

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

Tesis

Harina de linaza (*Linum usitatissimum*) como sustituto de harina de pescado para reducir descargas de fósforo y nitrógeno en aguas residuales en cultivos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*)

Autor: Barajas de la Cruz Alberto

Domicilio: calle Gral. Ignacio Allende, # 7-A, col. Los Cuartos Constitución, c.p. 53670, Naucalpan de Juárez, Estado de México.

Teléfono: 26 18 10 73

Número de cuenta: 09904476-3

Correo electrónico: albache7a@yahoo.com.mx

Omar Ángeles López

Director de tesis



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

DEDICATORIA

En el sopor de este momento secular para coronar este florilegio científico, escribe estas palabras este mercachifle en quienes ustedes viven..... y que además de gamberradas, no sabe decir más que: GRACIAS.

Este trabajo está dedicado principalmente a mi mamá Lourdes de la Cruz Hernández y a mi papá Honorato Barajas Cruz; de sangre P'urhépecha (de quienes me adueño su pasado y me siento muy orgulloso de ser su hijo), quienes a pesar de todo me han alentado con su amor, su cariño, su atención y, más que con sus palabras con sus acciones que es lo que importa; a ellos que con todo lo que me han dado me tienen en este suceso visceral.

GRACIAS mil veces más.

Iméri Uájpa. Dios Meiámpini

A mis hermanos: Edgar, Miriam y Sergio, por los buenos y malos momentos que hemos vivido. Saben que cuentan conmigo.

Iméri Eráchi

A mi amiga Isabel, donde quiera que estés, tu amigo Chema (alias Alberto).

A Rocío, Martha, Andrés, Petit (alias Fernando), Occiso (alias Víctor Julián), Hugo, Mario, Josué, Anaíd, Julieta, Liliana, Susana, Carlos, Zaida, Mónica, Rafael, Gerardo, Rex (alias Angélica), Adriana. A mis nuevos compañeros y amigos Anel y Santiago.

GRACIAS a todos por estar conmigo cuando los necesité, por ayudarme y, alguna vez sin esperarlo hacerme sentir mejor cuando bien no estaba, ya sabes. Arrieros somos.....

Iméri P'ichpiri

AGRADECIMIENTOS

A mi sinodal el M. en C. Mario Alfredo Fernández Araiza, por su forma diferente de enseñanza, por orientarme a cada momento que se le solicitaba y compartir más de lo que se tenía duda, por ayudarme a mejorar mis características profesionales para ser un buen biólogo..... por los momentos gratos dentro y fuera del laboratorio.

A mi director de tesis el biólogo Omar Ángeles López y a mi sinodal el Dr. Luis Héctor Hernández Hernández, quienes desde un principio me apoyaron en la elaboración y conclusión de mi tesis, por su apoyo y sus comentarios.

A mis sinodales la M. en C. Teresa Ramírez Pérez y a el M. En C. Ángel Duran Díaz por su disposición en la mejoría de la tesis y por sus observaciones.

A todos los buenos maestros que durante mi estancia en la universidad me apoyaron y orientaron con sus conocimientos y colaboraron para mi desarrollo profesional.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, que dicen es nuestra segunda casa y que, en mí ha sido por momentos la primera; sin Sábados y Domingos, sin días de la semana, sin fin de año, con tristezas y alegrías y, más que nada con aprendizajes.

A TODOS, MUCHAS GRACIAS POR TODO

ÍNDICE

1.- RESUMEN	1
2.- INTRODUCCIÓN	2
2.1.- La Acuicultura en el mundo.....	2
2.2.- La Acuicultura en México y La Trucha.....	3
2.3.- La Trucha y su Alimentación.....	3
2.4.- Problemática de la Contaminación.....	3
2.5.- Linaza (<i>Linum usitatissimum L.</i>).....	4
3.- ANTECEDENTES.....	5
4.- JUSTIFICACIÓN	8
5.- OBJETIVOS	9
6.- MATERIALES Y METODOS	10
6.1.- Obtención de peces	10
6.2.- Formulación y elaboración de dietas	10
6.3.- Condiciones Experimentales.....	12
6.4.- Pruebas de Alimentación y Recolección de Heces	13
6.5.- Determinación del consumo de oxígeno y la excreción de fósforo y nitrógeno	14
6.6.- Evaluación del crecimiento (en gramos) y determinación del coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de la proteína	14
6.7.- Análisis Estadístico de los resultados	16
7.- RESULTADOS	17
7.1.- Consumo de oxígeno y producción de fósforo y nitrógeno	17
7.2.- Crecimiento y Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de la proteína	20
8.- DISCUSIÓN	25
8.1.- Consumo de O ₂ , Producción de NH ₃ y PO ₄	25
8.2.- Crecimiento	27
8.3.- Digestibilidad	29
9.- CONCLUSIONES	31
10.- REFERENCIAS	33
ANEXO 1	39
ANEXO 2	40
ANEXO 3	43
ANEXO 4	46

1.- RESUMEN

Con el objeto de determinar el efecto de la harina de linaza en el crecimiento y la excreción de Fosforo (P) y Nitrógeno (N) de juveniles de trucha arco iris, se probaron tres dietas experimentales preparadas con 5 %, 10 % y 15 % de inclusión de harina de linaza mas una dieta control de 100 % de harina de pescado y una dieta comercial de referencia marca Malta Cleyton. Se trabajaron cinco grupos experimentales de 15 juveniles de trucha con un peso inicial de $4.1 \text{ g} \pm 0.5 \text{ g}$, los cuales fueron alimentados durante cincuenta días con una ración diaria de 7 % de la biomasa y temperatura ambiente de $14 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$. Al final del periodo experimental fue evaluado el crecimiento, la excreción de N (como NH_3^-) y P (como PO_4^-).

Los resultados en el crecimiento de las truchas no muestran diferencias significativas entre ellos, sin embargo, los valores observados para las truchas alimentadas con harina de linaza fueron ligeramente mas altos que los peces alimentados con las dietas control y comercial. De acuerdo a los valores de excreción de N, se encontró que los peces alimentados con las dietas con inclusión de 10 % y 15 % de harina de linaza redujeron significativamente la excreción de NH_3 comparados con las dietas control y comercial. De igual manera, estas inclusiones redujeron significativamente la producción de PO_4 comparado con la dieta de harina de pescado y no presentaron diferencias significativas con la dieta comercial. Podemos concluir que la mejor dieta que logra un menor consumo de oxígeno, disminuir la producción de fósforo y nitrógeno, además de resultados satisfactorios en el crecimiento es la dieta con sustitución de 10 % de harina de pescado por harina de linaza.

2.- INTRODUCCIÓN

2.1.- La Acuicultura en el mundo

El objetivo de la acuicultura como una actividad intensiva es coadyuvar a satisfacer la demanda mundial de proteína animal a través del cultivo de organismos acuáticos. Proporciona además fuentes de empleo y en el caso de especies de alto valor comercial, ganancias en divisas para los países productores (Martínez, 1999).

En el 2006, se consumieron en el mundo 110.4 millones de toneladas de pescado, de las cuales 51.7 toneladas provenían de la acuicultura. Sin embargo, hay señales de que en las últimas tres décadas está empezando a disminuir la velocidad de crecimiento del sector acuícola. Este sector mantuvo una tasa de crecimiento anual del 11.8 por ciento entre 1985 y 1995 y disminuyó a un 7.1 por ciento durante la década siguiente y a un 6.1 por ciento entre 2004 y 2006. (www.fao.org, 1).

En el 2008 la ONU advierte de la necesidad de abordar una serie de problemas emergentes para que la acuicultura desarrolle todo su potencial, ya que, esta actividad está ante nuevos desafíos como son; la capacidad del sector para satisfacer la futura demanda mundial de pescado y al mismo tiempo asegurar la protección del consumidor, preservar la integridad del medio ambiente y conseguir la responsabilidad social. (www.fao.org, 1)

La situación es que la mayoría de los peces cultivados consumidos en los países en desarrollo, son herbívoros u omnívoros; pero especies como el salmón o el camarón, necesitan de harina de pescado, para comer; para ello en 2006, la acuicultura consumió 3.06 millones de toneladas (56%) de la producción mundial de harina de pescado, al mismo tiempo que su producción ha permanecido estancada en la última década, y según la FAO, no se esperan aumentos significativos. Al mismo tiempo, el volumen de harina y de aceite de pescado utilizado en alimentos compuestos para la acuicultura se ha triplicado entre 1996 y 2006. Esto ha sido posible gracias a la fuerte disminución de la dependencia del sector avícola de la harina de pescado como alimento para aves de corral (www.fao.org, 1).

Por otra parte cada vez se están utilizando más alimentos compuestos para la alimentación sin filtros de peces omnívoros como las carpas, y por tanto está aumentando la necesidad de harinas de pescado. (www.fao.org, 1)

2.2.- La Acuicultura en México y La Trucha

La producción acuícola global en México está representada por especies dulceacuícolas y marinas entre las que destacan la tilapia, carpa, trucha, bagre, ostión y camarón; en el caso particular de la trucha, la producción en el año 2006 fue de 4.834 toneladas (SEMARNAT, 2006), observándose un aumento en las unidades de producción de trucha, comparado por ejemplo con la producción del año 2003 que fue de 3.734 toneladas (CONAPESCA, 2003).

2.3.- La Trucha y su Alimentación

El principio de la alimentación y nutrición para la producción de la trucha arco iris inicia desde el conocimiento de sus hábitos alimenticios, ya que en el medio natural, los invertebrados constituyen la base del alimento de la trucha (*Oncorhynchus mykiss*), los que contiene entre 37 % y 66 % de proteínas, 9 % a 33 % de lípidos, 3 % a 28 % de minerales y el resto está constituido por carbohidratos. Estas composiciones indican claramente las necesidades alimenticias de las truchas. Sin embargo en los sistemas de cultivo intensivo es necesario incorporar al alimento elaborado los nutrientes indispensables (Barnabè, 1989), de los que se pueden destacar el Fósforo (P), por su importancia como macro-elemento esencial requerido para; el crecimiento, mineralización de los huesos, reproducción, síntesis de ácido nucleicos, es parte de las estructuras de los fosfolípidos e importante para el metabolismo de la energía en los peces. (Orhan *et al*, 2006); y el Nitrógeno (N), ya que constituyen el grueso del tejido muscular, órganos internos, cerebro, nervios y piel (www.fao.org, 1), y son utilizados por varios tejidos para la síntesis de nuevas proteínas durante el crecimiento y la reproducción ó el remplazamiento de proteínas existentes (mantenimiento) (Halver, 2002); para la formación de hormonas, enzimas y una variedad muy amplia de otras sustancias biológicamente importantes, tales como los anticuerpos y hemoglobina (www.fao.org, 1)

2.4.- La Problemática de la Contaminación

La acuicultura se visualizó como una actividad no contaminante durante sus primeras etapas de desarrollo. Sin embargo, con la rápida expansión e intensificación de la industria, hay una creciente preocupación sobre la sustentabilidad a largo plazo de la acuicultura en relación a su impacto ambiental (ejemplo: las descargas de los efluentes), y el desarrollo de políticas ambientales (Velasco, 1999); y es que se ha observado un problema con muchos de los alimentos utilizados en la acuicultura, como la harina de pescado, que al no ser asimilados en su totalidad producen sustancias de desecho, que alteran las condiciones ambientales cuando son vertidos al medio (Orhan *et al*, 2006), estos tienen efectos directos en los efluentes de los ríos, donde las piscifactorías

descargan sus desechos, provocando un incremento de la turbidez del agua, una disminución de la cantidad de oxígeno disuelto y un incremento en la temperatura (Drummond, 1988).

En los efluentes de agua de descarga de las operaciones de acuicultura, el Nitrógeno y el Fósforo han sido considerados como dos de los más importantes agentes contaminantes del medio natural. La introducción del Nitrógeno es de particular preocupación porque es generalmente un nutriente limitante en los ecosistemas marinos (Velasco, 1999), también pueden resultar muy tóxicos para los seres vivos, tanto plantas como animales debido a la presencia de estos elementos en forma de amoníaco, nitritos y nitratos, fosfatos y dióxido de carbono. Además pueden contaminar el ambiente por liberación de microorganismos responsables de enfermedades en los peces (Drummond, 1988).

