende del tamaño del pez (g) y de la temperatura del agua (°C); para trucha arco- iris la tasa de crecimiento estuvo en 2.7-3.1 para una temperatura de 12 a 14 °C en estanques, y con un peso de 40-100 g.; y en jaulas a la misma temperatura, y con un peso de 30-50, 1.9-2.2, y con un peso de 150-600 g., 1.4-1.7.

\* Por su parte, Papoutsoglou, et al. (1987), estudiaron los efectos de la densidad en la tasa de crecimiento y producción de trucha arco-iris en race ways; usaron densidades de 31, 94, 156, 250, 312 indiv./m<sup>3</sup>. durante 1 año. Los peces tenían un peso inicial de 0.84 g; hallaron que la tasa de crecimiento fué menor en densidades mayores y las diferencias observadas entre las demás densidades no fueron significativas.

\* Holm, et al. (1990), realizaron estudios con el fin de conocer el efecto de la densidad de peces y régimen de alimentación en el crecimiento y metabolismo de trucha arco-iris; hallaron que a menor densidad hubo mayor crecimiento y a mayor densidad menor crecimiento, el cual fué independiente del regimen alimenticio. Además observaron el efecto de la competencia por el espacio y alimento, y dominancia jerárquica, sobre los subordinados por tener menor tamaño.

Es notable que la mayoría de las investigaciones de densidades poblacionales con jaulas flotantes para trucha arco-iris, se han llevado a cabo en el extranjero, con condiciones totalmente diferentes a las existentes en nuestro país, aplicando densidades muy elevadas de organismos bajo cultivo, con estadios de vida tempranos, y con regímenes de alimentación diferentes a los que usualmente se aplican en México.

## DESCRIPCION DE LA ESPECIE

La trucha arco-iris es originaria de América del Norte, su distribución abarca desde el Mar de Bering, en Alaska, hasta el Norte de México. Es una especie anadrómica, que se ha difundido por todo el mundo, manteniéndose bien desde aguas cercanas al nivel del mar, hasta ríos y lagos a 4,500 m.s.n.m. (Laird, et al., 1988). Esta especie habita en ambientes lóticos, con temperaturas que van de los 3 a los 18 °C, con aguas claras, ricas en oxígeno, y con climas templados (Turli, 1970).

En México se le encuentra de forma silvestre en zonas montañosas, valles y en las depresiones más altas de los Estados de Durango, Chihuahua, Baja California, Sinaloa y Sonora (Ramírez y Sevilla, 1962; McCrimman, 1971; en Velázquez, et al., 1989). Actualmente hay trucha arco-iris en los Estados de: Chiapas, Hidalgo, Jalisco, D.F., Baja California, Querétaro, Veracruz, Tamaulipas, Tlaxcala, Guerrero, Michoacán, Coahuila, Sonora, Guanajuato (Velázquez, et al., 1989).

Anteriormente a la trucha arco-iris se le clasificó dentro de otro género y especie, *Salmo gairdneri* (Richardson, 1836), pero al realizarse más estudios estructurales, bioquímicos, y de historias de vida, se concluyó que el nombre adecuado era *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792), el cual se dió a conocer formalmente en la revista Progressive Fish Culturist, durante 1988 (Jiménez, 1995; Smith, et al., 1989). Su taxonomía es la siguiente, de acuerdo con Nelson (1994):

Reino	Animalia
Phylum	Chordata
Subphylum	Vertebrata
Superclase	Gnathostomata
Clase	Actinopterygii
Subclase	Neopterygii
División	Teleostei
Subdivisión	Euteleostei
Superorden	Protacanthopterygii
Orden	Salmoniformes
Familia	Salmonidae
Subfamilia	Salmoninae
Género y especie	<i>Oncorhynchus mykiss</i> .

En cuanto a sus características morfológicas, posee un color verde olivo en el dorso que se atenúa en los lados, los cuales presentan una banda iridiscente, que en época de reproducción (en invierno) refleja la luz con irisaciones violeta, rojo y rosa, sobre todo en los machos (de ahí el nombre de "trucha arco-iris"). Hacia el vientre el color se aclara hasta ser casi blanco. La piel está cubierta con puntos negros tipo estrellado, sobre todo en el dorso, en

el vientre no se presentan .

La talla máxima que alcanzan en estado silvestre es de 50-70 cm. y de 4-5 Kg. (Turii, 1970). Los machos presentan prognatismo, son más pequeños en comparación con las hembras; la madurez sexual en los machos es alcanzada a los 2 años de edad, y de 2-3 años en el caso de las hembras.

Esta especie es de hábitos alimenticios carnívoros, entomófagos, ligeramente ictiófagos, en etapa de alevinaje es zooplanctófaga (Velázquez, 1988).

En cuanto a su conducta, se ha observado que es un pez territorial, y en confinamiento defiende su espacio de acuerdo a las condiciones del agua y disponibilidad de alimento; para lograr este fin realiza actos agresivos que son principalmente: morder aletas dorsales, pectorales y/o caudales; este mordisqueo llega a causar llagas en las zonas afectadas (Klontz, 1991).

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Calcular la densidad adecuada de trucha arco-iris para su cultivo en el sistema de jaulas flotantes de 1 m<sup>3</sup> de capacidad.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

Determinar el efecto de la densidad en función del incremento del crecimiento de la trucha arco-iris en la fase de engorda.

Obtener el factor de conversión alimenticia para la trucha en la fase de engorda, bajo las condiciones ambientales particulares del sitio de estudio.

Evaluar los efectos de los parámetros físico-químicos en el crecimiento de los peces bajo cultivo.

Determinar la factibilidad de su uso comercial con las modificaciones que sean necesarias.

## **HIPOTESIS**

El empleo de jaulas flotantes de 1 m<sup>3</sup> de capacidad, con la densidad adecuada para el cultivo de trucha arco-iris, tiene factibilidad técnica y económica, sobre todo para aquellas comunidades de escasos recursos económicos.

Si alguno de los parámetros físico-químicos del agua, vitales para la sobrevivencia de la trucha arco-iris, se encuentra fuera de los límites de los intervalos establecidos para su cultivo, se reflejará en un pobre crecimiento de los peces.

El sistema de cultivo en jaulas flotantes empleado en este trabajo, proporcionará una cosecha en un corto tiempo.

## AREA DE ESTUDIO

El Centro Acuícola "El Zarco " está localizado en el poniente de la capital de la República, a una altura de 3,400 m.s.n.m., en el kilómetro 32.5 de la carretera estatal No. 15 México-Toluca. Este centro está ubicado dentro del parque nacional Miguel Hidalgo de la Delegación de Cuajimalpa, en las estribaciones altas de la cordillera neovolcánica y vertiente occidental de la región del valle de Toluca (Pineda, 1995).

La fuente principal del agua que surte a El Zarco es un manantial, conocido como "Los Pajaritos", se localiza a 5 Km. de distancia del Centro Acuícola y se conduce por medio de tubos de mampostería hasta éste. La calidad de esta agua es más o menos constante, así como su temperatura (aproximadamente 11 °C), la concentración de oxígeno disuelto varía entre los 6-8 mg/lit. (Pineda, 1995).

El Zarco fué inaugurado en 1943 y su creación fué una consecuencia de la necesidad de contar con organismos de la especie *Oncorhynchus mykiss* para las repoblaciones en ríos y cuerpos de agua que reúnen las condiciones propicias para su desarrollo (Archivo, 1995). Con la intervención del Sr. Fernando Obregón Fernández, El Zarco tuvo gran impulso, ello contribuyó en gran medida a la piscicultura en México. El Sr. Obregón intervino en la planeación de este centro en 1936, cuando fué director de Piscicultores del Departamento Autónomo Forestal de Caza y Pesca; en la aprobación del mismo en 1940, cuando fué jefe de la Oficina de Acuicultura de la dirección de Pesca e Industrias Conexas, dependiente de la Secretaría de Marina; en la construcción en 1942, fungiendo como jefe de la Oficina Técnica de Pesca de la Secretaría de Marina; y en la dirección de El Zarco. El centro fué inaugurado en 1943 por el Presidente de la República Manuel Avila Camacho (Rodríguez, 1982). Actualmente este centro pertenece a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

El Centro Acuícola El Zarco cuenta con un área total de 96,200 m<sup>2</sup>, donde la superficie cubierta por el espejo de agua es de 6,173.99 m<sup>2</sup>, dentro de los cuales las siguientes extensiones son ocupadas por:

Presa	2,500.00 m <sup>2</sup>
Estanques de concreto	1,325.29 m <sup>2</sup>
Estanques semi-rústicos	1,597.03 m <sup>2</sup>
Estanques rústicos	254.67 m <sup>2</sup>
Sala de incubación, desove y alevinaje	248.00 m <sup>2</sup>
Cobertizo para canaletas de alevinaje	249.00 m <sup>2</sup>

(Dir. Gral. de Acuicultura, 1991).

El clima predominante en la región es semi-frío sub-húmedo con alto grado de humedad, temperatura media anual que varía de 10 a 12 °C y precipitación pluvial de 1,200 a 1,500 mm. anuales (INEGI. Carta topográfica, 1992.). Durante el invierno se presentan heladas ocasionales en toda la Delegación y esporádicamente nevadas en las partes altas de las montañas (INEGI. Atlas climático de la Ciudad de México, 1992).

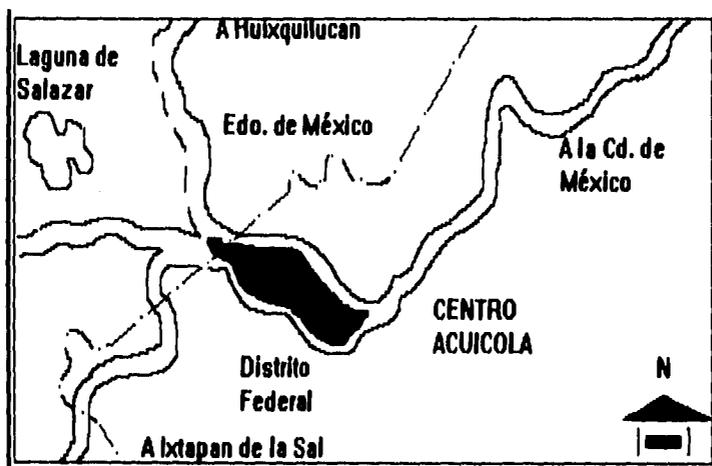


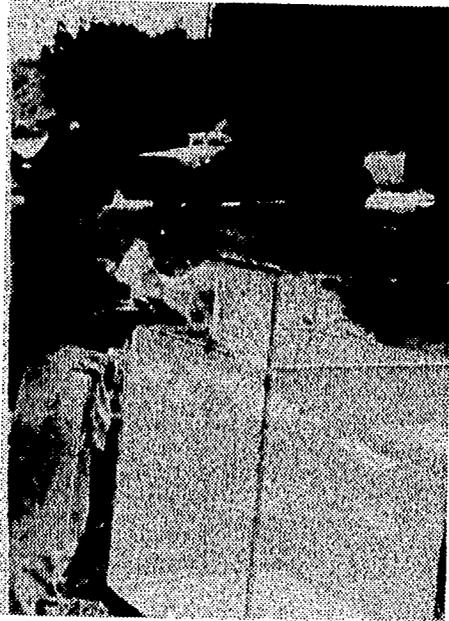
Figura 1. Mapa de ubicación del Centro Acuicola El Zarco, D.F., y vías aledañas.

## **MATERIAL Y METODO**

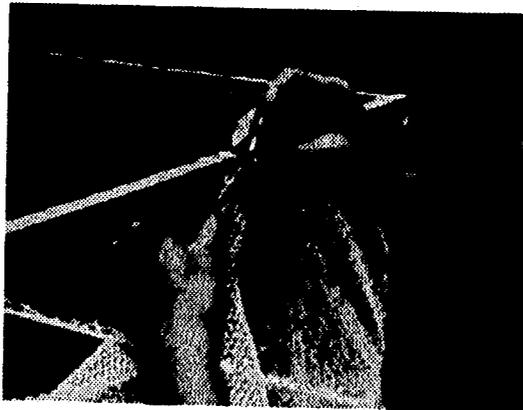
La elaboración de este trabajo tuvo varias etapas para las cuales fué necesaria una investigación bibliográfica de base en diferentes bibliotecas de la U.N.A.M., entre ellas: la biblioteca de la Facultad de Ciencias, la biblioteca de la Facultad Medicina Veterinaria y Zootecnia, la Unidad de Bibliotecas C.I.C.H., la biblioteca del Instituto de Biología; y en los archivos de la Dirección General de Acuacultura. Con el objeto de conocer el manejo del sistema de cultivo en jaulas flotantes, se realizaron visitas a algunas localidades como la Unidad de Producción Trutícola "Vergel de la Sierra", León, Gto.; y la Unidad de Producción de Trutícola de Santa Ana Tzacuala, Hidalgo.