Así pues, como los alimentos se han identificado como la principal fuente de éstos elementos en los efluentes de acuicultura (Flimlin, 2003), debe realizarse investigación para optimizar los niveles de proteína dietaria (aminoácidos esenciales) y de fósforo para obtener buena sobrevivencia y crecimiento y al mismo tiempo minimizar la descarga de Nitrógeno y Fósforo en el agua. (Velasco, 1999)

Por lo anterior, se han realizado esfuerzos por optimizar los métodos de alimentación y por buscar fuentes alternas de proteínas convencionales y no convencionales derivadas de productos vegetales, subproductos de la agricultura, ganadería y de la industria, que tiendan a ser amigables con el medio ambiente.

2.5.- Linaza (*Linum usitatissimum L.*)

Los subproductos de semillas oleaginosas son las proteínas vegetales más ampliamente utilizadas en la alimentación animal por su alto contenido de proteína, su amplia disponibilidad (Taylor y Berk, 1981) y su costo generalmente menor al de la harina de pescado (Thiessen, 2004). La ventaja de las oleaginosas radica en su utilización para obtener aceites, y la pasta derivada de ese proceso incrementa su valor proteico porcentual en base al peso seco, y en consecuencia su uso para la acuicultura resulta adecuado. (Martínez, 1999)

La semilla entera de linaza que es rica en aceite, es un ingrediente de concentrado energético, que ha sido utilizado para la alimentación de rumiantes y cerdos; esta constituye un buen suplemento proteico cuando se utiliza junto con harina de pescado, leche desnatada u otros subproductos de origen animal (www.fao.org, 1).

3.- ANTECEDENTES

En relación a la sustitución y uso de harinas de origen vegetal en la acuicultura se tiene la siguiente información:

Carter y Hauler (2000), encontraron que las harinas de soya y lupino son un importante recurso de proteína para reemplazar la harina de pescado en alimento para Salmón del Atlántico (*Salmo salar* L), ya que en los reemplazamientos tratados (25 % y 33 %), no se encontraron diferencias en la ganancia en peso entre la dieta control y los alimentos con proteína vegetal.

Usmani y Jafri (2002), evaluaron la utilización de la proteína de pescado y de soya por pez gato (*Heteropneustes fossilis*) a 18 °C, 28 °C y 38 °C en la temperatura del agua, observando que el máximo aprovechamiento de la proteína ocurre a los 28°C.

También Regost *et al.* (2003), observaron que es posible el reemplazamiento total de aceite de pescado por aceites vegetales como soya ó linaza, sin un impacto significativo en el crecimiento de rodaballo (*Psetta máxima*).

El-Saidy y Gaber (2003), basados en su estudio de reemplazamiento parcial de harina de pescado por mezcla de harinas de soya, algodón, girasol y linaza, indica que estas pueden sustituirse hasta en un 75 % sin encontrar diferencias en el coeficiente de digestibilidad aparente en la dieta para Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Fontáinhas *et al.* (2004), no encontraron diferencias significativas en el crecimiento de Tilapia (*Oreochromis niloticus*), alimentadas con harinas de soya, guisantes y lupino, lo cual sugiere un reemplazamiento parcial de harina de pescado por proteínas vegetales sin efectos negativos en la ganancia en peso.

Referente a las pruebas de alimentación con proteína vegetal en Trucha arco iris se han hecho varios trabajos:

Gomes *et al.* (1995), encontraron que las proteínas de soya ó maíz, pueden reemplazar a la harina de pescado en un 66% en dietas para trucha arcoiris (*Oncorhynchus-mykiss*) sin efectos negativos que se hayan demostrado en la ganancia en peso y tasa de conversión del alimento.

Burel *et al.* (1998), incorporaron Lupino (*Lupinus albus*) en dietas para trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), lo cual condujo a una alta retención de fósforo y una baja excreción del mismo; sin embargo la digestibilidad de la materia seca y la energía fueron bajas.

Green *et al.* (2000), evaluaron la excreción de P en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), con una dieta de harina de sangre, soya y gluten de maíz y encuentran que una disminución de 50 % a 20 % de harina de pescado conduce a un aumento en la disponibilidad de P.

Médale *et al.* (1998), encontraron que las pérdidas de N en forma de NH₃ y Urea se incrementan en trucha (*Oncorhynchus mykiss*), con dietas con concentrado de proteína de soya (CPS), cuando se incrementa la cantidad de CPS en la dieta.

Palmegiano *et al.* (2006), encontraron que el concentrado de proteína de arroz puede ser incorporado hasta en un 20% en la dieta para trucha arco iris, sin sobrepasar esta cantidad ya que puede resultar en un bajo coeficiente de digestibilidad, lo cual se reflejaría en el crecimiento del pescado.

McCallum *et al.* (2000), trabajando con trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), observan que el uso de alverjón cocido puede reemplazar a la soya en 50.2 %, mejorando los valores de digestibilidad, consumo de dieta y tasa de conversión del alimento.

En lo que concierne al uso de harina de linaza en dietas para nutrición de peces:

Mukhopadhyay y Rar (2001), señalan que la proteína de harina de linaza puede sustituir en un 50 % a la proteína de harina de pescado en dietas para rohu (*Labeo rohita*), si la harina de linaza es apropiadamente procesada (fermentada) y suplementada con aminoácidos.

Hasan *et al.* (1997), evaluaron la harina de linaza en dietas para carpa (*Cyprinus carpio* L.) en una inclusión de 25 % y 50 %, no encontrando diferencias significativas en el crecimiento y la tasa de conversión del alimento, entre la dieta de harina de pescado y la dieta con 25 % de linaza.

Thiessen (2004), utilizó la harina de chícharo, canola y linaza y encontró que estos ingredientes pueden ser altamente valiosos para la formulación de dietas para trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), dado su bajo costo y por no comprometer el rendimiento de los peces.

Tibbetts *et al* (2006), utilizó aceite de linaza en dietas para bacalao del atlántico (*Gadus morhua*), encontrando bajos valores de digestibilidad de 50.2 a 55.0%, comparado con los valores para gluten de 99.9 % o soya con 98.6 %.

Hossain *et al.* (1997), evaluaron los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de proteínas vegetales y animales en rohu (*Labeo rohita*), encontrando un CDA para la linaza de 81.55 %.

4.- JUSTIFICACIÓN

Existen numerosos trabajos que han demostrado que el uso de harinas de origen vegetal pueden sustituir a la harina de pescado en dietas balanceadas para peces en cultivo; por ejemplo ha sido utilizada en la experimentación con dietas de Tilapia (*Oreochromis niloticus*), trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y otros peces, mezclándola con otras semillas, arrojando resultados satisfactorios en la mayoría de los casos.

Así pues, es de suma importancia realizar esfuerzos para avanzar en la búsqueda de fuentes alternativas de proteína, convencionales y no convencionales derivadas de productos vegetales, subproductos de la agricultura, ganadería e industria; así como para mejorar la eficiencia en el empleo de dietas que tiendan a ser amigables con el ambiente; para lo cual, el bajo costo y la disponibilidad hacen de la harina de linaza una opción que permita además de reducir las descargas de Fósforo y Nitrógeno y con ello atenuar el impacto ambiental que provocan las granjas piscicultoras, además de disminuir los costos de producción del alimento al ser comparativamente más baratos que las harinas de pescado.

5.- OBJETIVOS

General:

- Evaluar el efecto de la sustitución de harina de pescado por harina de linaza en el crecimiento y excreción de Fósforo y Nitrógeno en dietas para juveniles de trucha arco iris.

Particulares:

- ✚ Cuantificar el consumo de oxígeno de la trucha arco iris después de ser alimentadas con las dietas experimentales.
- ✚ Evaluar la excreción de fósforo y nitrógeno de la trucha arco iris en el agua en relación al grado de reemplazamiento de las harinas.
- ✚ Evaluar el efecto de dietas con harina de linaza en el crecimiento de juveniles de trucha arco iris.
- ✚ Evaluar el efecto de la sustitución de harina de pescado por harina de linaza sobre la tasa de eficiencia de la proteína en trucha arco iris.
- ✚ Evaluar el efecto de la sustitución de harina de pescado por harina de linaza en la digestibilidad de la proteína en trucha arco iris.
- ✚ Determinar el porcentaje de reemplazamiento óptimo de la harina de pescado por harina de linaza para el crecimiento de trucha arco iris.

6.- MATERIALES Y METODOS

6.1.- Obtención de peces

Las crías de trucha arco iris con 2 meses de edad se obtuvieron de la granja trutícola Feshi en el municipio de Amanalco Estado de México, estas fueron transportadas dentro de bolsas de plástico sobre una cama de hielo con la finalidad de mantenerlos a una temperatura aproximada de 5 °C hasta llegar a las instalaciones del laboratorio de cultivos acuícolas de la FES Iztacala, en donde se colocaron en tinas de 1000 l para su aclimatación durante 20 días en condiciones de aireación constante y temperatura ambiente. Durante el tiempo de aclimatación a las truchas se les alimentó con alimento comercial marca Malta Cleyton.

6.2.- Formulación y elaboración de dietas

Se obtuvo harina de linaza y previo a la formulación de las dietas, se determinó su composición nutricional en un laboratorio químico comercial (Anexo 1), de donde se observó que la proporción de Lípidos (28.54%) es alta comparada con la de Proteína (19.68%)(Nx6.25).

Con base en la composición proximal de la linaza, se decidió quitar los lípidos de la harina (Fig. 1), para elevar, proporcionalmente la concentración de proteína hasta un 30 %, utilizando un equipo Soxhlet y éter de petróleo (www.fao.org, 3)



Figura 1.- Aspecto de la harina de linaza con lípidos (izquierda) y harina de linaza después de extraer los lípidos con el equipo soxhlet.

La formulación de las dietas se realizó con base a los requerimientos nutricionales reportados para la trucha arco iris por National Research Council (NRC, 1993) y Hardy (2002). Se formularon tres dietas balanceadas, basadas en el remplazamiento parcial de harina de pescado por harina de linaza en un grado de inclusión de 5 %, 10 % y 15% respectivamente (Tabla 1). Además se utilizó una dieta comercial de referencia marca Malta Cleyton con 50 % de proteína.

Tabla 1: Formulación para preparar 1 kg de dieta

Ingrediente (g/kg)	Sustitución 5%	Sustitución 10%	Sustitución 15 %	Control Harina de Pescado (HP)
	(Lin-5)	(Lin-10)	(Lin-15)	
Harina de pescado (HP)	575	500	525	600
harina de linaza (HL)	50	100	150	0
Aceite	50	50	50	50
Lecitina se soya	50	50	50	50
Mezcla de vit. y min.	40	40	40	40
Dextrina	100	100	100	100
Gluten	50	50	50	50
Celulosa	85	110	35	110

Los ingredientes sólidos de las dietas fueron pesados en una balanza digital y posteriormente homogenizados en una batidora Hamilton Beach (modelo 63220), en donde poco a poco se fueron agregando igualmente pesados; el aceite de pescado, lecitina de soya y finalmente agua, hasta obtener una masa homogénea y maleable.

Posteriormente la extrusión se llevo a cabo en un molino para carne marca Nixtamatic, hasta obtener partículas (pellets) fácilmente manejables y que se mantenían compactas (fig. 2).

El secado de los pellets se efectuó en un horno seco a 60° C durante 24 horas.



Figura 2.- Dietas experimentales con harina de linaza, inclusión de 5, 10 y 15% (de izquierda a derecha).

Ya seco el alimento, se trituró hasta obtener partículas más pequeñas para facilitar su consumo por parte de las crías y se mantuvo en refrigeración durante todo el tiempo que duro la experimentación.

6.3.- Condiciones Experimentales

Una vez aclimatadas las truchas, se distribuyeron aleatoriamente peces con una biomasa inicial de $4.1 \text{ g} \pm 0.5 \text{ g}$ por pez, en una densidad de 15 peces por tanque, de tal forma que se tienen 5 tratamientos con tres repeticiones cada uno.

El experimento se llevo a cabo en un sistema de recirculación (fig. 3), con tanques de 100 l, una bomba de 0.85 HP, y un filtro mecánico-biológico. Durante los 50 días que duró la experimentación, a las truchas se les alimentó con alimento pelletizado, en una ración diaria de 7 % de la biomasa de cada tanque, dividida en dos comidas, la primera a las 8 hrs y la segunda a las 14 hrs, en condiciones de aireación constante, flujo de agua de 1.5 l/min., fotoperiodo natural y temperatura ambiente de $14 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$.



Figura 3.- Sistema de recirculación donde se llevaron a cabo las pruebas de alimentación de las truchas.

6.4.- Pruebas de Alimentación y Recolección de Heces

Para limpiar el tracto digestivo de las truchas, los organismos se sometieron a 24 horas de ayuno antes de iniciar las pruebas de alimentación.

Dado que el pellet elaborado no flotaba y, con el objeto de minimizar el estrés a los peces al momento de la alimentación y recolección de los residuos del alimento se optó por ofrecer manualmente el alimento, hasta la saciedad, de manera controlada y evitando lo más posible las pérdidas. Por medio de la observación del comportamiento de los peces, se tomaron en cuenta indicadores visuales como son; poca actividad en la superficie, natación profunda, baja actividad predadora, jugueteo con el alimento y consumo nulo, para determinar el momento en el que se suspendía la alimentación. Después se procedió a pesar el alimento restante seco no consumido, restando este dato a la cantidad ingerida para saber el consumo de cada comida.

La colecta de heces fue de forma manual por medio de un sifón, evitando meter la mano en exceso para evitar el estrés de las truchas; se filtraron las heces, se les enjuagó con agua destilada y se mantuvieron en congelación para su posterior secado y análisis.

6.5.- Determinación del consumo de oxígeno y la excreción de fósforo y nitrógeno

Se determinó la excreción de Fósforo en forma de fosfato (PO_4) y Nitrógeno en forma de (NH_3), para lo cual, se evaluaron 10 organismos de cada tratamiento; después de haber sido alimentados normalmente cada uno fue colocado en un cámara respirométrica durante 40 minutos (Fig. 4), después de los cuales se tomaron 50 ml de muestra de agua por cámara para medir las concentraciones de producción de nitrógeno amoniacal, excreción de fósforo (con ayuda del espectrofotómetro Hach DR-2000); y el oxígeno (por medio de un oxímetro YSI 85-10-FT), fue evaluado antes y después de los 40 minutos para evaluar el consumo por las truchas. Esta prueba también se llevó a cabo en estado basal (inanición); para este fin se mantuvieron 24 horas en ayuno y se siguió el mismo procedimiento.



Figura 4.- Peces dentro del respirómetro para la evaluación de consumo de O_2 , producción de NH_3 y PO_4 .

6.6.- Evaluación del crecimiento (en gramos) y determinación del Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de la proteína.

Para la evaluación de estos índices se pesaron con una balanza digital a todos los peces cada 10 días. Para obtener la biomasa total de cada tanque se utilizó una red seca y se les colocó en un recipiente con agua y peso conocido.

Los parámetros evaluados en la presente investigación se determinaron tomando en cuenta toda la biomasa por repetición; sin embargo, los datos aquí obtenidos son presentados por pez, para lo cual fueron necesarias las siguientes formulas:

Ganancia en peso (GP) (g)

$$GP (g) = [PF (\text{Peso Final, g}) - PI (\text{Peso inicial, g})]$$

Tasa de crecimiento específico (TCE)

$$TCE (\%) = [(\ln \text{Peso Final} - \ln \text{Peso inicial}) / \text{Numero de días de alimentación}] * 100$$

Consumo de dieta (CD)

$$CD (g) = \text{Alimento total consumido en base seca (g) / pez/día (g)}$$

Tasa de conversión de alimento (TCA)

$$TCA = [\text{Comida tota suministrada MS (materia seca, g) / GP (Ganancia en peso, g)}]$$

Tasa de eficiencia de la proteína (TEP)

$$REP = GP (g) / \text{Consumo de proteína (g)}.$$

Para evaluar los Coeficientes de Digestibilidad Aparente (CDA) de la proteína, se utilizó el método indirecto reportado por Furukawa y Tsukahara en 1966 (www.fao.org, 3), para lo cual, a las dietas en su preparación se les añadió 0.7 % del marcador inerte óxido de cromo (Cr₂O₃).

Con este fin, los peces fueron alimentados normalmente y 30 minutos después se colectaron las heces de la forma ya mencionada. Para la determinación de este parámetro se utilizó la siguiente fórmula:

$$CDA (\%) = 100 - [(\% IA / \% IH) * (\% NH / \% NA) * 100]$$

Donde:

IA=indicador en el alimento

IH indicador en las heces

NH=nutrimento en heces

NA=nutrimento en el alimento

6.7.- Análisis Estadístico de los resultados

Los datos de CDA, TEP, TCA, CD, TCE, GP (en gramos y porcentaje), Consumo de oxígeno y Producción de amonio, fósforo y se sometieron a análisis de varianza de una vía (ANDEVA) y las diferencias entre medias se comparo mediante la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%. Para el análisis, se utilizo el programa estadístico SPSS 10.0 para Windows.

7.- RESULTADOS

Durante los 50 días de experimentación, todas las dietas experimentales fueron bien aceptadas por los peces. La sobrevivencia se muestra a continuación:

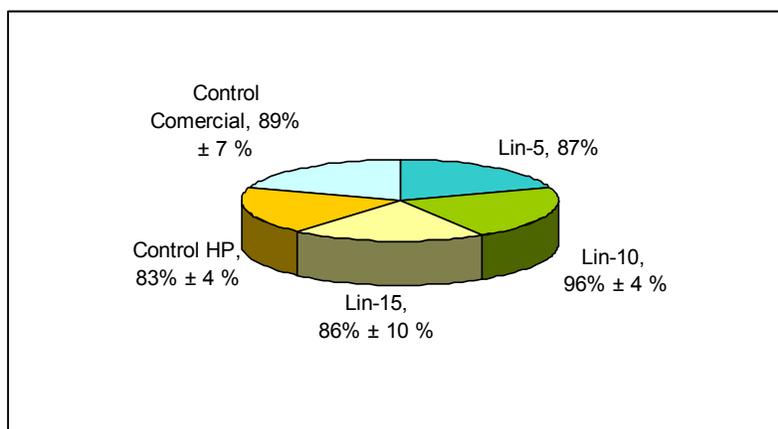


Figura 5.- Sobrevivencia de juveniles después al final de la experimentación.

La mortalidad sucedida (solo al principio de la experimentación) no se le atribuye a las dietas. No se presentó ningún signo visible de enfermedad, en cuanto a morfología, características externas y/o comportamiento.

7.1.- Consumo de oxígeno y producción de fósforo y nitrógeno

Los peces alimentados con la dieta de sustitución a 10 % de linaza, consumieron significativamente menos oxígeno que los peces alimentados con las dietas Comercial, Lin-5, Lin-15 y HP ($F=9.775, P=.000$) (Fig. 6); de forma opuesta, el mayor consumo fue observado en las dietas control HP y sustitución a Lin-5. También se presentaron diferencias significativas en el menor consumo de O_2 de la dieta Lin-15 comparada con las dietas HP y L-5.

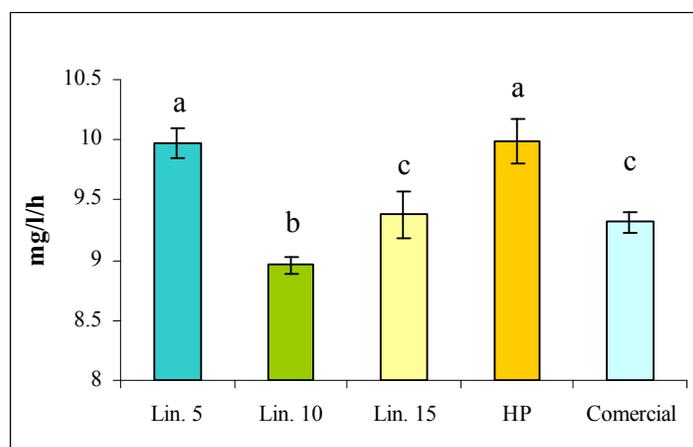


Figura 6.- Consumo de oxígeno promedio por pez después de 40 minutos en el respirómetro.

El análisis estadístico muestra una disminución significativa ($F=16.875$, $P=.000$) en la producción de NH_3 de dos de las dietas con linaza (Fig. 7); la primera fue Lin-10 (con el valor mas bajo) comparado con la dieta comercial HP y Lin-5, la segunda dieta Lin-15 comparado con las dietas Comercial y Lin-5. Por ultimo, la dieta control de HP presentó una disminución significativa con la dieta Lin-5, exhibiendo esta última dieta el valor más alto en la excreción de NH_3 .

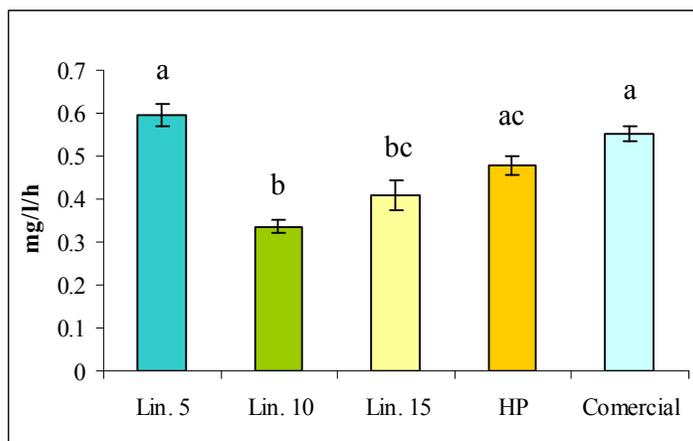


Figura 7.- Producción de NH_3 promedio por pez después de 40 minutos en el respirómetro.

Las dietas Lin-10, Lin-15 y Comercial, presentaron una producción significativamente menor de PO_4 ($F= 3.547$, $P=.014$) que las dietas Lin-5 y HP (Fig. 8), las cuales fueron las dietas con mayor cantidad de harina de pescado. Así mismo las dietas Lin-10 y Lin-15, no presentaron diferencias significativas con la dieta comercial.

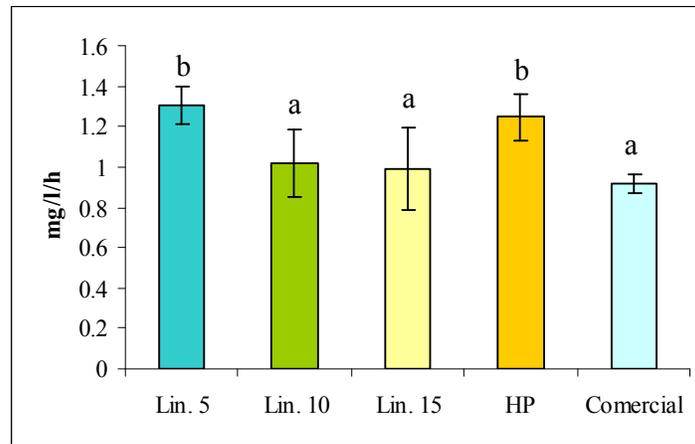


Figura 8.- Producción de PO₄ promedio por pez después de 40 minutos en el respirómetro.

Los resultados de la diferencia del metabolismo de los peces alimentados y en estado basal (figs. 9-11), muestran en general un comportamiento a disminuir el gasto energético en el consumo de oxígeno, excepto en las dietas Lin-10, HP y Comercial, donde se observa un aumento; la producción de NH₃, solo mostró un aumento en la dieta Lin-10 y en el caso de producción de PO₄ todas las dietas presentaron una disminución en su producción.