### **1. CONSTRUCCION DE LAS JAULAS FLOTANTES**

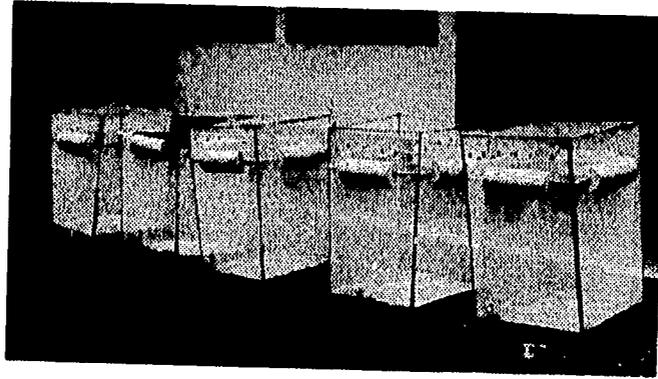
Considerando las recomendaciones hechas por autores como Beveridge(1986; 1991) y Drummond (1988) se construyeron 6 jaulas flotantes, empleando ángulo de aluminio de 5/8 x 5/8 x 1/8" para armar el perímetro del prisma y dar forma a las jaulas. Las estructuras fueron de forma cuadrado-rectangular de las siguientes dimensiones: 1 m. de lado x 1 m. de ancho x 1.30 m. de altura. Para ello, se emplearon remaches y tornillos de 1/8". Posteriormente las estructuras fueron forradas en su fondo y caras laterales con paño multifilamento de nylon blanco con luz de malla de 1/2", y a manera de tapa se usó red de nylon de 1" de luz de malla, con el fin de evitar la depredación o el salto de los peces fuera de las jaulas. Tanto el paño como la red fueron unidos a las estructuras con piola del No. 5, empleando la puntada conocida como "surgete continuo"; la red (tapa) se unió sólo por uno de sus lados de forma que los otros tres restantes colgaran con plomos y se pudiera levantar manualmente cuantas veces fuera necesario. Debido a que las truchas tienden a saltar por encima del espejo de agua, como parte de su comportamiento durante la alimentación, se previó dejar fuera del agua 30 cm. más de estructura. Para mantener este nivel y para que las jaulas flotarán, se emplearon dos flotadores de unisel por jaula, tales flotadores, de forma cilíndrica de 50 cm. de largo x 20 cm. de diámetro, se cortaron longitudinalmente de manera que cada mitad quedara sujeta a un lado de las jaulas. Los flotadores se colocaron a 30 cm de altura, quedando inmerso en el agua un metro cúbico por jaula y 30 cm de altura fuera.



**Figura 2.** Construcción de las jaulas flotantes.



**Figura 3.** Unión de la red a la estructura de la jaula, mediante la puntada de "surgete continuo".



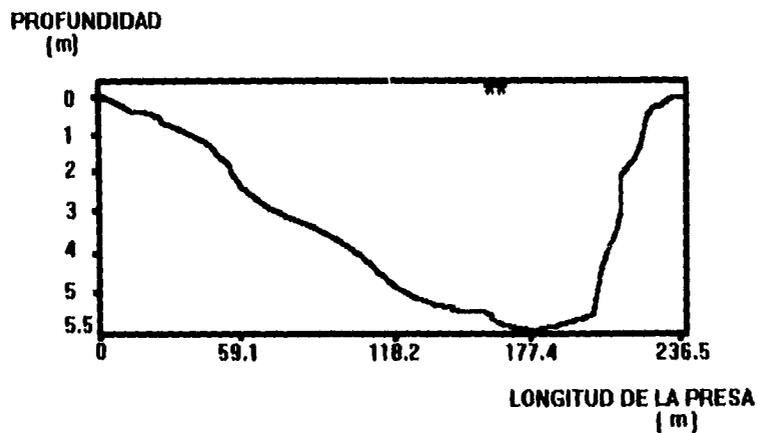
**Figura 4.** Jaulas terminadas, con flotadores laterales de unisel.

## **2. Disposición de las jaulas**

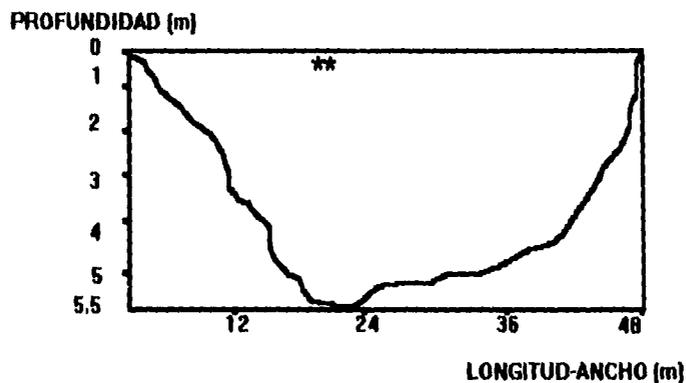
Para determinar el sitio más adecuado de colocación de las jaulas en la presa del Centro Acuícola "El Zarco", D.F., se consideraron los criterios básicos de elección de la zona del cultivo, según la Secretaría de Pesca (1994), a saber:

- Baja tasa de sedimentación
- Mayor profundidad
- Buen recambio de agua
- Lejano de las orillas (con el fin de disminuir la incrustación de algas y otros organismos, así como el sedimento, y dificultar el acceso a depredadores terrestres).

En base a un estudio batimétrico, se dedujo que el mejor lugar era aproximadamente a 160 m de largo de la entrada de agua hacia la salida, y cerca de los 22.5 m. de ancho en la dirección de la carretera hacia los estanques circulares del centro (Ver figuras 5 y 6 de perfil batimétrico).

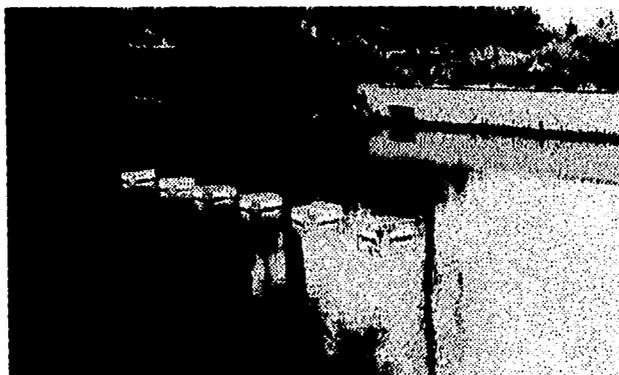


**Figura 5.** Perfil batimétrico, vista longitudinal, de la presa del Centro Acuicola El Zarco.  
 (\*\*) Lugar en donde se colocaron las jaulas, a lo largo de la presa.



**Figura 6.** Perfil batimétrico, vista transversal, de la presa del Centro Acuicola El Zarco.  
 (\*\*) Sitio donde se colocaron las jaulas, a lo ancho de la presa.

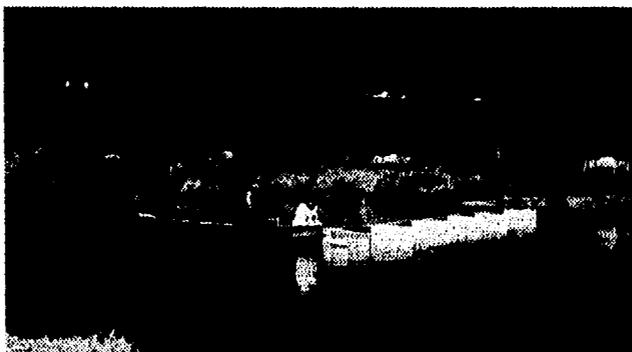
Las jaulas se mantuvieron en este lugar en forma lineal (en riel), mediante el empleo de un cabo de nylon de 1.0 cm de diámetro y una longitud de 50 m., atado en sus extremos a 2 varillas colocadas cada una en los lados de la presa; de esta forma las jaulas se ensartaron en el cabo con armellas de acero inoxidable.



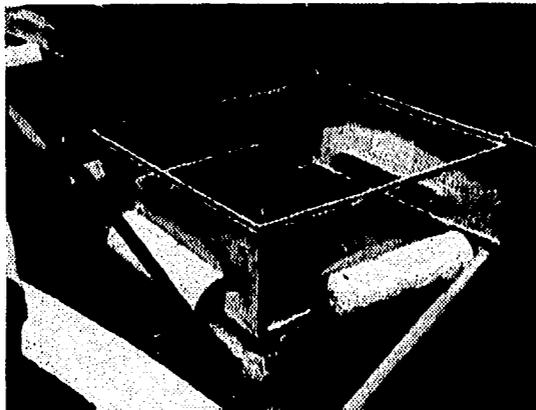
**Figura 7.** Disposición del sistema de jaulas dentro de la presa.

### **3. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE CULTIVO**

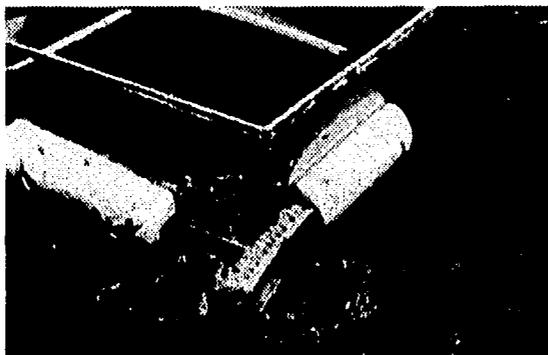
Las jaulas se limpiaron cada tercer día o bien diariamente, según se necesitara, con el fin de favorecer el buen recambio de agua y por lo tanto de oxígeno a través de la luz de malla. Para lograr esto, se empleó un cepillo de cerdas rígidas. Cuando comenzaron las lluvias con más frecuencia, se decidió abrir las compuertas de la presa, para que saliera todo el sedimento que flotaba y aumentar un poco la transparencia del agua.



**Figura 8 y 9.** Limpieza de las jaulas.



**Figura 9**



**Figura 9 y 10.** Limpieza de las paredes laterales de las jaulas, mediante el uso de un cepillo de cerdas duras.

#### **4. MATERIAL BIOLÓGICO**

El lote de peces para este estudio provino de la granja "Los Alevines", localizado en Amanalco de Becerra, Edo. de México, la cual a su vez los importa de la granja Glenn Wyllin Hatchery Co. en De Man Island, Inglaterra; dicha

granja ostenta una garantía sanitaria de 15 años atrás, exenta de enfermedades, además ofrece garantía genética.

El estudio comenzó seleccionando ejemplares con un peso inicial que abarcó un intervalo de 95 - 115 g.; los peces se dividieron en lotes con tres diferentes densidades: 20, 35 y 50 individuos por jaula, con una repetición por tratamiento, en total 6 jaulas; se repusieron los individuos que murieron a los pocos días por causas ajenas al sistema de cultivo, como son el estrés debido al transporte; el manejo para pesaje y medición; y el cambio del medio de vida, entre otras. La fase experimental tuvo una duración de 70 días.