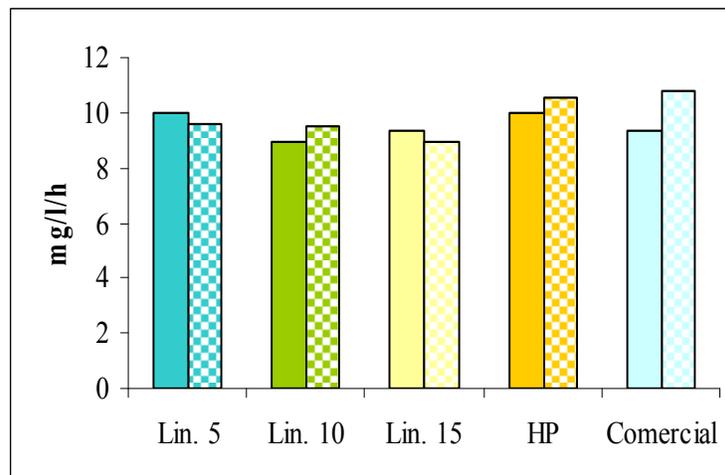


Figura 9.- Comparación del consumo de O₂ en truchas alimentadas (barras lisas) y en estado basal (barras cuadrículadas), después de 40 minutos en el respirómetro.

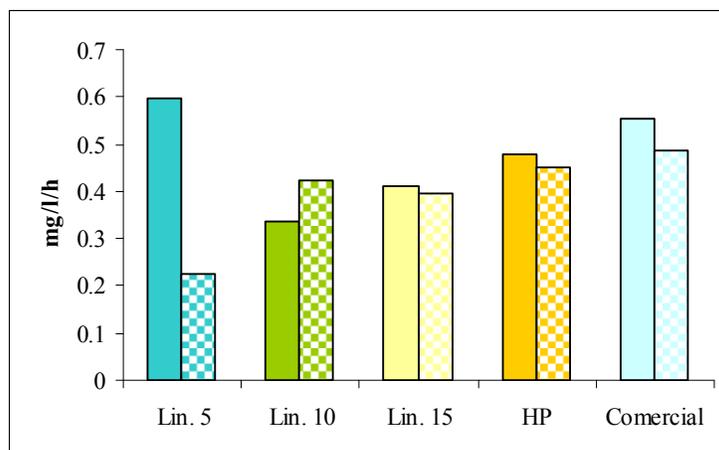


Figura 10.- Comparación de la producción de NH₃ en truchas alimentadas (barras lisas) y en estado basal (barras cuadrículadas), después de 40 minutos en el respirómetro.

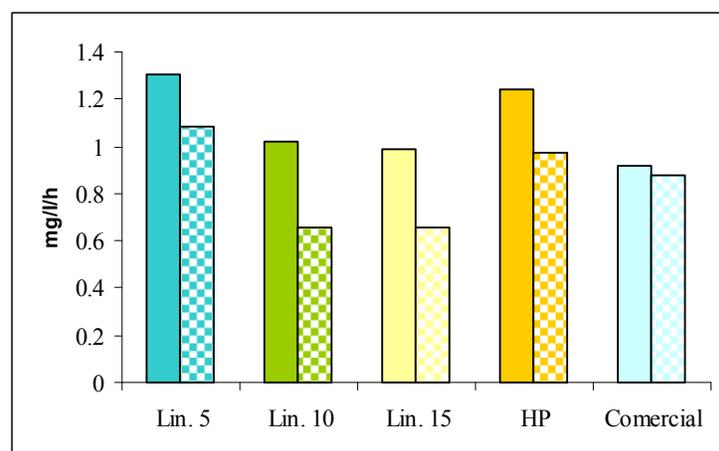


Figura 11.- Comparación de la producción de PO₄ en truchas alimentadas (barras lisas) y en estado basal (barras cuadrículadas), después de 40 minutos en el respirómetro.

7.2.- Crecimiento y Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de la proteína.

El uso de la harina de linaza, en cualquiera de sus inclusiones (5%, 10% y 15%), presenta un comportamiento similar en cuanto al peso final por pez a la obtenida por la dieta control (Fig. 12). El valor mas alto para este parámetro fue el de la dieta Lin-15 con 15.157 g ± 1.68 g y el menor de la dieta comercial con 13.74 g ± 0.807 g.

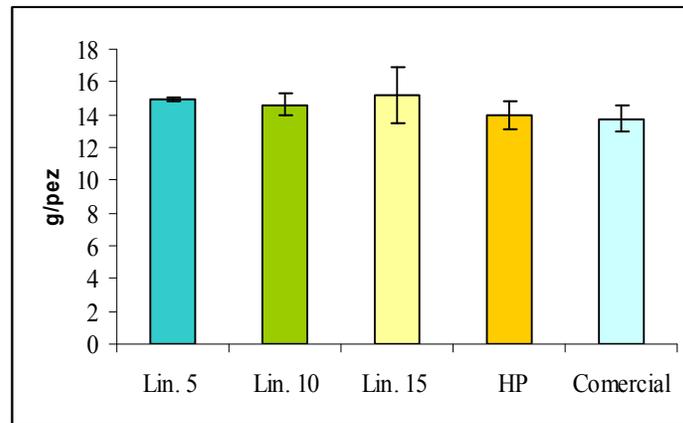


Figura 12.- Peso final (PF) (g) promedio por pez obtenido después de los 50 días de alimentación.

El crecimiento de los peces expresado en gramos por organismo (GP), no mostró diferencias significativas ($P=.809$, $F=.393$) entre las dietas con linaza y los controles (Fig. 13), sin embargo, cabe destacar que las dietas con linaza mostraron una ganancia ligeramente mayor al obtenido con la dieta comercial; el promedio del peso final por pez para las dietas se encontró entre los $9.638 \text{ g} \pm 0.864\text{g}$ (Dieta Comercial) y $11.017 \text{ g} \pm 1.67\text{g}$ (Lin-15).

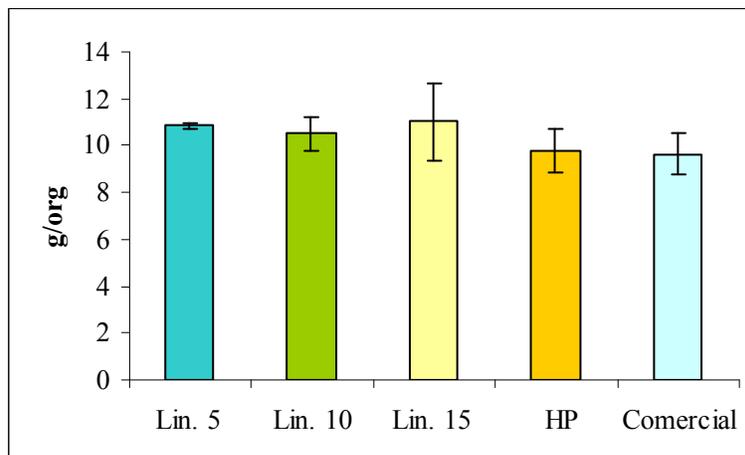


Figura 13.- Ganancia en peso (GP) (g) promedio por pez obtenido después de los 50 días de alimentación.

De igual modo, cuando se compararon los incrementos de biomasa en términos de porcentaje (GP), no se encontraron diferencias ($P=.382$, $F=.817$) entre las dietas experimentales sobre las dietas controles (Fig. 14); la mayor ganancia en peso fue de $265.98 \% \pm 3.64 \%$ (Lin- 5) y $265.95 \% \pm 39.9 \%$ (Lin- 15), comparado con $235.39 \% \pm 24 \%$ (dieta comercial).

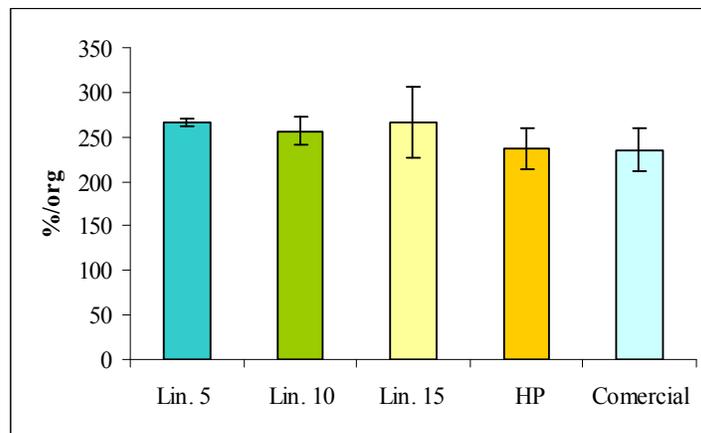


Figura 14.- Ganancia en peso (GP) (%) promedio por pez obtenido después de los 50 días de alimentación.

En lo que se refiere al consumo de la dieta (CD) no se observaron diferencias significativas ($F=.755$, $P=.473$), los valores resultaron muy homogéneos para todas las dietas (Fig. 15). Estos se encontraron entre $2.280 \text{ g} \pm 0.141 \text{ g}$ y $2.474 \text{ g} \pm 0.0309 \text{ g}$.

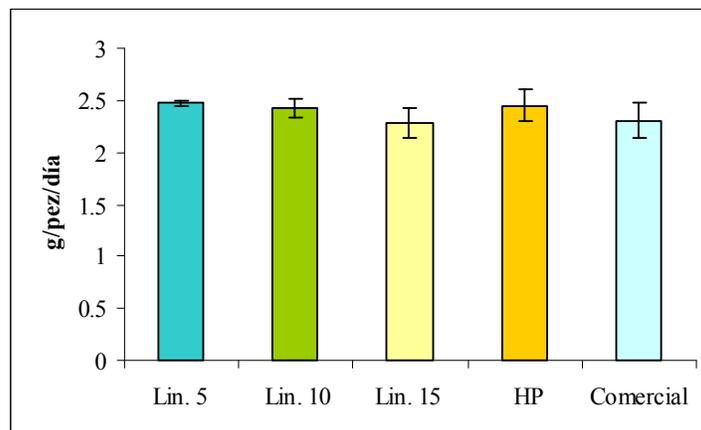


Figura 15.- Consumo de alimento (CD) por pez durante la experimentación.

La tasa de conversión de alimento (TCA), presentó valores que van de 1.21 ± 0.0583 para la dieta comercial a 1.27 ± 0.0468 de la dieta HP (Fig. 16), no se presentan diferencias significativas ($F=.907$, $P=.243$).

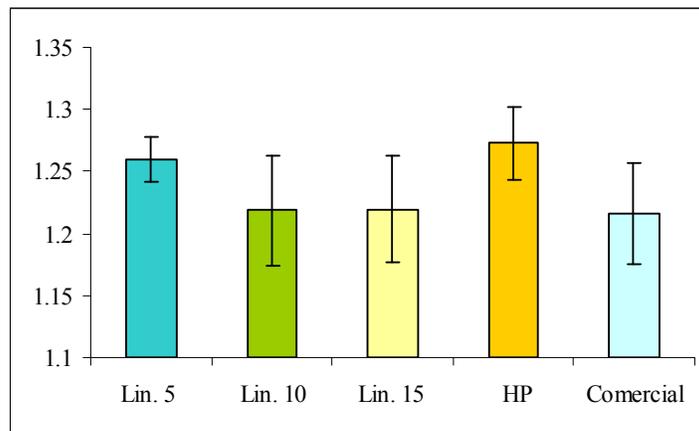


Figura 16.- Tasa de conversión del alimento (TCA) por pez.

No se encontraron diferencias significativas ($F=.397$, $P=.807$) para la tasa específica de crecimiento (TCE), el promedio se observó en un $2.418\% \pm 0.143\%$ (control HP) y $2.594\% \pm 0.0199\%$ (Lin-5) (Fig. 17); para la tasa de eficiencia de la proteína (TEP), tampoco se vieron diferencias entre las dietas evaluadas ($F=.890$, $P=.505$), en donde el resultado se observó de 1.881 ± 0.0597 para la dieta comercial a 2.084 ± 0.133 en la dieta Lin-15 (Fig. 18).

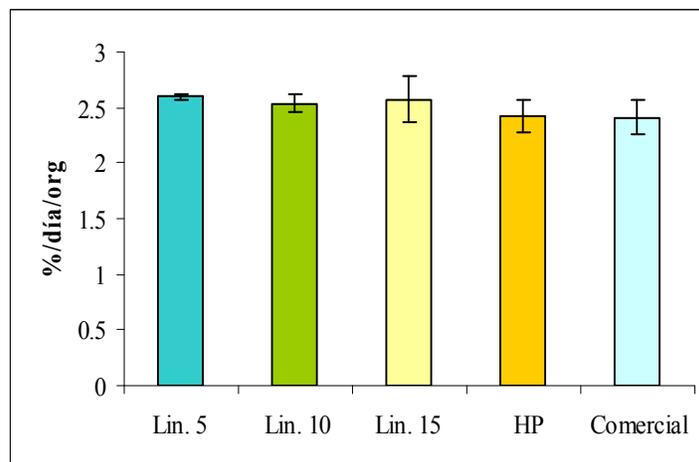


Figura 17.- Tasa de crecimiento específico (TCE) promedio.

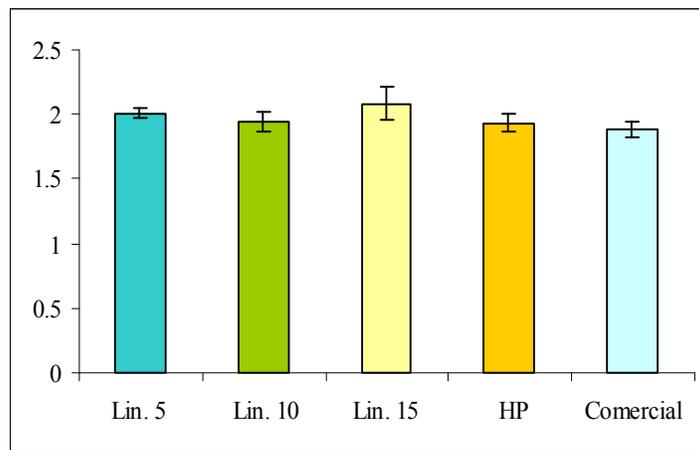


Figura 18.- Tasa de eficiencia de la proteína (TEP).

Los valores obtenidos para los Coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína no presentaron diferencias significativas entre ellas ($F=1.963$, $P=.198$). El valor mas alto se observó con la dieta Lin-5 con 96.44 %, superando a las otras dietas, incluyendo a la dieta control de HP, el valor más bajo lo obtuvo la dieta Lin-15 con 95.2 % (Fig. 19), los otros dos tratamientos se encontraron entre estos dos valores.

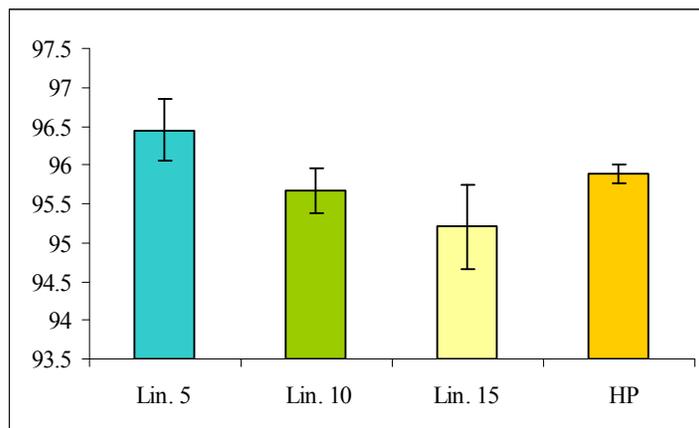


Figura 19.- Coeficiente de digestibilidad aparente (CDA).

8.- DISCUSIÓN

En general todas las dietas fueron bien aceptadas por las truchas, tanto las dietas comercial y HP, como las dietas con linaza, de igual manera como lo reportan Hasan *et al.* (1997), quien menciona que la harina de linaza en una inclusión de 25% y 50% es aceptada por carpa común, también Drew *et al.* (2005) con trucha arco iris y Tibbetts (2006) en bacalao del atlántico.

Durante el tiempo de las pruebas de alimentación, las truchas no presentaron signos de enfermedad en cuanto a la morfología, características externas y/o comportamiento, esto puede ser un indicador de la buena calidad del alimento suministrado a los peces, ya que como se sabe, una nutrición adecuada juega un rol crítico en el mantenimiento normal del crecimiento y salud de los organismos acuáticos (Halver, 2002); debido a esto, se pudo observar en los peces, la conservación de sus características de buena salud, durante y posterior al las pruebas.

Para este experimento se utilizó harina de linaza sin lípidos, en bajos porcentajes y se observó que no hay efectos negativos en el crecimiento, demostrando con esto el potencial de sustitución en dietas para peces; de igual manera, se han realizado pruebas con harina de soya sin lípidos como; Satoh *et al.* (2003) y Riche (1996), que utilizaron harina de soya sin lípidos en alimentos para trucha (*Oncorhynchus mykiss*). Martínez (1999), menciona el uso de harina desgrasada en salmón (*Salmo salar*), carpa, bagre, carpa herbívora (*Ctenopharingodon idella*), tilapia (*Oreochromis spp.*), mojarra castarrica (*Cichlasoma urophthalmus*), tambor rojo (*Scianops ocellatus*); milkfish (*Chanos chanos*) y mojarron (*Sparus aurata*; *Megalobrama skolkovii*).

8.1.- Consumo de O₂, Producción de NH₃ y PO₄

La correlación encontrada entre el consumo de O₂ con la excreción de PO₄ y en particular con NH₃ (Anexo 2), a pesar de no ser significativa, nos muestra de alguna manera el gasto energético al consumir la dieta, lo que se define como costo ó Acción Dinámica Especifica (ADE), la cual esta relacionada particularmente al metabolismo asociado con la ingestión, absorción, transformación de nutrientes, crecimiento (Alsop, 1997), digestión, el incremento de la actividad circulatoria vascular, con los ácidos metabólicos y la excreción de metabolitos nitrogenados (Halver y Hardy, 2002). Este gasto energético resulta ser menor en los peces de la dieta Lin-10, los que consumieron menos oxígeno que las otras dietas, incluyendo las dietas controles (Fig. 6).

En el caso del análisis del metabolismo basal con la dieta Lin-10, los resultados de consumo de O₂ y producción de NH₃ de los peces, resultaron más altos que en el caso de alimentados, de igual manera para el consumo de O₂ por parte de la dieta comercial (Figs. 9, 10, 11), esto pudo haber sido causado por el manejo de los organismos que provocó un estrés fisiológico, el cual, según Adams (1990) y Thomas (1990) afecta funciones de componentes celulares como enzimas y membranas y funciones útiles como respiración, osmoregulación entre otras, aunado a la temperatura de aclimatación que afecta de forma directa y proporcional a la producción de NH₃ excretada por los peces privados de alimento.

Los peces alimentados con las dietas controles descargaron más nitrógeno que los alimentados con dietas conteniendo linaza, en especial la dieta con sustitución de Lin-10 que mostró una disminución significativamente menor que las dietas controles (comercial y HP) y la dieta con sustitución del 5 % (Fig. 7), concordando con lo encontrado por Cheng *et al.* (2003) quien concluye que los recursos de origen vegetal, juegan un rol en las descargas de P y N. Esta baja producción de NH₃, puede ser relacionada a una mayor oxidación de aminoácidos digeribles ya que, como menciona Green *et al.* (2002) y Romarheim *et al.* (2006), la composición de aminoácidos en la dieta, puede también afectar la retención de nitrógeno.

Caulton (1978, en Hepher, 1988), menciona que la cantidad de N excretado como NH₃ (por tilapia *rendalli*), depende en gran medida de la cantidad de proteína asimilada durante la alimentación. Esta investigación supone que el NH₃, es el principal producto final, de la proteína del alimento catabolizado.

Las dietas Lin-10 y Lin-15 de linaza, lograron disminuir significativamente la producción de PO₄, (Fig. 8) comparados con la dieta control de HP, estos resultados se asemejan a los encontrados por Cheng *et al.* (2003) en las dietas de menor sustitución de harina de pescado por proteína vegetal y suplementación de lisina para trucha arco iris. Los peces alimentados con estas mismas dietas no excretaron menos fósforo que la dieta comercial, sin embargo no hubo diferencias significativas; así mismo, con las dietas Lin-5 y Control, los peces excretaron más fósforo que las dietas Lin-10, Lin-15 y HP, probablemente debido a la cantidad de harina de pescado en estas últimas, ya que se observa un muy ligero decremento a mayor inclusión de linaza, esto concuerda con lo encontrado por Medale *et al.* (1998), quien encontró que la disponibilidad de P aumenta con el nivel de proteína de soya en trucha; esta situación a su vez podría estar relacionada con la digestibilidad del fósforo (Fig. 19), a pesar de que esta no fue evaluada en el presente trabajo.

A pesar de que la alta correlación entre el CDA y la producción de PO_4 no es significativa (Anexo 2), ésta revela de alguna manera la utilización del fósforo por parte de los peces y, aunque no se logro disminuir la producción de fósforo con respecto a la dieta comercial, tampoco se encontraron diferencias significativas, lo que nos podría indicar que gran parte del fósforo de las dietas con linaza, fue asimilado y retenido por los peces.

El que no se halla podido disminuir significativamente la producción de Fósforo en las dietas experimentales (Fig. 8) comparado con la dieta comercial, puede deberse entre otras cosas, al uso de harina sin lípidos, ya que según lo encontrado por Riche y Brown 1996), la soya sin lípidos disminuye la disponibilidad de P comparados con soya con lípidos en dietas para trucha; además, la digestibilidad de P, Ca, Mg y Fe, también disminuye conforme el contenido de hueso de pescado de las dietas aumenta (Satho *et al.*, 2003) y dado que en este experimento la sustitución de la harina de pescado por harina vegetal no fue muy alta, esta pudo haber sido una causa; de igual manera Ketola (1993), reportó la disminución de P en efluentes cuando la trucha fue alimentada con dietas conteniendo altos niveles de materiales vegetales, comparado a una dieta basada en harina de pescado. Lall (1991), menciona que la disponibilidad del P puede fluctuar marcadamente entre ingredientes, influenciado por el procesamiento del alimento, solubilidad en el agua, digestibilidad de la dieta, talla de la partícula, la interacción con otros nutrientes, forma química ó procesamiento de la dieta; contemplando igualmente el resultado de Drew *et al.* (2005), donde el mucílago de la linaza redujo la digestibilidad del fósforo en una mezcla de linaza con chícharo para trucha.

8.2.- Crecimiento

Los resultados obtenidos en cuanto a sus efectos sobre el crecimiento de las Truchas alimentadas con las dietas con linaza (La Tasa de crecimiento específico (TCE), Consumo de dieta (CD), Taza de eficiencia proteica (PER) y Tasa de conversión de alimento (TCA), en cualquiera de los grados de sustitución (5 %, 10 % ó 15 %) y las dietas controles (Hp y comercial) mostraron entre ellos un comportamiento similar. La ganancia en peso (GP) expresada en porcentaje de todas las dietas fue considerablemente alta; es preciso decir que, se observó una ligera diferencia en cuanto a GP de las dietas Lin-5 (5 %) y Lin-15 (15 %) sobre la dieta comercial. Los buenos resultados de los parámetros anteriores, en los tres niveles de inclusión de linaza, probablemente está relacionada con el mejor balance de aminoácidos, conseguida por la combinación de los ingredientes de linaza y harina de pescado, permitiendo una mejor eficiencia en su utilización.

Gomes *et al.* (1995) observó que, conforme se aumentó la cantidad de una mezcla de vegetales el consumo de dieta fue ligeramente menor, lo cual sucedió de manera no significativa en el presente trabajo. Los niveles de incorporación de linaza en las dietas no provocaron cambios significativos en términos de consumo de dieta (CD) (Fig. 15), comparados con las dietas controles, esto concuerda con lo observado por Satho *et al.* (2003), incorporando soya y gluten de maíz y, Burel *et al.* (1998), en la incorporación de Lupino, ambos en dietas para trucha arco iris.