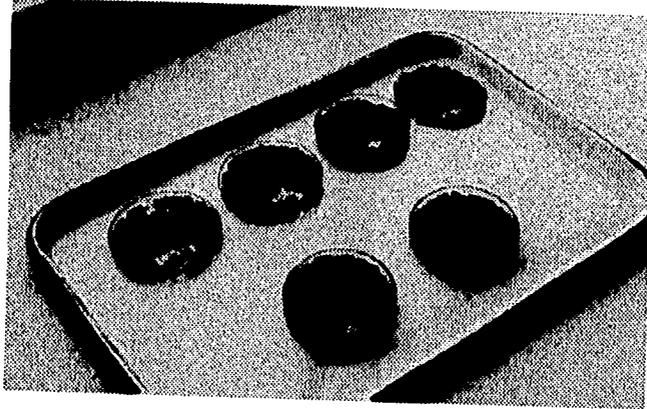
#### **6. ALIMENTO BALANCEADO Y FRECUENCIA DE ALIMENTACION**

El alimento empleado a lo largo del experimento fué de la marca comercial "El Pedregal", pellet de 1/8 ". Se administró el 3 % de la biomasa de cada jaula (Papoutsoglou, et al., 1987), distribuída en 4 raciones diarias, durante 6 días a la semana (Grayton, et al., 1977; Barnabé, 1990; Klontz, 1991; Jiménez, 1995). En los días en que los peces mostraron "inapetencia", la cantidad de alimento se redujo al 0.75 % de la biomasa de cada jaula.

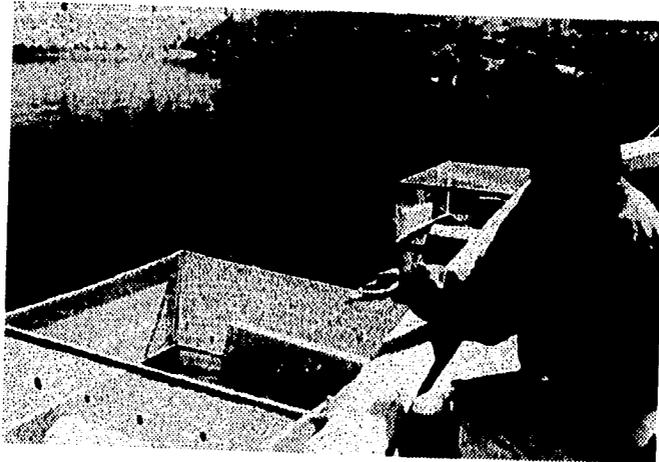
La alimentación se hizo manualmente, y se empleó una lancha de 5 m de eslora y un remo para acercarse al riel de las jaulas.

Para confirmar los principales ingredientes del alimento usado, se realizó un análisis bromatológico, en el Laboratorio de Nutrición de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, U.N.A.M. Tales ingredientes se presentan a continuación:

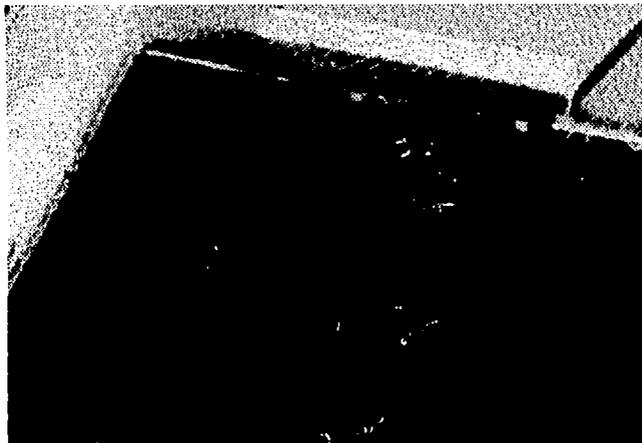
<b>Ingrediente</b>	<b>Base húmeda (%)</b>	<b>Base seca (%)</b>
Fibra cruda	2.08	2.03
Cenizas	6.57	6.40
Extracto etéreo	10.00	17.00
Proteína cruda	37.22	36.24



**Figura 11.** Alimento balanceado tipo pellet de 1/8", ración por comida. 4 comidas diarias, durante 6 días a la semana.



**Figura 12.** Alimentación manual.



**Figura 13.** Comportamiento de las truchas durante la alimentación.

#### **6. REGISTROS MORFOMETRICOS**

Cada quince días, aprovechando el día de "no alimentación", fueron medidos todos los organismos, registrándose la longitud total, la longitud patrón y la altura; (se tomaron dos longitudes con el fin de hallar diferencias en cualquiera de ellas , ya que se considera de mayor confiabilidad la longitud patrón, previendo la conducta agresiva por defensa de territorio de la trucha arco-iris que suele morder las aletas); estas medidas se obtuvieron con una regla de 50 cm, con una precisión de aproximadamente 0.05 cm.. También se registró el peso de cada individuo, mediante el empleo de una balanza electrónica marca **sartorius 1203 MP**, con capacidad de 4,000 0 g. y precisión de aproximadamente 0.05 g. .

#### **7. REGISTROS FISICO-QUIMICOS DEL AGUA.**

De igual manera se tomaron los datos de los principales parámetros físico-químicos para el mantenimiento de la trucha: la temperatura ambiental y la del agua , con un termómetro con escala de -35 a 50 °C con una precisión de aproximadamente 0.05 °C; el pH se calculó con el método colorimétrico de amplio rango del Hatch así como la concentración de oxígeno disuelto en el

agua ; y finalmente la transparencia promedio con el disco de Secchi. Estas medidas se realizaron el día de "no alimentación".

La fase experimental se llevó a cabo durante la época de lluvias, que incluye los meses de mayo a agosto.

#### **8. TRATAMIENTO ESTADISTICO**

La obtención de las relaciones entre los diferentes parámetros registrados, tanto morfométricos como físico-químicos, y su comportamiento gráfico, se logró mediante la utilización de los paquetes: estadístico Cricket-graph Ver. 1.3; y procesador de textos MacWrite II; ambos para Machintosh.

El cálculo para detectar la variación entre los diferentes tratamientos de densidad, se hizo con el empleo del programa Excell Ver. 4.0., para ANDEVA de una vía (Análisis de Varianza), y se realizó un análisis de "Diferencia Verdaderamente Significativa" (DVS) de Tukey para hallar en qué densidad de individuos había disimilitud entre los promedios del crecimiento.

Para el tratamiento estadístico y el análisis de datos, se aplicaron metodologías usadas por Kuri-Nivón (1980) para calcular el Factor de Conversión Alimenticia (FCA) parcial y promedio.

## RESULTADOS

Para una mejor interpretación de los datos, se elaboraron cuadros y gráficas que mostraron los comportamientos que a continuación se describen:

### I. Registros morfométricos:

Con la finalidad de observar en qué parámetros morfométricos (ver metodología) se obtuvieron diferencias con respecto a las magnitudes obtenidas en el día inicial, es decir, en cuál parámetro se registró de manera apreciable el crecimiento, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA=ANOVA), que mostró lo siguiente:

#### Datos de ANDEVA en el día inicial del cultivo, para todos los datos morfométricos de los diferentes tratamientos de densidad

##### I. ANDEVA del peso promedio de todas las truchas a cultivar en jaulas flotantes en el día 1.

Fuente de Variación	SC	g.l.	CM	F	P-value	F crit
Entre Grupos	621.59	5.00	124.32	1.37	0.24	2.26
Dentro de Grupos	18517.52	204.00	90.77			
Total	19139.11	209.00				

##### II. ANDEVA de la longitud total promedio de todas las truchas a cultivar en jaulas flotantes en el día 1.

Fuente de Variación	SC	g.l.	CM	F	P-value	F crit
Entre Grupos	127.70	5.00	25.54	21.80	0.00	2.26
Dentro de Grupos	238.96	204.00	1.17			
Total	366.66	209.00				

**III. ANDEVA de la longitud patrón promedio de todas las truchas a cultivar en jaulas flotantes en el día 1.**

**Fuente de Variación**

	SC	g.l.	CM	F	P-value	F crit
Entre Grupos	128.09	5.00	25.62	15.21	0.00	2.26
Dentro de Grupos	343.65	204.00	1.68			
<b>Total</b>	<b>471.74</b>	<b>209.00</b>				

**IV. ANDEVA de la altura promedio de todas las truchas a cultivar en jaulas flotantes en el día 1.**

**Fuente de Variación**

	SC	g.l.	CM	F	P-value	F crit
Entre Grupos	1.70	5.00	0.34	3.61	0.00	2.26
Dentro de Grupos	19.28	204.00	0.09			
<b>Total</b>	<b>20.98</b>	<b>209.00</b>				

De lo anterior se ve que no hubo una diferencia significativa para el parámetro de peso, en el día inicial del cultivo; en cambio, sí hubo diferencias en las otras medidas (longitud total, longitud patrón y altura) para los peces que se sometieron a las condiciones de cultivo con diferentes densidades.

Comparando estos resultados con los obtenidos para el día final del cultivo:

**Datos de ANDEVA en el día final del cultivo para todos los datos morfométricos de los diferentes tratamientos para el cultivo de trucha:**

**I. ANDEVA y "Diferencia Verdaderamente Significativa" (DVS) de Tukey del peso promedio de todas las truchas a cultivar en jaulas flotantes en el día final del cultivo.**

**Fuente de Variación**

	SC	g.l.	CM	F	P-value	F crit
Entre Grupos	55553.69	5.00	11110.74	9.65	0.00	2.26
Dentro de Grupos	234964.13	204.00	1151.78			
<b>Total</b>	<b>290517.82</b>	<b>209.00</b>				

Densidad indiv/m3	Promedio de peso (g)	Diferencia por prueba de Tukey (DVS)
20	242.95	-
20	231.56	-
35	192.43	-
35	199.78	-
50	216.23	-
50	228.28	-

con  $P < 0.05$  no se encontraron diferencias significativas.

**II. ANDEVA de la longitud total** promedio de todas las truchas a cultivar en jaulas flotantes en el día final del cultivo.

Fuente de Variación	SC	g.l.	CM	F	P-value	F crit
Entre Grupos	66.21	5.00	13.24	7.32	0.00	2.26
Dentro de Grupos	369.03	204.00	1.81			
Total	435.24	209.00				

**III. ANDEVA de la longitud patrón** promedio de todas las truchas a cultivar en jaulas flotantes en el día final del cultivo.

Fuente de Variación	SC	g.l.	CM	F	P-value	F crit
Entre Grupos	51.54	5.00	10.31	6.32	0.00	2.26
Dentro de Grupos	332.55	204.00	1.63			
Total	384.10	209.00				

**IV. ANDEVA de la altura** promedio de todas las truchas a cultivar en jaulas flotantes en el día final del cultivo.

Fuente de Variación	SC	g.l.	CM	F	P-value	F crit
Entre Grupos	12.51	5.00	2.50	12.20	0.00	2.26
Dentro de Grupos	41.85	204.00	0.21			
Total	54.36	209.00				

Los parámetros morfométricos de longitud total, longitud patrón, y altura, continuaron presentando variación entre las diferentes densidades de individuos, con la diferencia de que el peso también manifestó cambios al final del cultivo, por lo tanto, en este parámetro fué donde se registró un cambio "perceptible" en el crecimiento para alguno de los tratamientos de densidad. De ahí que haya sido necesario el empleo de otros métodos estadísticos con la finalidad de encontrar las diferencias significativas en el peso de los grupos de peces

cultivados bajo diferentes densidades; el método usado fué el propuesto por Tukey (Daniel, 1993), con una probabilidad de  $<0.05$ , la cual indicó que no hubo diferencias significativas entre los grupos de pesos manejados. Por ello, fué necesario realizar más análisis que nos indicaron lo siguiente:

**a. El peso.** En éste fué donde se apreció un incremento de crecimiento, considerándose del día inicial al final del cultivo, el cual se presenta en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Incremento del peso quincenal para cada jaula con diferente densidad de individuos. Los datos presentados son el promedio de los observados, en gramos.

TIEMPO (días)	DENSIDAD (Indiv./m <sup>3</sup> )	PESO (g)	BIOMASA (g)	INCREMENTO DE PESO (g) PARCIAL	TOTAL
1	20	104.80	2096.00	-	
15		140.55	2811.00	25.75	
30		184.19	3683.80	43.64	
45		209.46	4189.20	25.27	
60		239.42	4788.40	29.96	
70		242.95	4859.00	3.53	138.15
1	20	102.56	2051.20	-	
15		133.37	2667.40	30.81	
30		172.98	3459.60	39.61	
45		201.96	4039.20	28.98	
60		229.50	4590.00	27.54	
70		231.56	4631.20	2.06	129.00
1	35	100.04	3501.40	-	
15		113.37	3967.95	13.33	
30		138.84	4859.40	25.47	
45		166.58	5830.30	27.74	
60		188.72	6605.20	22.14	
70		192.46	6736.10	3.74	92.42
1	35	99.15	3470.25	-	
15		111.06	3887.10	11.91	
30		144.51	5057.85	33.45	
45		167.54	5863.90	23.03	
60		195.72	6850.20	28.18	
70		199.76	6991.60	4.04	100.61
1	50	102.92	5146.00	-	
15		126.56	6328.00	23.64	
30		159.30	7965.00	32.74	
45		182.10	9105.00	22.80	
60		211.41	10570.50	29.31	
70		216.23	10811.50	4.82	113.31
1	50	102.32	5116.00	-	
15		129.95	6497.50	27.63	
30		170.06	8503.00	40.11	
45		191.19	9559.50	21.13	
60		225.98	11299.00	34.79	
70		228.28	11414.00	2.30	125.96

Como se aprecia, la ganancia en peso fué mayor en las jaulas que contenían densidades menores de 20 indiv./m<sup>3</sup> (138.15 g. y 129.0 promedio total de aumento) , lo cual se debe a que la tasa de crecimiento fué más rápida para éstos peces.

Le siguieron en incremento total de peso, las jaulas con densidades de 50 indiv./m<sup>3</sup> (113.31 y 125.96 g de total promedio), y en último lugar quedaron las jaulas con densidades de 35 indiv./m<sup>3</sup> (92.42 y 100.61 g de total promedio)

Los días en los que puede observarse un incremento mayor de peso, en general para todas las densidades, es en los 15 - 45 días; la ganancia de peso del día 60 al 70 fué mínima para todas las jaulas con diferente densidad.

Al igual que en el incremento en los otros datos morfométricos, para las 3 diferentes densidades manejadas, fué notorio un crecimiento directamente proporcional a lo largo del tiempo, que como ocurrió con el incremento en la altura, tendió a la estabilización a partir del día 60.

El tiempo en el que se alcanzó la máxima ganancia de peso para todas las densidades fué en el día 60.

La tasa de crecimiento fué de:

- 2.06 y 1.96; con un promedio de 2.01 para las densidades de 20 indiv./m<sup>3</sup>.

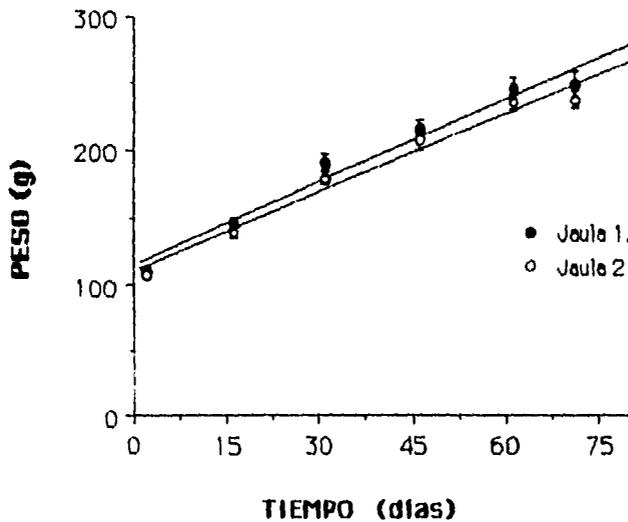
- 1.45 y 1.58; con un promedio de 1.52 para las densidades de 35 indiv./m<sup>3</sup>.

- 1.71 y 1.91; con un promedio de 1.81 para las densidades de 50 indiv./m<sup>3</sup>.

(Ver gráficas 1, 2, 3, de Peso vs. tiempo, para las diferentes densidades de individuos por metro cúbico).

## PESO PROMEDIO

(20 individuos/m<sup>3</sup>)



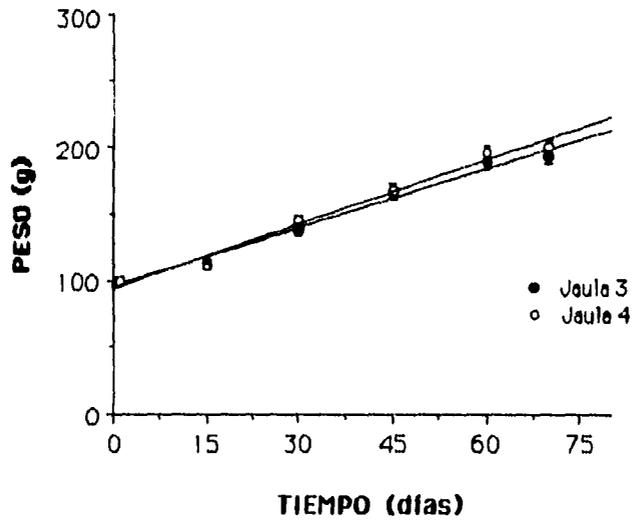
GRAFICA 1 . Incremento del peso en trucha arco-iris, cultivada en jaulas flotantes, con una densidad de 20 individuos/m<sup>3</sup>, en el Centro Acuícola El Zarco, D.F..

Jaula 1,  $y = 2.0600 x + 111.02$  ( $n=6$ ,  $r=0.9864$ ,  $P<0.01$ );

Jaula 2,  $y = 1.9588 x + 106.50$  ( $n=6$ ,  $r=0.9879$ ,  $P<0.01$ ).

Donde  $y$ = peso,  $x$ = tiempo.

**PESO PROMEDIO**  
(35 individuos/m<sup>3</sup>)



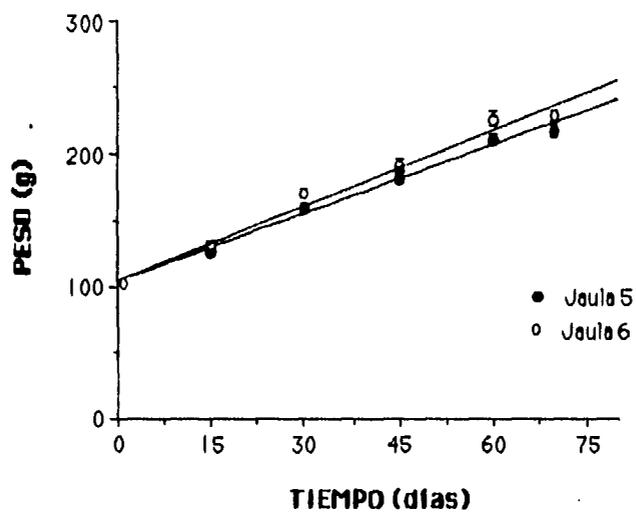
**GRAFICA 2 .** Incremento de peso en truchas arco-iris, cultivadas en jaulas flotantes, con una densidad de 35 individuos/m<sup>3</sup>, en el Centro Acuicola El Zarco, D.F.:

Jaula 3,  $y = 1.4546 x + 96.423$  ( $n=6, r=0.9925, P<0.01$ );

Jaula 4,  $y = 1.5844 x + 94.597$  ( $n=6, r=0.9920, P<0.01$ ).

Donde  $y$ = peso,  $x$ = tiempo.

**PESO PROMEDIO**  
(50 individuos/m<sup>3</sup>)



**GRAFICA 3 . Incremento de peso en truchas arco-iris cultivadas en jaulas flotantes,  
con una densidad de 50 individuos/m<sup>3</sup>, en el Centro Acuícola El Zarco,  
D.F..**

**Jaula 5,  $y = 1.7138 x + 103.30$  ( $n = 6, r = 0.9945, P < 0.01$ );**

**Jaula 6,  $y = 1.9090 x + 104.32$  ( $n = 6, r = 0.9905, P < 0.01$ ).**

**Donde  $y =$  peso,  $x =$  tiempo.**

**b. La longitud total.** Esta no presentó gran incremento, desde el día inicial al final del experimento, bajo ningún tratamiento de densidad. Esto se observa claramente en las gráficas.

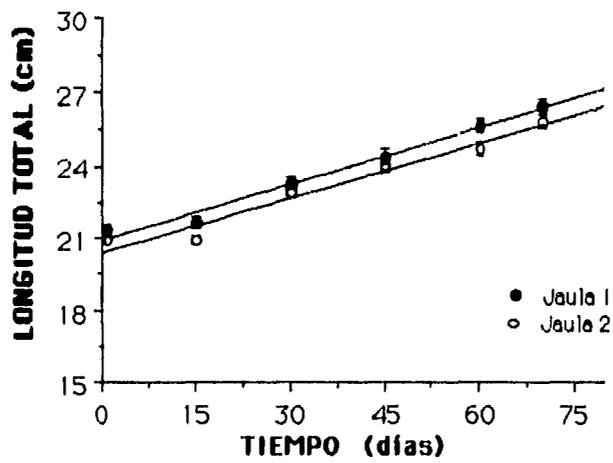
Sin embargo, cabe hacer la observación de que todas las truchas presentaron la aleta caudal lastimada por mordida, y por lo tanto, era más corta. (Ver gráficas 4, 5, 6, de Longitud total vs. tiempo, para las diferentes densidades de individuos por metro cúbico).

**c. La longitud patrón.** Esta tampoco presentó gran incremento bajo ningún tratamiento de densidad. Ver gráficas.

Como se puede ver, esta tasa o velocidad de crecimiento para este parámetro también resultó ser casi constante. (Ver gráficas 7, 8, 9, de Longitud patrón vs. tiempo, para las diferentes densidades de individuos por metro cúbico).

**d. La altura.** En este parámetro a pesar de que durante casi toda la fase experimental tuvo incremento casi constante, se apreció una ligera disminución a partir del día 60, en general, para todos los tratamientos de densidad. (Ver gráficas 10, 11, 12, de Altura vs. tiempo, para las diferentes densidades de individuos por metro cúbico).

**LONGITUD TOTAL PROMEDIO**  
(20 individuos/m<sup>3</sup>)



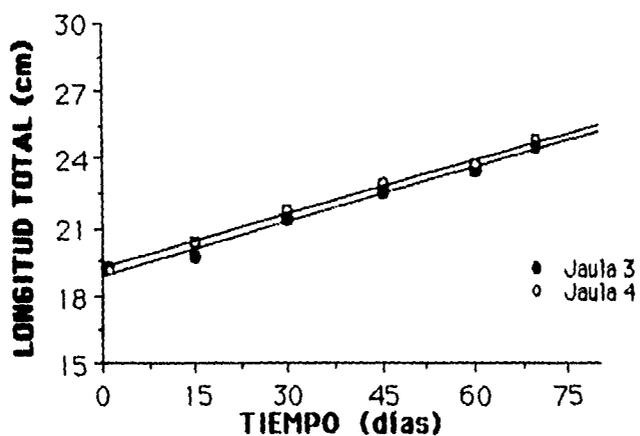
**GRAFICA 4.** Incremento en la longitud total de truchas arco-iris cultivadas en jaulas flotantes, con una densidad de 20 individuos/m<sup>3</sup>, en el Centro Acuícola El Zarco, D.F..

Jaula 1,  $y = 20.929 + 7.8114 e^{-2x}$  (n= 6, r= 0.9925, P< 0.01);

Jaula 2,  $y = 20.441 + 7.5300 e^{-2x}$  (n= 6, r= 0.9844, P< 0.01).

Donde y= longitud total, x= tiempo.

**LONGITUD TOTAL PROMEDIO**  
(35 individuos/m<sup>3</sup>)



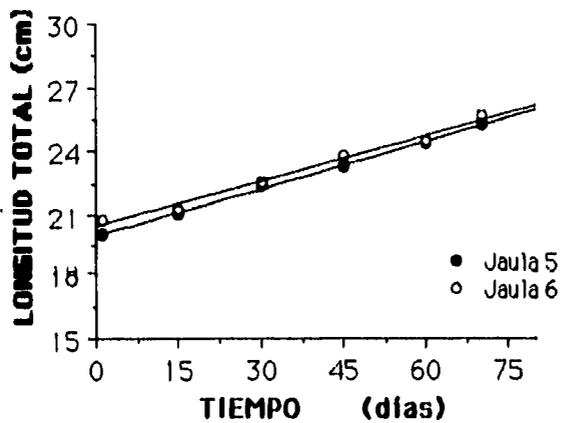
**GRAFICA 5.** Incremento de la longitud total de truchas arco-iris, cultivadas en jaulas flotantes, con una densidad de 35 individuos/m<sup>3</sup>, en el Centro Acuícola El Zarco, D.F..