El comportamiento de la TCA encontradas (Fig. 16), resultan similares a los observados por Thiessen *et al.* (2004) en dos de las mezclas de linaza con guisante y canola, con valores que van de 1.26 a 2.5, al mismo tiempo que superaron a los hallados por Cheng *et al.* (2003) (0.99 a 1.16) en trucha arco iris, probando proteínas vegetales con una suplementación de lisina; la TCA de la harina de pescado, resultó ser muy parecida a la encontrada en la harina de pescado, por Rifstie *et al.* (2004) con trucha arco iris. Thiessen *et al.* 2004 menciona que la linaza es deficiente de lisina, la cual pudo haberse atenuado en esta investigación por la combinación con harina de pescado, y con ello como mencionan aumentando la digestibilidad (Cheng *et al.*, 2003; Thiessen *et al.* 2004), crecimiento y aprovechamiento de los aminoácidos.

No se encontraron diferencias significativas en la TCE (Fig. 17), al aumentar la concentración de linaza de 5% a 15 %, como lo sucedido a Mundheim (2004); estos resultados son similares a los encontrados por Thiessen *et al.* (2004) donde los valores de la TCE encontrados fueron de 0.56 a 1.27. Gomes *et al.* (1995), no observó una reducción en los valores cuando el nivel de proteína vegetal aumentó concordando con lo también sucedido a Mudheim *et al.* (2004).

Podemos asumir entonces que el contenido de aminoácidos en las dietas experimentales con linaza fueron suficientemente satisfactorias con los mínimos requerimientos para un buen crecimiento de Trucha arco iris, ya que como menciona Watanaba *et al.* (1987), la apropiada utilización de la proteína de la dieta depende de la buena calidad y balance de los aminoácidos de las proteínas.

La significativa correlación entre la ganancia en peso con la tasa de crecimiento específico, el consumo de dieta, la tasa de eficiencia de la proteína (Anexo 2) y entre el coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína con la excreción de nitrógeno (Anexo 2), nos dan un indicador para decir que probablemente existe un adecuado balance de los aminoácidos en las dietas experimentales con linaza que provocaron la maximización en la utilización de las proteínas para el crecimiento al mismo tiempo de reducir la producción de NH₃, concordando también con los datos reportados por Carter *et al.* (1998), en los altos niveles de crecimiento con la relación entre consumo de dieta y crecimiento y peso final y la Tasa de eficiencia de la proteína.

Los resultados de Tasa de eficiencia proteica (TEP) de este trabajo (Fig. 18) son similares a los encontrados por Riley *et al.* (1993), Palmegiano (2006) y Gomes *et al.* (1995) con trucha arco iris en la utilización de arroz; a su vez se encuentran por debajo de los encontrados por Thiessen *et al.*, (2004) con canola y trigo y mayores a los observados por Hasan *et al.* (1997) usando linaza en dietas para carpa común. Al parecer los valores de TEP encontrados están relacionados con los altos CDA de la proteína y a la gradual absorción de aminoácidos, provocado por el tiempo entre comidas (Burel, 1998).

8.3.- Digestibilidad

Los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de la proteína de las dietas revelaron una tendencia a disminuir, aunque no significativamente, la digestibilidad de la proteína a mayor inclusión de harina de linaza (Fig. 19), de igual manera como lo ocurrido a Riley *et al.* (2003) usando concentraciones de proteína de arroz, variando el CDA de 85.75 % a 76.98 % (20% a 53 % de sustitución respectivamente) y a Mundheim *et al.* (2004), usando proteína vegetal en dietas para salmón y Palmegiano (2006) con proteína de arroz en trucha arco iris.

Estos datos llegaron hasta 96.44 % para la dieta con 5 % de linaza, los valores fueron altos, son mayores a los reportados para *Labio rohita* de 81.55% (Hossain *et al.* 1997), 85.8% en carpa común (Hossain & Jauncey 1989), 76.8 % en Trucha arcoiris (Smith 1976) y 50.2-55.0 % para bacalao del atlántico (Tibbetts *et al.* 2006); esta variación de resultados pudo deberse al tipo de harina de pescado utilizada, su origen y procesamiento y/o su composición, además de las condiciones de laboratorio en los que se llevaron a cabo los experimentos. Como se sabe, el CDA de la dieta se ve afectado por el mucílago de la linaza (Drew, 2005), además los Factores antinutricionales (glucósidos cianogenicos) (Oomah y Kenaschuk, 1992) que contiene la harina como son Monoglucosidos (linamarin y litaustralin) y Diglucosidos (linustatin y neolinustatin) (Niedziedz, 1997), taninos en baja cantidad y antivitaminas B6 (Wang *et al.* 2008). Los altos CDA probablemente se deben a la eliminación de algunos de estos factores durante el transcurso de extracción de los lípidos o, durante el proceso de extrusión de la dieta. Varios investigadores como Abd El-Hady y Hubida (2003), Mukhopadhyay y Ray (2001), Gomes *et al.* (1995), Cheng y Hardy (2003) y Wang (2008), han propuesto la extrusión como solución efectiva para mejorar la digestibilidad y remoción de antinutrientes y mencionan que la extrusión tiene efectos en la composición química de nutrientes individuales afectando el CDA en trucha. Gonthier (2008)

también comenta la interacción de variables en la extrusión que afectan la digestibilidad, tales como; velocidad del mezclado, contenido de nutrientes, temperatura y tasa de alimentación.

Con los datos de crecimiento, consumo de O_2 y producción de NH_3 y PO_4 , y después de observar el buen aspecto externo de la trucha arco iris, podemos decir que, los resultados de las dietas con inclusión de linaza para esta organismo, fueron satisfactorias y cumplen categóricamente con los objetivos planteados para objeto de la presente investigación.

Así pues, finalmente en este estudio la dieta que presento los mejores resultados que coadyuvan a la disminución de la excreción de NH_3 y PO_4 y que además permite un crecimiento normal y satisfactorio es la dieta con inclusión de 10 % de linaza, la cual se recomienda para fines productivos de juveniles de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*).

9.- CONCLUSIONES

- ✚ El uso de la harina de linaza en dietas para juveniles de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), puede utilizarse en sustituciones de 5 % a 15 %, con resultados favorables en su crecimiento.
- ✚ Sustituciones de 10 % y 15% de harina de pescado por harina de linaza, reducen significativamente el consumo oxígeno, en especial la sustitución de 10 %.
- ✚ El uso de la harina de linaza reduce significativamente la excreción de nitrógeno (en forma de NH_3), especialmente las dietas con 10 % y 15 % de harina de linaza.
- ✚ Las sustituciones de harina de pescado por harina de linaza en una concentración de 10 % y 15 %, logran una considerable disminución en la excreción de fósforo (en forma de PO_4), comparadas con la harina de pescado.

- ✚ Las inclusiones de harina de linaza a 5 %, 10 % y 15 % presentan un alto porcentaje de la digestibilidad aparente de la proteína. Sin embargo se presenta una tendencia muy tenue a disminuir la digestibilidad a mayor inclusión de harina de linaza, lo que nos indica niveles máximos de inclusión de harina de linaza, no excediendo un remplazo de 15 %.

- ✚ La tasa de eficiencia de la proteína de las dietas con inclusión de harina de linaza esta relacionada con la ganancia en peso y probablemente existe un adecuado balance de los aminoácidos en las dietas experimentales con linaza que provoca la maximización en la utilización de las proteínas para el crecimiento.

- ✚ La mejor dieta que permite un menor consumo de oxígeno, menor producción de fósforo y nitrógeno y un buen crecimiento es la sustitución de 10 % de harina de pescado por harina de linaza.

10.- REFERENCIAS

Abd El-Hady E.A. y Habiba R.A., 2003. Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol*, 36:285–293.

Alsop D. H., y Wood C. M., 1997. The interactive effects of feeding and exercise on oxygen consumption, swimming performance and protein usage in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *The Journal of Experimental Biology*, 200:2337–2346.

Adams S. M., 1990. Status and use of biological indicators for evaluating the effects of stress on fish. Biological indicators of stress in fish. American Fisheries Society Symposium. Ed. S. M Adams, Bethesda Maryland. USA. pp 1,2.

Barnabè G., 1989. *Acuicultura*, Vol. I, ed. Omega, S. A., Barcelona, pp 8.

Barnabè G., 1989. *Acuicultura*, Vol. II, ed. Omega, S. A., Barcelona, pp 34, 49.

Burel C., Boujard T., Geneviève C., Kaushik S. J., Boeuf G., Mol K. A., Van Der Geyten S. y Kuhn E. R., 1998. Incorporation of high levels of extruded lupin in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): nutritional value and effect on thyroid status. *Aquaculture*, 163 (3-4): 325-345.

Carter C. G., Houlihan D. F. y Owen S. F., 1998. Protein synthesis, nitrogen excretion and long-term growth of juvenile *Pleuronectes flesus*. *Journal of Fish Biology*, 53:272–284.

Carter C. G. y Hauler R. C., 2000. Fish meal replacement by plant meals in extruded feeds for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. [Aquaculture](#), 185, (3): 299-311(13).

Cheng Z. J., Hardy R. W. y Usry J. L., 2003. Plant protein ingredients with lysine supplementation reduce dietary protein level in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets, and reduce ammonia nitrogen and soluble phosphorus excretion. *Aquaculture*, 218;553–565.

Cheng Z. J., y Hardy R. W., 2003. Effects of extrusion processing of feed ingredients on apparent digestibility coefficients of nutrients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, 9:77-83.

Cho C.Y. y Bureau D. P., 1999. Bioenergética en la formulación de dietas y estándares de alimentación para la acuicultura del salmón: Principios, métodos y aplicaciones Avances en Nutrición Acuícola III. Memorias del Tercer Simposium Internacional de Nutrición Acuícola.

CONAPESCA, 2003. Boletín del Programa Nacional de Sanidad Acuícola y la Red de Diagnóstico. 1 (21).

Drew M. D., Racz V.J., Gauthier R. y Thiessen D.L., 2005. Effect of adding protease to coextruded Flax: Pea or Canola: Pea products on nutrient digestibility and growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animal Feed Science and Technology*, 119:117–128.

Drummond S.S., 1988. Cría de la trucha. Acribia S.A., Zaragoza España, pp 1-10, 131-133.

El-Saidy D.M.S.D y Gaber M.M.A., 2003. Replacement of fish meal with a mixture of different plant protein sources in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) (L.) diets. *Aquaculture Research*, 34 (13):1119-1127(9).

Flimlin G., Sugiura S. y Ferraris R. P., 2003. Examining phosphorus in effluents from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture, Bulletin E287*, Rutgers Cooperative Extension, NJAES.

Fontainhas-F.A., 2004. Replacement of Fish Meal by Plant Proteins in the Diet of Nile Tilapia: Digestibility and Growth Performance. *Aquaculture International*, pp 57-67.

Gomez E.F., Remab P. y Kaushik S. J., 1995. Replacement of Fish-meal by plant-proteins in the diet of rainbow-trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Digestibility and growth-performance*, 130 (2):177-186 (10).

Green J. A., Hardy R. W. y Brannon E. L., 2002. Effects of dietary phosphorus and lipid levels on utilization and excretion of phosphorus and nitrogen by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). 1. Laboratory-scale study. *Aquaculture Nutrition*, 8:279-290.

Halver J. E. y Hardy R. H., 2002. *Fish Nutrition*. tercera edición, Academic Press, San Diego California, pp: 144.

Hardy R.W., 2002. Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. En: Webster, C.D. y Lim, C. (Eds.). Nutrient requirements and feeding of fish for aquaculture. CAB International.

Hasan M.R., Macintosh D.J. y Jauncey K., 1997. Evaluation of some plant ingredients as dietary protein sources for common carp (*Cyprinus carpio* L.) fry. [Aquaculture](#), **151** (1-4): 55-70.

Hepher B., 1988. Nutrición de peces comerciales en estanques. Limusa, México, pp 109-117.

Hossain M.A. y Jauncey K., 1989. Studies on the Protein, Energy and Amino Acid Digestibility of Fish Meal, Mustard Oilcake, Linseed and Sesame Meal for Common Carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*, 83: 59-72.