Jaula 3,  $y = 18.873 + 8.0243 e^{-2x}$  ( $n = 6$ ,  $r = 0.9955$ ,  $P < 0.01$ );

Jaula 4,  $y = 19.207 + 7.9680 e^{-2x}$  ( $n = 6$ ,  $r = 0.9980$ ,  $P < 0.01$ ).

Donde  $y$  = longitud total,  $x$  = tiempo.

**LONGITUD TOTAL PROMEDIO**  
(50 individuos/m<sup>3</sup>)



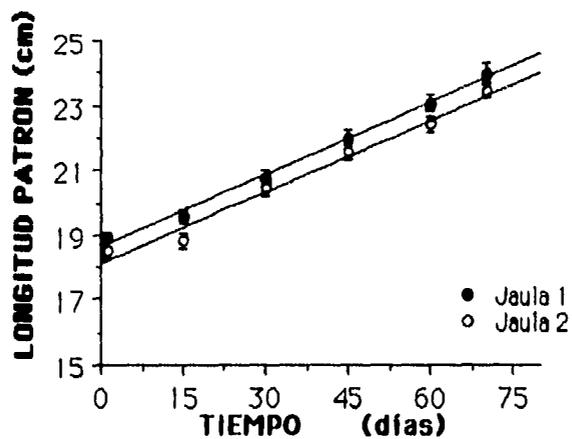
**GRAFICA 6.** Incremento de la longitud total de truchas arco-iris cultivadas en jaulas flotantes, con una densidad de 50 individuos/m<sup>3</sup>, en el Centro Acuicola El Zarco, D.F..

Jaula 5,  $y = 20.041 + 7.4399 e^{-2x}$  ( $n = 6$ ,  $r = 0.9985$ ,  $P < 0.01$ );

Jaula 6,  $y = 20.447 + 7.1758 e^{-2x}$  ( $n = 6$ ,  $r = 0.9930$ ,  $P < 0.01$ ).

Donde  $y$  = longitud total,  $x$  = tiempo.

**LONGITUD PATRON PROMEDIO**  
(20 individuos/m<sup>3</sup>)



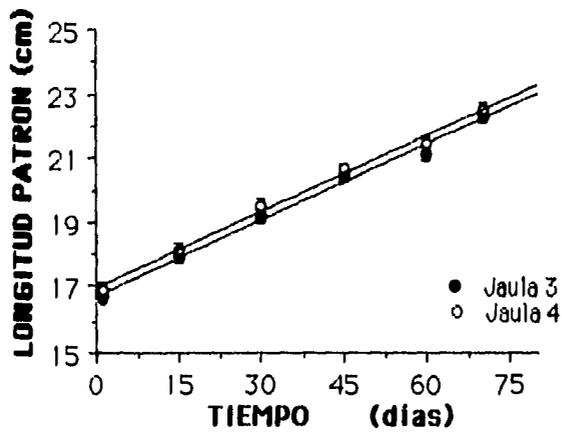
**GRAFICA 7.** Incremento de la longitud patrón de las truchas cultivadas en jaulas flotantes, con densidad de 20 individuos/m<sup>3</sup>, en el Centro Acuicola El Zarco D.F..

Jaula 1,  $y = 18.634 + 7.4598 e^{-2x}$  ( $n = 6, r = 0.9975, P < 0.01$ );

Jaula 2,  $y = 18.164 + 7.3703 e^{-2x}$  ( $n = 6, r = 0.9915, P < 0.01$ ).

Donde  $y$  = longitud patrón,  $x$  = tiempo.

**LONGITUD PATRON PROMEDIO**  
(35 individuos/m<sup>3</sup>)



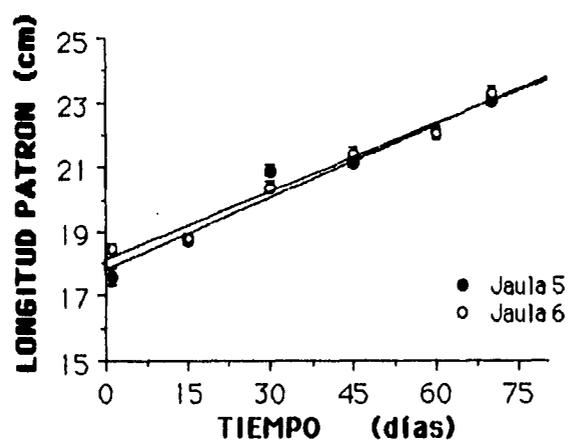
**GRAFICA 8.** Incremento de la longitud patrón en las truchas cultivadas en jaulas flotantes, con una densidad de 35 individuos/m<sup>3</sup>, en el Centro Acuícola El Zarco, D.F..

Jaula 3,  $y = 16.728 + 7.9113 e^{-2x}$  ( $n = 6, r = 0.9960, P < 0.01$ );

Jaula 4,  $y = 16.953 + 7.9198 e^{-2x}$  ( $n = 6, r = 0.9970, P < 0.01$ ).

Donde  $y$  = longitud patrón,  $x$  = tiempo.

**LONGITUD PATRON PROMEDIO**  
(50 individuos/m<sup>3</sup>)



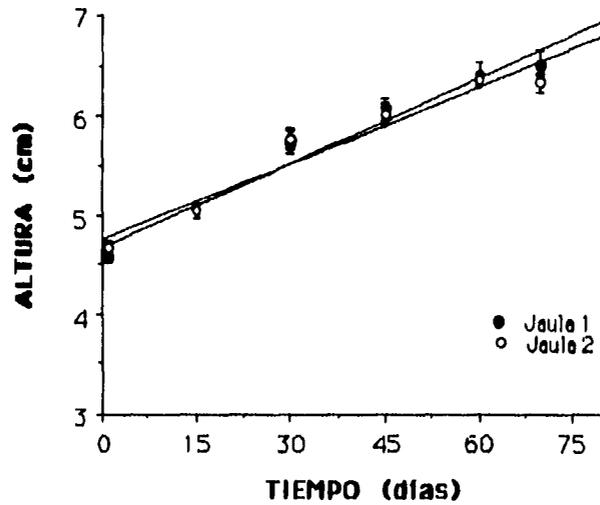
**GRAFICA 9.** Incremento de la longitud patrón en las truchas arco-iris cultivadas en jaulas flotantes, con una densidad de 50 individuos/m<sup>3</sup>, en el Centro Acuicola El Zarco, D.F..

Jaula 5,  $y = 17.820 + 7.4939 e^{-2x}$  (n= 6, r= 0.9778, P< 0.01);

Jaula 6,  $y = 18.129 + 7.0881 e^{-2x}$  (n= 6, r= 0.9894, P< 0.01).

Donde y= longitud patrón, x= tiempo.

**ALTURA PROMEDIO**  
(20 individuos/m<sup>3</sup>)



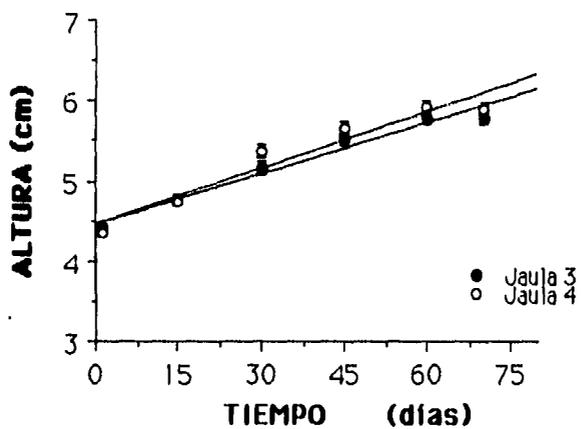
**GRAFICA 10.** Incremento de la altura de las truchas arco-iris cultivadas en jaulas flotantes, con una densidad de 20 individuos/m<sup>3</sup>, en el Centro Acuícola el Zarco, D.F..

Jaula 1,  $y = 4.6771 + 2.8675 e^{-2x}$  ( $n = 6, r = 0.9834, P < 0.01$ );

Jaula 2,  $y = 4.7639 + 2.5505 e^{-2x}$  ( $n = 6, r = 0.9695, P < 0.01$ ).

Donde  $y =$  altura,  $x =$  tiempo.

**ALTURA PROMEDIO**  
(35 individuos/m<sup>3</sup>)



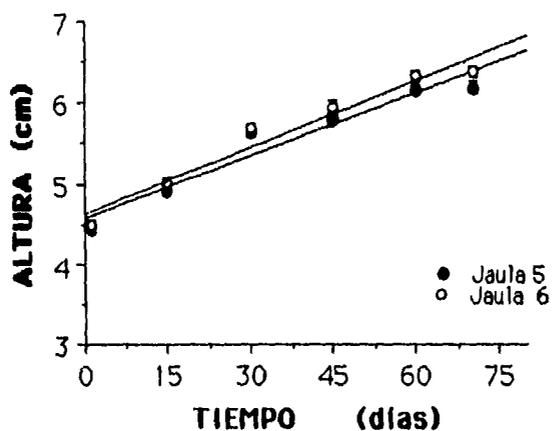
**GRAFICA 11.** Incremento de la altura de las truchas arco-iris cultivadas en jaulas flotantes, con una densidad de 35 individuos/m<sup>3</sup>, en el Centro Acuícola El Zarco, D.F..

Jaula 3,  $y = 4.4606 + 2.1206 e^{-2x}$  ( $n = 6, r = 0.9854, P < 0.01$ );

Jaula 4,  $y = 4.4720 + 2.3475 e^{-2x}$  ( $n = 6, r = 0.9690, P < 0.01$ ).

Donde  $y =$  altura,  $x =$  tiempo.

**ALTURA PROMEDIO**  
(50 individuos/m<sup>3</sup>)



**GRAFICA 12.** Incremento en la altura de las truchas arco-iris cultivadas en jaulas flotantes, con una densidad de 50 individuos/m<sup>3</sup>, en el Centro Acuicola El Zarco, D.F..

Jaula 5,  $y = 4.5803 + 2.5783 e^{-2x}$  ( $n = 6$ ,  $r = 0.9685$ ,  $P < 0.01$ );

Jaula 6,  $y = 4.6221 + 2.7862 e^{-2x}$  ( $n = 6$ ,  $r = 0.9798$ ,  $P < 0.01$ ).

Donde  $y =$  altura,  $x =$  tiempo.

En cuanto al Factor de Conversión Alimenticia (FCA), se obtuvo lo siguiente:

**Cuadro 2.** Cálculo del Factor de Conversión Alimenticia (FCA), para las truchas cultivadas con diferente densidad en jaulas flotantes de 1m<sup>3</sup> de capacidad en el Centro Acuícola El Zarco, D.F. . Se usaron valores promedio en cada caso.

Tiempo (días)	No. de jaula y densidad soportada (indiv./m <sup>3</sup> )					
	1 (20)	2 (20)	3 (35)	4 (35)	5 (50)	6 (50)
1	-	-	-	-	-	-
15	0.82	0.88	1.34	1.17	1.07	0.87
30	1.71	1.42	1.27	1.51	1.72	1.90
45	1.57	1.49	1.60	1.31	1.39	1.25
60	14.69	24.67	11.02	10.26	9.35	20.8
70	-	-	-	-	-	-
*FCA	1.29	1.30	1.58	1.44	1.41	1.31

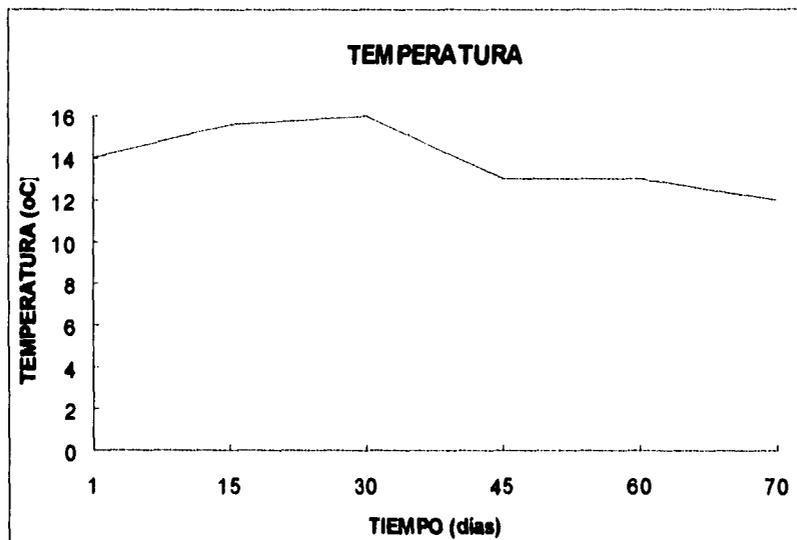
El cálculo del Factor de Conversión Alimenticia (FCA) para las truchas cultivadas bajo diferentes densidades en las jaulas flotantes es aproximado, no real.

Se puede apreciar que hay aumento del FCA con respecto al tiempo de manera general; sin embargo, hay peces que tienen un mejor FCA promedio, tal es el caso de aquellos que fueron cultivados a bajas densidades (jaulas 1 y 2). El FCA promedio aumenta en los peces cultivados bajo densidades intermedias y grandes (jaulas 3, 4 y 5, 6; respectivamente).

También se observa un cambio brusco del FCA parcial del día 60 al 70 para todos los peces bajo cultivo.

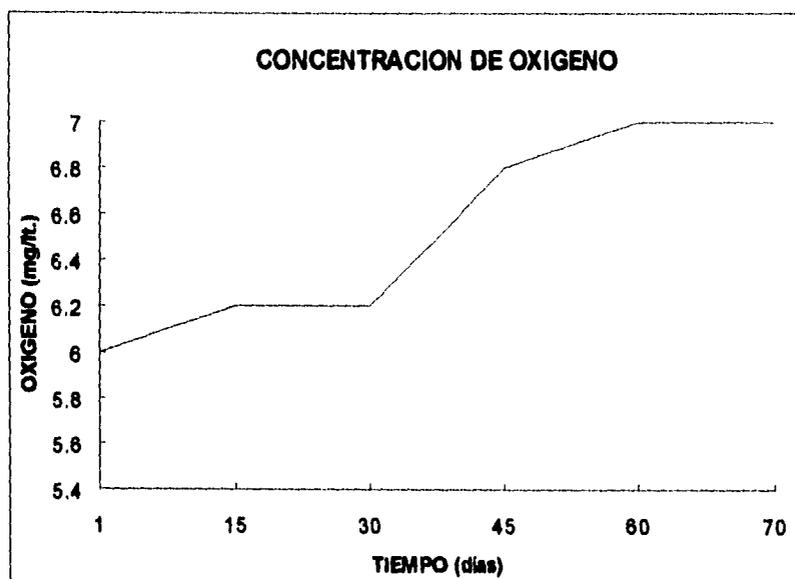
## II. Parámetros físico-químicos :

**1. Temperatura.** Al principio del experimento, este factor en el agua presentó una clara tendencia al aumento, que fué de 14 a 16 °C y, posteriormente una disminución a partir del día 30, de 16 a 12 °C.  
(Ver gráfica 13)



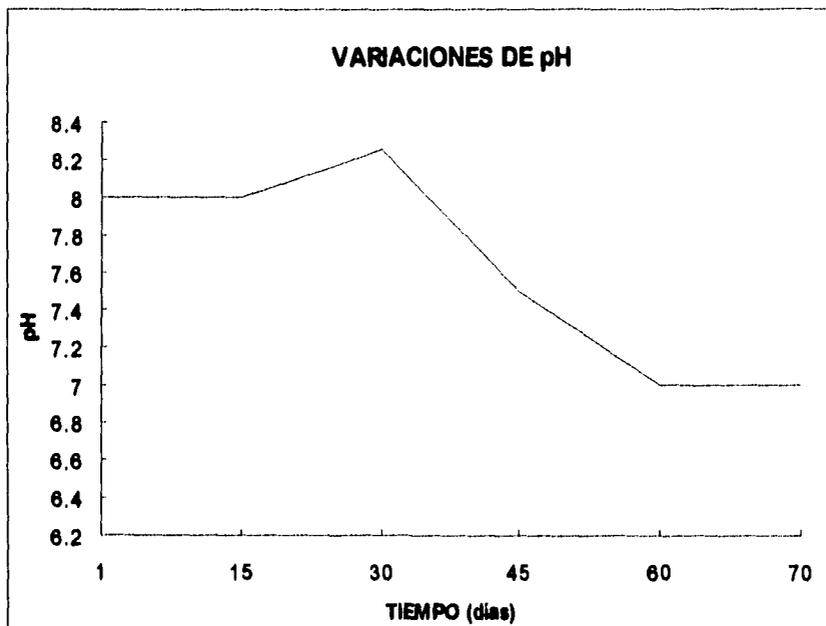
**Gráfica 13.** Variaciones de la temperatura en el agua de la presa de el Centro Acuícola El Zarco, D.F..

**2. Concentración de oxígeno disuelto en el agua.** La concentración del elemento empezó siendo baja, de 6.0 mg/lt., y luego aumentó hasta 7.0 mg/lt. Este aumento se registró después del día 30.  
(Ver gráfica 14)



**Gráfica 14.** Cambios en la concentración de oxígeno disuelto en el agua de la presa de el Centro Acuícola El Zarco, D.F.

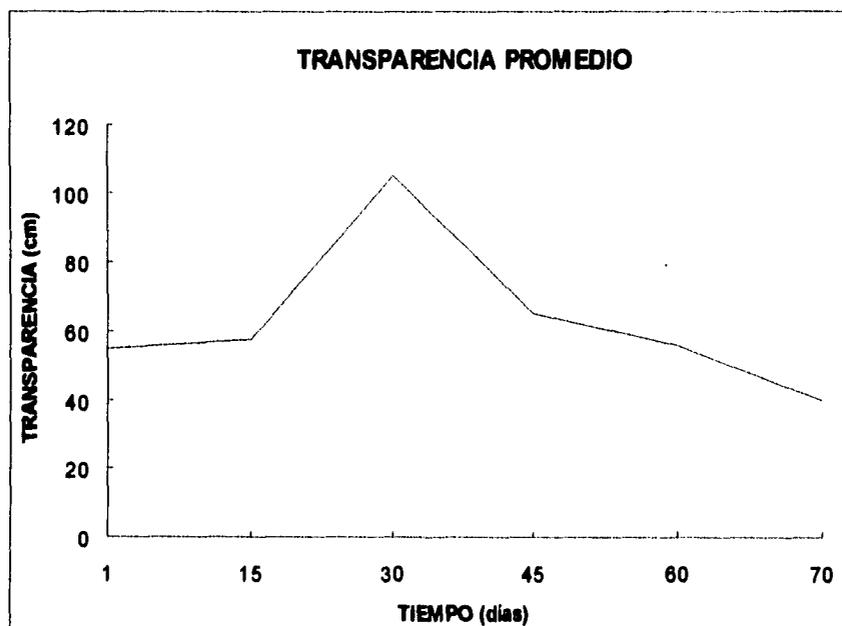
**3. El pH .** En un principio fué un tanto básico, de 8.0, que llegó a alcanzar los 8.3 en el día 30; a partir de ahí disminuyó hasta neutralizarse (7.0.).  
(Ver gráfica 15)



**Gráfica 15.** Variación de pH a lo largo de 70 días de experimentación, en la presa de el Centro Acuicola El Zarco, D.F..

**4. La transparencia promedio.** Al iniciar el cultivo fué de 55 cm., lo cual se mantuvo casi estable, y al finalizar el experimento cayó cerca de los 40 cm. Cabe señalar que hay un dato promedio durante el día 30, en el cual y durante toda la semana que le antecedió hubo una gran transparencia, cercana a los 105 cm., al grado de poder apreciar el fondo mismo de las jaulas y por consiguiente a los peces bajo cultivo.

Entre otras observaciones que se realizaron a cerca del clima, se tuvo que para la última semana las condiciones ambientales fueron adversas, cayeron grandes tormentas en la zona y el agua contenía gran cantidad de material sólido suspendido (Ver gráfica 16).



**Gráfica 16.** Variaciones de la transparencia promedio durante 70 días de experimentación en la presa de el Centro Acuícola El Zarco, D.F.

### III. Costos de inversión:

Estos ascendieron a un total de N\$ 1,973.26, siendo el ángulo de aluminio y el paño multifilamento los materiales más costosos. En la siguiente lista se muestra el precio de los materiales mínimos necesarios para la construcción de el diseño de jaulas flotantes presentado en este estudio, así como el requerido para el mantenimiento del cultivo de la trucha.

#### MATERIAL DE CONSTRUCCION DE LAS JAULAS.

- Paño multifilamento de 0.5" de luz de malla, red de nylon de 1" de luz de malla, piolo del no. 5.	N\$ 786.74
- Angulo de aluminio, pijas , remaches	N\$ 859.52
- Armellas de acero inoxidable	N\$ 5.00
- Cabo de nylon	N\$ 10.00
Total	N\$ 1661.26

#### ALIMENTO

- Pellet de 1/8", marca El Pedregal, aproximadamente N\$ 218.00

#### OTROS

- Cepillo, cubetas, botas N\$ 94.00

Gran Total  
N\$ 1973.26

\*\* Los peces fueron una donación de la granja "Los Alevines".

## DISCUSION

En un principio, se menciona en los resultados que el parámetro morfométrico "peso", fué el que no presentó variación significativa para los peces que se sometieron a condiciones de cultivo. Esto es lógico, pues fué el que sirvió como punto de referencia para tratar de uniformar las tallas (pesos) de los individuos, en un intervalo de 95 - 115 g. (Ver metodología). Al finalizar el experimento, los datos fueron nuevamente sometidos a la prueba de varianza, y para longitud total, longitud patrón, altura se hallaron variaciones al igual que para el peso, pero el peso era el que importaba en este caso, ya que fué el parámetro a comparar para observar si existió una variación y con ello un incremento en el crecimiento para alguno de los tratamientos. Una vez comprobada su variación en el tiempo final, se procedió a determinar bajo qué tratamiento se obtuvo mejor crecimiento; sin embargo, con la prueba de Tukey no se logró detectar diferencia significativa entre los tratamientos. Por lo anterior, se hicieron inferencias en cuanto a la densidad óptima de cultivo en base a los promedios obtenidos y al FCA.

La densidad adecuada de trucha arco-iris para su cultivo en el sistema de jaulas flotantes de 1m<sup>3</sup> propuesto en el presente estudio, resultó ser de 20 indiv./m<sup>3</sup>, es decir, la más baja de las 3 densidades analizadas.

Ello concuerda con los resultados obtenidos por Papoutsoglou, et al. (1979), Trzebiatowski, et al. (1981), y Holm, et al. (1990), es decir, que a menores densidades se obtiene mayor tasa de crecimiento. Sin embargo, estas densidades bajas empleadas por los anteriores autores, fueron mucho mayores a las que se manejaron en esta investigación, (200, 150, 250 indiv./m<sup>3</sup>, respectivamente), lo cual indica que muy seguramente ellos trabajaron con factores físico-químicos óptimos y con alimento balanceado que proporciona mejor FCA, aunque en sus trabajos no se mencionan; o bien el que sus peces hayan sido de menor talla; en cuanto a la genética de los peces, considerando que éste es otro factor importante que influye en el crecimiento, como lo señala Laird, et al., (1988), esta fué garantizada con la importación desde De Man Island granja Glenn Wyllin Hatchery Co.

La tasa de crecimiento (peso/día) obtenida por Austreng, et al. (1987) para trucha arco-iris en jaulas flotantes fué de 1.9 - 2.2, para peces con un peso de 30 - 50, y de 1.4 - 1.7 para peces de 150 -600 g.; la anterior muy cercana a la hallada en este experimento, que fué de 1.45 - 2.06 para todos los tratamientos de densidad. Estos resultados también están avalados por el trabajo de Papoutsoglou, et al. (1987). Por ello el aumento en peso estuvo directamente relacionado con las densidades menores.