Hossain M.A., Nahar N. y Kamal M., 1997. Nutrient digestibility coefficients of some plant and animal proteins for rohu (*Labeo rohita*). *Aquaculture* 151:37-45.

Houlihan D. Boujard T. y Jobling M., 2001. Food intake in fish. Blackwell science, Oxford, pp 1-21, 55-56.

Martínez C. A., Chávez. S. M.C., Olvera N. M. A. y Abdo P. M. I., 1999. Fuentes alternativas de proteínas vegetales como sustitutos de harina de pescado para la alimentación en acuicultura. Avances en Nutrición Acuícola III. Memorias del Tercer Simposium Internacional de Nutrición Acuícola.

McCallum I., Newell W., Cruz S. L. E., Rique M. D., Tapia S. M., Davis A., Thiessen D., Campbell L., Meyer W. A. O., Phillips C., Hickling D., 2000. Uso de arvejon (feed pea, chicharo) *Pisum sativum* en alimentos para camarones (*Litopenaeus stylirostris* y *L. vannamei*), tilapia (*Oreochromis niloticus*) y trucha (*Oncorhynchus mykiss*). Avances en nutrición acuícola V, Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola.

Médale F., Boujard T., Vallée F., Blanc D., Mambrini M., Roem A. y Kaushik S. J., 1998. Voluntary feed intake, nitrogen and phosphorus losses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed increasing dietary levels of soy protein concentrate. *Aquatic Living Resources*, 11 (4) :239-246.

Mukhopadhyay N. y Ray A.K., 2001. Effects of amino acid supplementation on the nutritive quality of fermented linseed meal protein in the diets for rohu, *Labeo rohita*, fingerlings. *Journal of Applied Ichthyology*, 17:220-226.

Mundheim H., Aksnes A. y Hope B., 2004. Growth, feed efficiency and digestibility in salmon (*salmo salar* L.) feed different dietary proportions of vegetable protein sources in combination with two fish meal qualities. *Aquaculture*, 237:315-331.

Niedzwiedz I. S., 1997. Cyanogenic glucosides in *Linum usitatissimum*. *Phytochemistry*, 49 (1):59-63.

NRC., 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academic Press, Washington D.C. USA, pp. 21-25.

Oomah B. D., Mazza G., y Kenaschuk E. O., 1992. Cyanogenic compounds in flaxseed. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40:1346-1348.

Orhan U., Koshio S., Teshima Sh-i., Ishikawa M., Thu M., Alam Md. Sh. y Michael F. R., 2006. Growth and phosphorus loading by partially replacing fishmeal with tuna muscle by-product powder in the diet of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, 257:437-445.

Palmegiano G.B., Daprà F., Forneris G., Gai F., Gasco L., Guo K., Peiretti P.G., Sicuro B. y Zoccarato I., 2006. Rice protein concentrate meal as a potential ingredient in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 258:357-367.

Refstie S., Korsoen O. J., Storebakken T., Baeverfjord G., Lein I. y Roem A., 2000. Differing nutritional responses to dietary soybean meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 190:49-63.

Regost C., Arzel J., Cardinal M., Rosenlund G. y Kaushik S.J., 2003. Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in Turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 220 (1-4): 737-747.

Riche y Brown, 1999. Incorporation of plant protein feedstuffs into fish meal diets for rainbow trout increases phosphorus availability. *Aquaculture Nutrition*, 5 : 101.

Riley W.W., Jr., Higgs D.A., Dosanjh B.S. y Eales J.G., 1993. Influence of dietary amino acid composition on thyroid function of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 112: 253-269.

Romarheim O. H., Skrede A., Gao Y., Krogdahl A., Denstadli V., Lilleeng E. y Sstorebakken T., 2006. Comparison of White flakes and toasted soybean meal partly replacing fish meal as protein source in extruded feed for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 256:354–364.

Satoh S., Hernández A., Tokoro T., Morishita Y., Kiron W. y Watanabe T., 2003. Comparison of phosphorus retention efficiency between rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed a commercial diet and a low fish meal based diet. *Aquaculture*, 224:271–282.

Smith, R. R., 1976. Metabolizable energy of feedstuffs for trout. *Feedstuffs*, 48 (23):16-21.

Thiessen D.L., Maenz D.D., Newkirk R.W., Classen H.L. y Drew M.D., 2004. Replacement of fishmeal by canola protein concentrate in diets fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, 10:379–388.

Thiessen D.L., 2004. Optimization of feed peas, canola and flaxseed for Aqua feeds: the Canadian Prairie Perspective. *Avances en Nutrición Acuícola VII. Memorias del VII Simposio Internacional de Nutrición Acuícola*.

Thomas P., 1990. Molecular and Biochemical responses of fish to stressors and their potential use in environmental monitoring. *Biological indicators of stress in fish. American Fisheries Society Symposium*, 8: 9-28.

Tibbetts S. M. Milley T. J. y Lall S. P., 2006. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758). *Aquaculture*, 261: 1314–1327.

Usmani N. y Jafri A.K., 2002. Effect of fish size and temperature on the utilization of different protein sources in two catfish species. *Aquaculture research*, 33: 959.

Velasco M, Addison L. L. y Neill W. H. 1999. Efectos de la proteína y el fósforo dietario en la calidad de agua en acuicultura. Avances en Nutrición Acuícola III. Memorias del Tercer Simposium Internacional de Nutrición Acuícola.

Wang Y., Li D., Wang L.-J., Chiu Y. L., Chen X. D., Mao Z.-H. y Song Ch-F., 2008. Optimization of extrusion of flaxseeds for in vitro protein digestibility analysis using response surface methodology. Journal of Food Engineering, 85, 59–64.

Watanabe T., Takeuchi T., Satoh S., Ida T. y Yaguchi M., 1987. Development of low protein-high energy diets for practical carp culture with special reference to reduction of total nitrogen excretion. Nippon Suisan Gakkaishi, 53 (8):1413-1423.

Paginas de Internet

<http://www.fao.org/Newsroom/es/news/2008/1000930/index.html> 1

<http://www.fao.org/ag/agA/AGAP/FRG/AFRIS/es/Data/507.htm> 2

<http://www.fao.org/docrep/field/003/AB489S/AB489S00.htm> 3

SEMARNAT, 2006

<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/linaceae/linum-usitatissimum/fichas/ficha.htm>

<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/ise/fichasnom/ejemplares/Oncorhynchusmykissnelsoni00ejemplares.pdf>

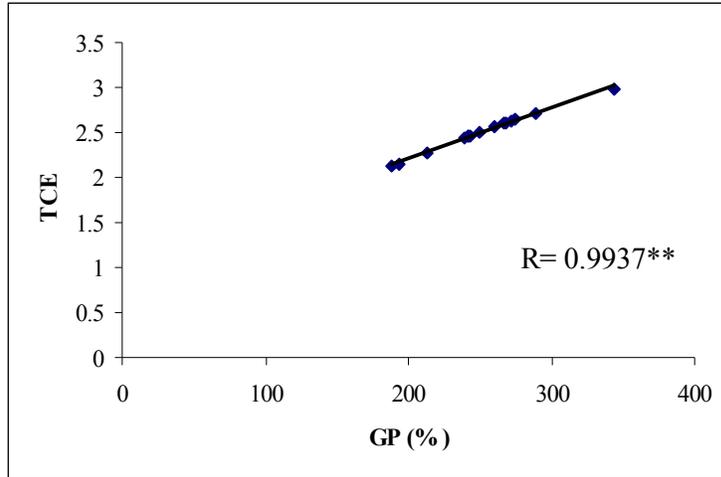
ANEXO 1

La harina de linaza para la presente investigación fue comprada de la droguería CREDOSA S. A. DE C. V; de donde se envió al laboratorio LAB American Quality S. A. de C. V., para su análisis, obteniendo los siguientes resultados:

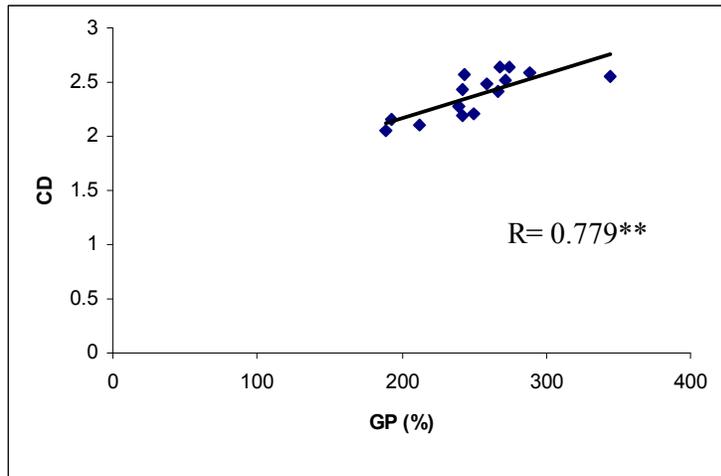
Tabla 1 -Composición proximal de la harina de linaza

Análisis	Resultados
Humedad (%)	6.21
Grasas (%)	28.54
Cenizas (%)	2.91
Fibra Cruda (%)	7.68
Carbohidratos (%)	42.66
Valor energético (Kcal./100 g)	475.50
Proteína (%) (Nx6.25)	19.68
Fósforo (%)	0.3231

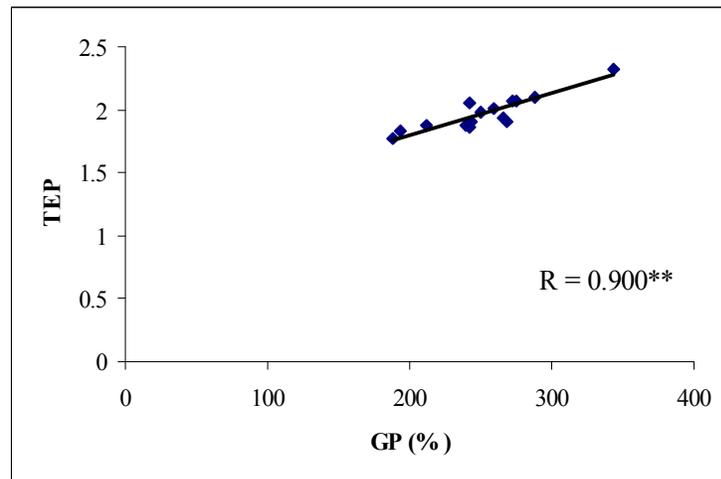
ANEXO 2



a



b



c

Figura 1 .- Correlación entre la ganancia en peso (GP) con la tasa de crecimiento específico (TCE) (a), el consumo de dieta (CD) (b) y la tasa de eficiencia proteica (TEP) (c).

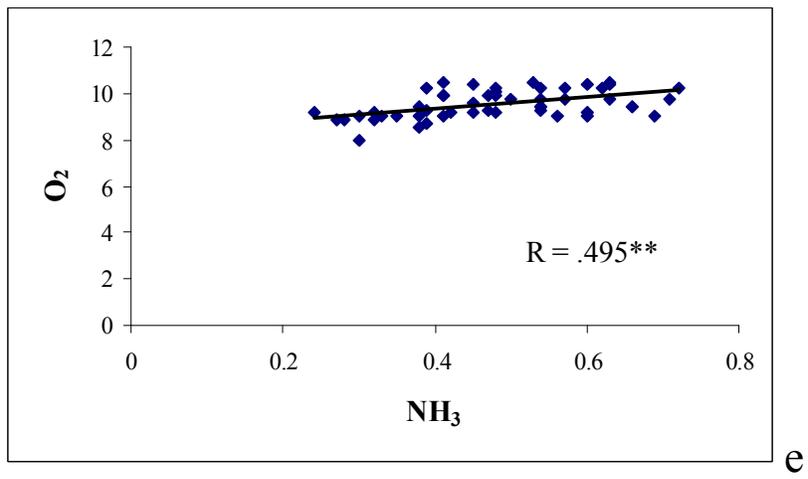
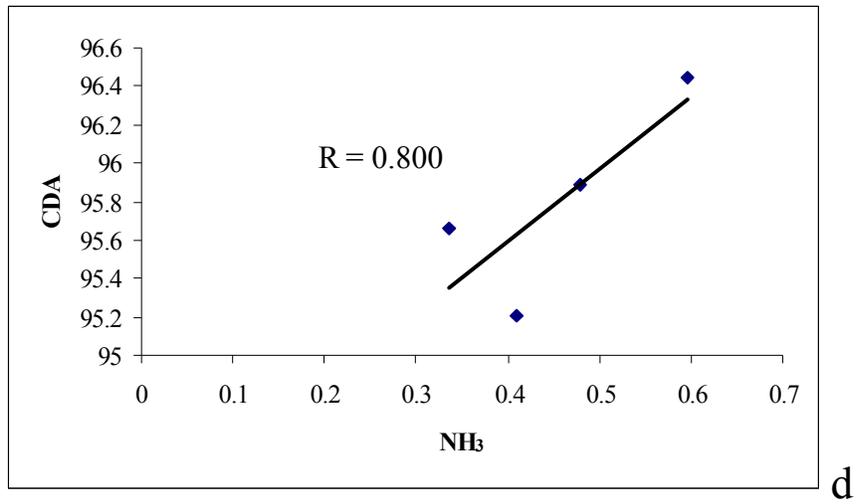


Figura 2.- Correlación entre la producción de NH_3 con el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) (d) y el consumo de O_2 (e). ****** significativa a 0.01, *****significante a 0.05.