Durante el tiempo que duró la fase experimental, se logró obtener la talla comercial, de 200-250 g. (Klontz, 1991); sin embargo, las curvas de crecimiento aún presentaban la tendencia de relación potencial (ver gráficas 1, 2, 3, de peso para cada tratamiento, y en general para los demás registros morfométricos), por lo que se deduce que los peces no habían alcanzado los pesos máximos,

aunque hay que considerar que se presentó una ligera disminución del crecimiento para todos los tratamientos, lo cual como se explica más adelante se debió a la reducción de la transparencia promedio.

Dado que a bajas densidades se apreció un mejor crecimiento, en cuanto a ganancia de peso aunado a la altura, fué necesario referirse al FCA para ver con qué eficiencia se aprovechaba el alimento administrado.

Este FCA, sufre un sesgo importante, debido a que a partir del día 60, los peces aumentaron muy poco de peso (Ver Cuadro 1. y 2. Incremento de peso y FCA) en comparación con la cantidad de alimento que se les proporcionó, a pesar de que esta cantidad disminuyó del 3% originalmente al 0.75% de la biomasa promedio de los peces.

La reducción de la cantidad de alimento se debió a que los peces no lo consumían en su totalidad, lo cual se determinó a simple vista.

Esta "inapetencia" es atribuida a uno de los parámetros físicos del agua de la presa: la transparencia; ya que los demás se mantuvieron más o menos constantes, y dentro de un rango óptimo para el cultivo de esta especie. Este parámetro disminuyó notablemente cuando el régimen de lluvias se hizo más frecuente e intenso en la región. (Ver gráfica 16 de transparencia vs. tiempo), lo cual corresponde con el tiempo en que los peces disminuyeron su actividad alimenticia. (Ver gráficas de peso vs. tiempo, 1,2,3, y altura vs. tiempo, 10, 11, 12)

De ahí que el crecimiento haya sido pobre durante este periodo, pues los peces no podían localizar visualmente su alimento por la gran cantidad de partículas sólidas en suspensión a lo largo de la columna de agua.

De esta manera tenemos que si bien la transparencia no es un factor que ponga en peligro la vida de las truchas bajo cultivo, sí puede influir grandemente en su crecimiento, y por lo tanto en la rentabilidad económica del productor, y/o en el tiempo en que los peces alcancen la talla comercial.

Sin embargo, fué mayor la cantidad de alimento empleado que el peso obtenido para todos los tratamientos durante los últimos quince días del experimento.

Por otro lado, el que los peces cultivados bajo densidades de 35 indiv./m<sup>3</sup> hayan tenido el FCA promedio más alto, se atribuye a que se les continuaba proporcionando más alimento del que en realidad consumían y aprovechaban para el crecimiento, y esto se dedujo al ver que rara vez subían cerca del espejo de agua a comer. De los datos del FCA promedio, se deduce que no empleaban todo el alimento administrado, y que muy probablemente éste era lixiviado, caía al fondo de la presa o era consumido por otros peces que se encontraban libres en la presa.

Los FCA promedio más bajos se obtuvieron para las truchas cultivadas en densidades de 20 indiv./m<sup>3</sup> y les siguieron las de 50 indiv./m<sup>3</sup>. Lo anterior indica que los peces que mejor aprovecharon el alimento para su crecimiento fueron los individuos que estaban sometidos a un cultivo con bajas densidades poblacionales, ésto concuerda y refuerza a los resultados obtenidos con las relaciones peso vs. tiempo para las densidades ya mencionadas. Esto se

observa en las gráficas de peso vs. tiempo, altura vs. tiempo, y en los cuadros 1 y 2 de incremento en peso y FCA, respectivamente.

El FCA hallado por Jiménez (1995) analizando el alimento El Pedregal para trucha arco-iris bajo cultivo en jaulas flotantes de 1 m<sup>3</sup>, fué de 1.75; el encontrado en este estudio fué menor al reportado por Jiménez (1995), oscilando entre los 1.29 y los 1.58, pero según Laird, *et al.* (1988) estos valores caen dentro del intervalo deseado para la especie, de 1 a 2. La marca El Pedregal reporta FCA de 1.2 - 1.4 para la engorda de trucha, lo cual concuerda con los datos registrados en este experimento. (Klontz, 1991).

Es importante mencionar que los datos de FCA son aproximados, no reales, pues no se midió cuantitativamente la asimilación del alimento para el crecimiento, así como la pérdida de éste por diversos factores (defecación; lixiviación; caída al fondo; captura por otros peces presentes en la presa; etc). Por ello, muy seguramente el FCA observado está sobreestimado.

En cuanto a los parámetros físico-químicos del agua registrados a lo largo del periodo experimental, manifestaron variaciones de acuerdo al cambio de estación, de primavera a verano. Sin embargo, estas variaciones se mantuvieron dentro de los intervalos permisibles para el cultivo de esta especie.

Hokanson, *et al.* (1977) y Drummond (1988) coinciden en señalar que la temperatura óptima para el crecimiento de la trucha arco-iris oscila alrededor de los 18 °C (17.2 +- 1.5 °C); en cambio Pillay (1990) dá un intervalo más amplio, que va de 10 a 18 °C, esto concuerda con la registrada durante el periodo de cultivo, pues osciló entre los 16 °C y los 12 °C.

Turli (1970), Huet (1975), Laird, *et al.* (1988), reportan una concentración de oxígeno disuelto en el agua de 9 mg/lt. como óptimo para la trucha arco-iris; lo obtenido durante la fase experimental fué inferior, de 6-7 mg/lt., sin embargo, no resultó perjudicial, ya que estuvo dentro de los intervalos mínimos permisibles para la sobrevivencia de éstos peces.

El intervalo de pH para el cultivo de la especie va de 7-8, según Pillay (1990) y Drummond (1988). Durante la fase de cultivo el pH tuvo una variación de 8.3 a 7.0, y aunque resultó ligeramente básico al principio debido a la época de sequía, disminuyó hasta neutralizarse en la época de lluvias. Esta variación no tuvo un efecto significativo en el crecimiento de los peces sometidos al tratamiento.

En lo referente a la transparencia promedio, ésta manifestó variaciones muy amplias, desde 105 cm a 40 cm, a lo largo del experimento. Jiménez (1995) reportó transparencias promedio, para la presa de Sta. Ana Tzacuala, de 75 a 115 cm. Por ello, este parámetro se puede considerar como bajo de los 40-70 cm; los días que presentaron transparencia promedio baja, coinciden con aquellos en que los peces se mostraron "inapetentes", por lo que se le atribuye a este factor la reducción de la tasa de crecimiento (reflejada en el poco incremento en peso) para todos los tratamientos.

Con respecto a este mismo parámetro, el cual está influenciado por las condiciones climáticas y de corrientes (referentes a remoción y acarreo de partículas, iluminación, etc.), Laird, *et al.* (1988) mencionan que la luz es un

factor muy importante ya que puede afectar al crecimiento en 2 sentidos: a nivel de luz y de periodicidad. Con niveles de luz muy bajos el pez no puede ver el alimento y su crecimiento es deprimido; también hallaron que en primavera con el incremento en la longitud del día, la trucha empieza a consumir más alimento y consecuentemente crece más rápido, y lo mismo sucede con temperaturas bajas.

Al relacionar cada uno de los parámetros físico-químicos con el clima y su variación durante el cambio de temporada en la región, se deduce que: inicialmente la temperatura fué alta, por ser la estación de primavera y decreció con la entrada del verano; la concentración de oxígeno disuelto fué baja al principio de la fase experimental, ya que era a mediados y finales de primavera, y había poco viento al igual que poca entrada de agua de abastecimiento a la presa, esta concentración aumentó al comenzar la estación de verano, conforme se hacían más constantes e intensas las lluvias y vientos; el pH en época de primavera fué básico, debido a la desecación, y con la llegada de las lluvias disminuyó hasta ser neutro; la transparencia promedio resultó ser alta en primavera y decreció en verano, pues la intensidad de las lluvias provocó un movimiento importante de las partículas sólidas de sedimento de la presa, así como el abastecimiento de agua el cual traía ya muchas partículas, lo que provocó la poca visibilidad.

A lo largo de la fase experimental, se apreció una disparidad en tallas y pesos, aún habiendo sido uniformados inicialmente. De igual manera se observó que la mayoría de los peces tenían las aletas caudales rasgadas (mordidas). Ello propocionó indicios para pensar en una jerarquización y dominancia en las jaulas, donde aquellos peces de tallas mayores sometían a los pequeños, ganándoles el alimento y mordiénolos para auventarlos. Esto concuerda con lo encontrado por Klontz (1991), a cerca de la conducta territorial de la trucha arco-iris, aunque si bien no se encontraban en densidades altas, como en las manejadas por otros autores, se vió la conducta agresiva, que se relaciona con la competencia para capturar el alimento en un ambiente con una reducida visibilidad en la columna de agua. Este fenómeno de competencia y jerarquización por tamaños fué estudiado por Holm, *et al.* (1990) para esta especie; ellos mencionan que el comportamiento agresivo es densodependiente, y para compensar el número de agresiones aumentan la frecuencia de alimentación y con ello logran obtener una mayor tasa de crecimiento.

Durante lo 70 días de experimentación, sólo en la primera semana de cultivo hubo mortalidad en todos los tratamientos, que ascendió hasta un 6.6 %. Los peces fueron reemplazados inmediatamente por otros que presentaran tallas y pesos similares para evitar que hubiera variación y continuar con los promedios iniciales. A partir de la segunda semana, el porcentaje de sobrevivencia fué del 100 %. La mortalidad ocurrida en la primera semana se asocia a factores ajenos al sistema de cultivo, entre los cuales el más importante en este caso resultó ser el estrés debido al transporte, manipulación, cambio de habitat (Klontz, 1991).

En cuanto a los rendimientos promedio obtenidos para densidades de: - 20 indiv./m<sup>3</sup> en jaulas flotantes de 1m<sup>3</sup>, fué de 9.5 Kg/m<sup>3</sup>, con un peso de cosecha promedio de 237.25 g.; - para 35 indiv./m<sup>3</sup> el rendimiento fué de 6.86 Kg/m<sup>3</sup>, con una cosecha promedio de 196.11 g.; - y para densidades de 50 indiv./m<sup>3</sup> el rendimiento fué de 11.11 Kg/m<sup>3</sup>, con una cosecha promedio de 222.26 g..

Si interpolamos éstos rendimientos a la menor de las densidades, (20 indiv./m<sup>3</sup>), tendríamos:

- 20 individuos cultivados bajo densidades de 50 indiv./m<sup>3</sup>, tendrían un rendimiento de 4.4 Kg/m<sup>3</sup>;
- 20 individuos cultivados bajo densidades de 35 indiv./m<sup>3</sup>, tendrían un rendimiento de 3.92 Kg/m<sup>3</sup>;

Con lo anterior se confirma aún más que la densidad en la que se obtuvieron mejores rendimientos fué la de 20 indiv./m<sup>3</sup>.

Como punto de referencia para lo anterior, Jiménez (1995) proporciona los siguientes datos hallados para trucha cultivada en cuerpos de agua de México:

Autor	Tiempo experimental (días)	Densidad (indiv./m <sup>3</sup> )	Peso (g) cosecha	Rendimientos (Kg/m <sup>3</sup> )	Marca de Alimento
Marín, J.H. (1988) Puebla	180	36	160.00	5.80	Albamex
Zendejas y Olmos (1987) Veracruz	147	34	85.10	2.89	Gigante
Escobar y Jiménez (1988) Hidalgo	83	36	243.04	8.80	Pedregal
Jiménez (1985) Hidalgo	83	36	243.04	8.81	Pedregal

Como se puede observar, las densidades usadas por éstos autores son mayores a la obtenida como óptima en este trabajo; sin embargo, sus rendimientos resultan menores en comparación con los registrados para la densidad de 20 indiv./m<sup>3</sup>, y mayores en comparación con el rendimiento logrado para la densidad de 35 indiv./m<sup>3</sup>. Parte de estas diferencias se deben a la diferencia en tiempo, y por lo tanto, en condiciones físico-químicas y climáticas, en que se llevaron a cabo esos experimentos. Además también hay que considerar la proveniencia del lote de organismos que se sometieron a las condiciones de cultivo, el tipo de alimento y la talla de los peces al iniciar el

trabajo así como la talla que registraron al tiempo de cosecharse.