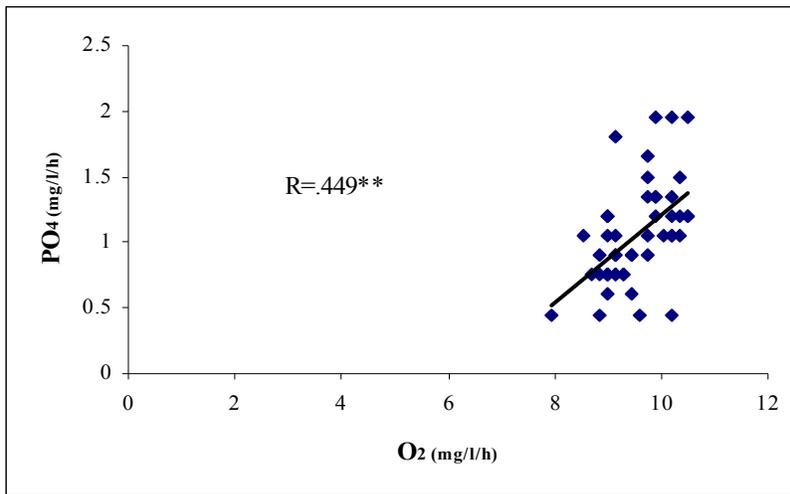


Figura 3.- Correlación entre el consumo de O₂ y la producción de PO₄. ** significativa a 0.01, *significante a 0.05.

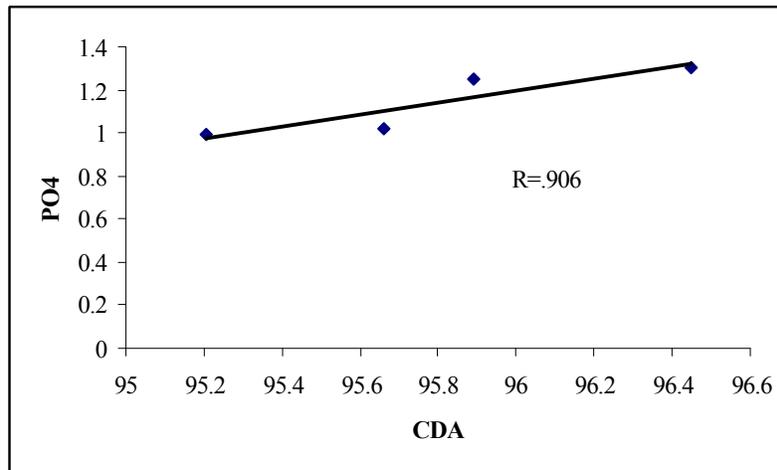


Figura 4.- Correlación entre el coeficiente de digestibilidad aparente (ADC) con la producción de PO₄

ANEXO 3

Linaza

Nombres comunes en idiomas indígenas de México

Martínez (1979) menciona los nombres de gueeche becueza xtila, queeche-pecueza, queeche-pecueze-castilla, este último en lengua zapoteca.

Nombres comunes en inglés

Common flax., cultivated flax (flaxseed) ó Linseed

Clasificación Taxonómica

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la Linaza, obtenido de: www.siiit.conabio.gob.mx

Reino Plantae-- plantas

Subreino Tracheobionta — plantas vasculares

Superdivisión *Spermatophyta* plantas con semilla

División Magnoliophyta — plantas con flor

Clase Magnoliopsida -- dicotiledóneas

Subclase Rosidae

Orden Linales

Familia Linaceae -- linaza

Genero *Linum* —linaza, linaza spp.

Especie *Linum usitatissimum* — linaza común, linaza cultivada

Origen y distribución geográfica

Se origino en Europa y Cercano Oriente. Su distribución secundaria comprende de De Estados Unidos a Sudamérica. En México se ha registrado en Aguascalientes, Chiapas, Distrito Federal, Estado de México, Guanajuato, Michoacán, San Luís Potosí, Sonora y Veracruz (Villaseñor y Espinosa, 1998 en www.conabio.gob.mx). En México su estatus migratorio es: Exótica.

Descripción

De www.conabio.gob.mx (Basada en Gleason y Cronquist, 1991; Rzedowski y Calderón, 1992; Rzedowski y Rzedowski, 2001 y observaciones propias (A. Hanan).

Es una hierba de vida corta, casi completamente sin pelos, de hasta 1 m de alto; su tallo es erecto, estriado, a veces algo ramificado cerca de la base y en la inflorescencia; las hojas son alternas, sésiles, muy angostas, de hasta 4 cm de largo, usualmente más cortas, puntiagudas, con 1 ó 3 venas evidentes, delgadas. Hacia la punta de los tallos, las flores, acompañadas de hojas un poco reducidas, se disponen en racimos muy ramificados (panículas) cuyas ramas terminan más o menos a la misma altura (corimbiformes). Sus flores sobre pedicelos delgados de hasta 2.5 cm de largo; cáliz de 5 sépalos, generalmente puntiagudos, con 3 venas pero la central más evidente, en algunos sépalos el margen es translúcido y con pelillos; corola de 5 pétalos color azul o rara vez blanco; estambres 5; estilos 5.



Figura 1: Aspecto de la flor de la planta de Linaza (*Linum usitatissimum*)

El fruto es una cápsula globosa, a veces algo más ancha que larga, puntiaguda, a veces con pelillos, rodeada por los sépalos y se abre para liberar las semillas, estas generalmente son 10, comprimidas, color café a negruzcas.



Figura 2: Semillas de la Linaza

Es una planta anual, florece y fructifica durante casi todo el año.

Hábitat

Aparece a veces en ambientes ruderales, se distribuye en zonas bioclimáticas como bosque de pino-encino y ecotonos con los tipos más tropicales, entre los 1900 a los 3000 m.

Usos

Ha sido ampliamente cultivada por sus tallos que contienen fibras usadas para la fabricación de telas y papeles finos, para la extracción del “aceite de linaza” a partir de las semillas, y la utilización de las propias semillas como medicinales y condimentos (Rzedowski y Rzedowski, 1992 en www.conabio.gob.mx).

Actualmente se está comenzando a utilizar la linaza como fuente alternativa para elaborar alimento para diferentes animales. La semilla entera es demasiado dura para los animales y tiene que triturarse o ablandarse por maceración y ebullición. Como es rica en aceite, es un pienso concentrado energético, que puede utilizarse para los rumiantes y cerdos. Se pueden emplear las semillas enteras como ingredientes en las harinas para los terneros. (www.fao.org, (2)).

Impacto sobre la salud humana

El aceite de linaza es altamente secante y se utiliza sobre todo en las artes y como barniz fino. Las semillas tienen un efecto laxante.

ANEXO 4

Trucha arco iris

Nombres comunes en español

Cabeza de Acero, Salmones del Pacífico, Trucha, Trucha Arco Iris, Trucha Arcoiris (zipcodezoo.com), trucha de San Pedro Martir (CONABIO).

Nombres comunes en inglés: Nelson's trout (EE.UU.), Baja trout (EE.UU.).

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) según CONABIO

Reino	Animalia
Filo	Chordata
Clase	Actinopterygii
Orden	Salmoniformes
Familia	Salmonidae
Genero	Oncorhynchus
Especie	Mykiss
Nombre científico	<i>Oncorhynchus mykiss nelson</i> Evermann, 1908

Descripción de la especie

Tamaño pequeño (< 260 mm LP), con abundantes lunares oscuros de forma irregular, arriba y abajo de la línea lateral, contrastando con el color verde oliváceo de la cabeza y dorso. Los adultos con fase de coloración oscura poseen una franja lateral rojo ladrillo, la cual es poco aparente en la fase clara. Juveniles con 9 a 12 marcas "parr" de formas redondas y persistentes en adultos. Escamas en serie lateral de 125 a 140 (promedio 118), ciegos pilóricos 46 a 53 y vértebras de 61 a 62. Dentro del complejo "arcoiris", la subespecie *nelsoni*, es la que exhibe el intervalo más amplio en la altura del cuerpo y en la distancia del origen de la aleta dorsal al origen de las aletas pélvicas (Needham y Gard, 1959).



Figura 1: Aspecto de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*)

Distribución Original y actual

Su distribución original es en Ensenada Baja California en el Arroyo San Antonio de Murillos Sierra de San Pedro Mártir, actualmente se encuentra en del Arroyo San Rafael, Arroyo La Grulla, Arroyo Valladares, Arroyo El Potrero y Arroyo La Zanja.

Hábitat

Prefiere las pozas y recodos de los arroyos que presentan la siguiente combinación de características: profundidad >30 cm, mayor cobertura (sombreado), sustrato arenoso y mayor disponibilidad de presas (Ruiz-Campos, 1993; Ruiz-Campos *et al.*, 2000a). Asimismo, esta trucha ha sido registrada en los siguientes ámbitos físico-químicos: salinidad, 0.1 a 0.3 ppt; temperatura, 16.5 a 24.5 C, oxígeno disuelto, 6.6 a 14.0 mg/l; pH, 8.0 a 8.7; dureza en calcio (55.0 a 84.0 ppm), dureza en magnesio (32.0 a 65.0 ppm), y silicatos, 5.0 a 20.0 ppm (Ruiz-Campos, 1993).

Relevancia de la especie

La trucha arco iris de la Sierra San Pedro Mártir, *O. mykiss nelsoni*, es considerada la población más sureña de trucha arco iris costera en Norteamérica (MacCrimmon, 1971; Smith, 1984; Behnke, 1992) y una de las dos especies ícticas conocidas en la Sierra San Pedro Mártir (Ruiz-Campos *et al.*, 2000a, 2000b). Posee varios atributos bioecológicos que la distinguen de otras conespecíficas como su tolerancia de altas temperaturas (>24 C), comportamiento no migratorio, baja fecundidad (promedio 15.34 ovocitos/cm longitud patrón) y madurez sexual precoz (103-112 mm longitud patrón y 1 año de edad) (Ruiz-Campos *et al.*, 1997). Estas características especiales le confieren potencialidad para el aprovechamiento en la acuicultura y/o repoblamiento en otros sitios que reúnan los requerimientos ecológicos de esta subespecie.

Reproducción

Se reproduce de Enero a marzo, con mayor intensidad en febrero. La talla y edad de primera madurez sexual es desde los 103 mm de longitud patrón y 1 año de edad, respectivamente (Ruiz-Campos, 1993).

Alimentación

Básicamente insectívora y dominada por tricópteros (Sercicostomatidae, Hydropsichidae, Hydroptilidae) y dípteros Simuliidae) (Ruiz-Campos y Cota-Serrano, 1992).

Conducta

Los adultos durante la época no reproductiva, especialmente en el verano, tienden a excluir a los juveniles del año de las pozas profundas (Ruiz-Campos, 1993).

NOM-059-ECOL-2001

Pr - sujeta a protección especial.

.....