En lo referente a los costos de inversión, este sistema de cultivo resultó ser barato. Cabe mencionar que el costo podría disminuir, ya que los presentados en esta investigación fueron obtenidos a precio de menudeo y en ferreterías; si se comprara el material por mayoreo, es posible reducir los costos hasta en un 20-30 %.

A pesar de que el aluminio es un material costoso, tiene muchas ventajas sobre otros, pues ofrece gran resistencia, maleabilidad y durabilidad, en comparación con el fierro y el PVC, (que suelen oxidarse o quebrarse, respectivamente), y por lo tanto el gasto de mantenimiento del sistema se incrementa considerablemente a largo plazo.

Hay que considerar dentro de los costos, la adquisición de los ejemplares, los cuales para el presente estudio provinieron de una donación otorgada por la granja "Los Alevines". La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, dona ejemplares de trucha arco-iris en etapa de alevín realizando los trámites correspondientes, de otra manera, éstos pueden obtenerse en granjas particulares bajo cierto costo.

En cuanto a la rentabilidad económica del uso de las jaulas flotantes para esta especie, y en base a los resultados obtenidos, hay que pensar en el tipo de consumidor al que irá dirigida la producción: si se vende a consumidores de mercado, conviene considerar la venta por kilogramo de pescado; y si es para consumidores directos (i.e. restaurantes, hoteles, etc.) se debe pensar en vender por organismo. De manera que, para el primer tipo de consumidor, sería bueno obtener una cosecha con densidad baja pero con organismos pesados; y para el segundo tipo de consumidores, se recomienda obtener cosechas con individuos numerosos y ligeros, es decir, con densidades altas. Esto resultaría muy benéfico, considerando que en México la trucha es un producto suntuario que constituye un bien de consumo destinado a los estratos socioeconómicos más elevados de las grandes ciudades, al sector turístico, hotelero y restaurantes (Castillo, 1993), por lo que realizar cultivos de esta especie en cortos periodos de tiempo y con densidades elevadas, traería mayores beneficios monetarios para el piscicultor.

## CONCLUSIONES

De las densidades de trucha arco-iris probadas para el cultivo en jaulas flotantes de 1m<sup>3</sup> de capacidad, resultó ser mejor la de menor individuos, es decir, la densidad de 20 indiv./m<sup>3</sup>, para la fase de engorda de juveniles con un peso inicial de 95 - 115 g. Sin embargo, se sugiere ampliar la fase experimental para hacer más notoria la diferencia de crecimiento entre las densidades empleadas.

La mayoría de los parámetros físico-químicos registrados en la presa del Centro Acuícola El Zarco, D.F., resultaron ser aceptables para el cultivo de esta especie sobre todo en primavera, ya que en verano se degradó la transparencia promedio, lo que afectó la tasa de crecimiento de los organismos bajo cultivo, de igual forma influyó el FCA.

Para tratar de optimizar el alimento balanceado empleado se sugiere aumentar el número de frecuencia de alimentación diaria, conservando la ración recomendada por los fabricantes (3% diario de su biomasa).

Haciendo referencia al sistema de cultivo, se apreció que fué muy práctico, al grado de ser mantenido por una sola persona; además su introducción en cuerpos de agua pequeños resultaría ser conveniente. De la misma manera, con él se logró obtener una cosecha con talla comercial en un tiempo corto, el cual fué de 70 días.

Así mismo, resulta de gran ayuda el conocer que con densidades altas los costos de producción disminuyen, y que con densidades bajas los costos aumentan, como lo demostraron Papoutsoglou, et al. (1979, 1980).

Finalmente, este sistema de cultivo, que soporta una densidad de 20 indiv./m<sup>3</sup> en la presa del el Centro Acuícola El Zarco, D.F., resulta óptimo, obteniendo rendimientos altos y crecimiento rápido, sobre todo si se cultiva en primavera, cuando las temperaturas del agua se incrementan, así como la visibilidad gracias al nivel de luminosidad.

## BIBLIOGRAFIA

Archivo. 1995.(Documento interno). Evolución de la Acuicultura en el Edo. de México a partir de la construcción del Centro Acuícola el Zarco. Archivo de la Dirección General de Acuicultura.

Arredondo, F.J.L. .1983. Especies animales acuáticas de importancia nutricional introducidas en México. Biótica. 8(2): 175-199.

Austreng, E., T. Storebakken y T. Asgard. 1987. Growth rate estimates for cultured Atlantic Salmon and Rainbow Trout. Aquaculture, 60: 157-160.

Ayala, L. A. . et al. 1995. Introducción a la Oceanografía. Curso. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. U.N.A.M. México. 32pp.

Ayala, J.A.Z, y C.P. Pereida 1983. Aprovechamiento de la Infraestructura de Riego en Coacalco, Morelos, con fines de Piscicultura Intensiva. Tesis Licenciatura ENEP- U.N.A.M. México.

Barnabé, G. (ed.) 1990. Aquaculture. Vol 2. Ellis Horwood. England.

Beveridge. M. 1986. Piscicultura en jaulas y corrales. Modelo para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente. FAO Documento Técnico de Pesca (255): 100 pp.

Beveridge, M. 1991. Cage aquaculture. Fishing News Books. Great Britain. 351 pp.

Castillo, H.A. 1993. Situación de la truticultura en México. Trabajo final del IV seminario de titulación en el área de acuicultura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. División de Estudios Profesionales. U.N.A.M.. México. 69 p.

Coche, A.G. 1978. The cultivation of fish in cages. A bibliography . FAO Fish. Circ., (714): 43 .

Daniel, W.W. 1993. Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. UTHEA Noriega Editores. México. 667 p.

Dirección General de Acuicultura. 1991. Estudio para la regularización de los bienes e inmuebles y para la regularización de la situación jurídica-administrativa de la tenencia de la tierra y de la concesión de uso del agua de los centros acuícolas propiedad de la Secretaría de Pesca. Dirección de Centros Acuícolas e Ingeniería. Subdirección de Centros Acuícolas. Planos de

conjunto, uso y estado físico de las instalaciones. Acuacorp. Consultoría y servicio en Pesca y Acuacultura. División de Acuacultura, México. 21 pp.

Drummond, S.S. 1988. Cría de la trucha. Acribia, S.A. España. 180 pp.

Espinosa, P. , D.M.T. Gaspar, . y M.P. Fuentes. 1993. Listados Faunísticos de México. III. Los Peces dulceacuicolas mexicanos. Inst. Biol. U.N.A.M. México. 99 pp.

Grayton, B. D. y F. W. H. Beamish. 1977. Effects of feeding frequency on food intake, growth and body composition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aquaculture, 11: 159-172.

Hokanson, K.E.F. , C.F. Kleiner y T.W. Thorland. 1977. Effect of constant temperature and diel fluctuation on growth, mortality, and yield of juvenile rainbow trout, *Salmo gairdneri* (Richardson). J. Fish. Board Can. 34 : 639-648.

Holm, J. Chr., T. Refstie y S. Bo. 1990. The effect of fish density and feeding regimes on individual growth rate and mortality in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 89: 225-232.

Huet, M. 1975. Textbook of fish culture. Breeding and cultivation of fish. Fishing News Books. Great Britain. 436 p.

INEGI. Atlas Climático de la Ciudad de México (Edic. 1992) En: Cuadeno de información Básica Delegacional .

INEGI. Carta Topográfica esc. 1:50,000. 1985. (Ed. 1992). Atlas Nacional del Medio Físico 1981. Cartografía censal 1990.. En: Cuaderno de Información Básica Delegacional.

Jiménez, V. A. P. 1995. Evaluación de la calidad nutricional de los alimentos comerciales para la engorda de trucha arco-iris (*O. mykiss*) en jaulas flotantes en la presa de Sta. Ana Tzacuala, Hgo. Tesis Lic. Fac. de Estudios Superiores Zaragoza. U.N.A.M. México. 69 pp.

Klontz, G. W. 1991. Producción de trucha arco-iris en granjas familiares. El Pedregal. Silver Cup. Alimentos Balanceados. Departamento de Pesquerías y Recursos de Vida Salvaje. Universidad de Idaho, Moscow, Idaho. México. 88 pp.

Kuri-Nivón, E.. 1980. Determinación del factor de condición múltiple (KM); en: El factor de condición múltiple y el factor de conversión de alimentos. Manuales técnicos de acuacultura. Departamento de Pesca. 1(1):11-21.

Kuri-Nivón, E.. 1980. Determinación del factor de conversión de alimentos (FCA); en: El factor de condición múltiple y el factor de conversión de alimentos. Manuales técnicos de acuicultura. Departamento de Pesca. 1(1):22-34.

Laird, L. y T. Needham. 1988. Salmon and trout farming. Halsted Press: a division of John Wiley & Sons. England. 271 pp.

Merola, N. y J.H. De Souza. 1988. Preliminary studies on the culture of the Pacu, *Colossoma mitrei*, in floatin cages: effect of stocking density and feeding rate on growth performance. Aquaculture, 68: 243-248.

Nelson, J.S.. 1994. Fishes of the world. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A.. 600 pp.

Papoutsoglou, S. E. y E. Papapaskeva-Papoutsoglou. 1978. Comparative studies on body composition of rainbow trout (*S. gairdneri*, Rich.) in relation to type of diet and growth rate. Aquaculture, 13: 235-243.

Papoutsoglou, S. E., E. Papapaskeva-Papoutsoglou y P. K. Dendrinou. 1979. Studies on the effect of density on body composition, growth rate and survival of rainbow trout fry, reared in semiclosed system. Thalassographica, 3(1): 43-56.

Papoutsoglou, S. E., E. Papapaskeva-Papoutsoglou y M. N. Alexis. 1980. Rainbow trout growth and production in relation to water volume unit. Thalassographica, 2(3): 43-52.

Papoutsoglou, S. E., E. Papapaskeva-Papoutsoglou y M. N. Alexis. 1987. Effect of density on growth rate production of rainbow trout (*Salmo gairdneri*, Rich.) over a full rearing period. Aquaculture, 66: 9-17.

Pillay, T.V.R.. 1990. Aquaculture . Principles and practices. Fishing News Books. Great Britain. 575 p.

Pineda, G. J. de J. 1995. Descripción y análisis del método para la producción de huevos y crías en el Centro Acuicola El Zarco. Tesis Licenciatura. M.V.Z. U.N.A.M. México. 28 pp.

Rodríguez, M.E. . 1982. Fernando Obregón y la Piscicultura en México. Secretaría de Pesca. México. 84 pp.

SEPESCA. 1981. Jaulas flotantes. Dirección General de Acuicultura. Departamento de Pesca. México. 16 pp.

Secretaría de Pesca. 1994. Desarrollo científico y tecnológico para el cultivo de

Pargo (*Lutjanus* sp) en jaulas flotantes. Subsecretaría de Fomento y Desarrollo Pesquero. Dirección General de Acuacultura. Convenio SEPESCA / IAES. México. 85 pp.

Shepherd, C.J. y N.R. Bromage, Ed. 1990. Intensive fish farming. B.S.P. Professional Books. Great Britain. 404 pp.

Smith, G.R. y R.F. Stearley. 1988. The classification and scientific names of rainbow and cutthroat trouts. Fisheries, 14(1): 4-10.

Stevenson, J. P.. 1985. Manual de cría de la trucha. Acribia, S. A.. España. 140 pp.

Trzebiatowski, R., J. Filipiak y R. Jakubowski. 1981. Effect of stock density on growth and survival of rainbow trout (*Salmo gairdneri*, Rich.). Aquaculture, 22: 289-295.

Turli, P. 1970. Cultivo de la trucha. Acribia, S.A. España. 90 p.

Vázquez, H. M. y Q. S. Avilés. 1987. Guía práctica de elaboración de dietas balanceadas para trucha arco-iris. Secretaría de Pesca. Dirección General de Acuacultura. Pachuca, Hgo..México. 48 pp.

Velázquez, E.M.A.. 1988. Las truchas. Sinopsis biotécnica del cultivo de las especies. Secretaría de Pesca. Dirección General de Acuacultura. 3 p.

Velázquez, E. y H. Espinosa. 1989. Diagnosís del estado actual del cultivo de la trucha arco-iris de México. Secretaría de Pesca. México. 73 pp.

Weatherley, A.H.; H.S. Gill. 1987. The biology of fish growth. Academic Press. London. 443 pp.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**