



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA
CALIFORNIA**

Facultad de Ciencias Marinas



“Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de Totoaba macdonaldi bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal”.



Conocimiento, Desarrollo y Progreso

T E S I S

Que para obtener el título de

**Licenciado en Biotecnología en
Acuicultura**

P r e s e n t a:

José Roberto Velarde Sánchez

Ensenada, Baja California, Septiembre de 2013

Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de Totoaba macdonaldi bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA
CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Marinas



“Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de Totoaba macdonaldi bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal”.



Conocimiento, Desarrollo y Progreso

T E S I S

Que para obtener el título de

Licenciado en Biotecnología en
Acuicultura

P r e s e n t a:

José Roberto Velarde Sánchez

Ensenada, Baja California, Septiembre de 2013

“Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de Totoaba macdonaldi bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal”.

Tesis

Que presenta:

José Roberto Velarde Sánchez

Aprobada por:



Presidente del Jurado
Dra. Lus Mercedes López Acuña



Sinodal Propietario
Dr. Mario Alberto Galaviz Espinoza



Sinodal Propietario
Dr. Conal David True

Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de Totoaba macdonaldi bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.

AGRADECIMIENTOS

En agradecimiento al comité de tesis de este trabajo: Dra. Lus Mercedes López Acuña, Dr. Mario Alberto Galaviz Espinoza y Dr. Conal David True; por todo el apoyo, consejos y aportaciones que me brindaron para que se concluyera de la mejor manera este escrito. Por ser más que Directores y Sinodales hacia mí persona y hacerme sentir en ellos una familia y una bonita amistad.

Al CONACYT-SAGARPA proyecto no. 164673 “Desarrollo de alimentos formulados nutricionalmente eficientes para el cultivo rentable de peces”, por otorgar la beca tesis y permitirme ser parte de un programa de investigación.

A la Unidad de Biotecnología en Piscicultura por el otorgamiento de los juveniles de totoaba (*Totoaba macdonaldi*) para el desarrollo de la investigación y por los conocimientos en el área de acuacultura que me ofrecieron a lo largo del desarrollo del experimento.

A mis compañeros del laboratorio de nutrición acuícola; Abigail, Disraely, Idaly, Paola y especialmente a Emanuel e Isaura, por la amistad y sobre todo por el conocimiento y los consejos que me brindaron al momento de analizar cada una de mis muestras.

Un agradecimiento especial a Edgar Huesca del Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz. Por haber colaborado en gran parte con el desarrollo de la

investigación. Por su ayuda con el análisis de muestra y por brindar una muy bonita amistad.

Se agradece además a todas esas personas que participaron, desde el más mínimo detalle hasta la ayuda más grande, a lo largo de la investigación.

Agradezco a mis padres Juan José Velarde Iribe y María Isela Sánchez Aguirre; por aceptar y ser pacientes en cada una de mis decisiones a lo largo de la investigación y mi trayecto universitario.

Por último, en agradecimiento a Dios, pues es por Él que este escrito ha concluido y por haberme dado la capacidad para iniciar una cosa y terminarla a su debido tiempo.

DEDICATORIA

Este escrito va dedicado a todas las personas relacionadas con el área de la acuicultura, especialmente a aquellas que muestran un interés por la nutrición de los organismos marinos.

Que encuentren en este documento conocimientos básicos sobre la implementación de alimentos alternos útiles para la alimentación de organismos marinos y puedan hacer de la acuicultura una actividad más redituable y sustentable.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

RESUMEN



“Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de *Totoaba macdonaldi* bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal”.

Debido al crecimiento de la actividad acuícola, la demanda por los ingredientes de origen marino (harinas y aceites de pescado) que son empleados en la elaboración de dietas para los cultivos acuícolas, ha aumentado en los últimos años ocasionando la escases del recurso poniendo en riesgo la expansión de la actividad. Por ello, se ha decidido realizar investigación con el fin de desarrollar conocimientos y encontrar fuentes alternas de ingredientes para solventar la problemática que impide el crecimiento de la acuicultura. Así mismo, se busca minimizar los impactos generados al medio ambiente ocasionados por

*Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de *Totoaba macdonaldi* bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.*

las pesquerías y al mismo tiempo, reducir los costos de operación debido a los altos costos del alimento elaborado con fuentes de pescado. Alternativa a la problemática, parece ser la utilización de aceites vegetales en las dietas acuícolas, por lo que durante un periodo de 68 días, se llevó a cabo un experimento para evaluar el uso de aceites vegetales (linaza y maíz) en dietas para juveniles de totoaba (*Totoaba macdonaldi*) y ver el efecto en el crecimiento, desarrollo y sobrevivencia de los organismos evaluados.

Los resultados al final del experimento mostraron que no hubo diferencias significativas en las respuestas biológicas de los organismos alimentados con dietas formuladas con aceites vegetales y se presentan mejorías cuando se emplean combinaciones de aceites vegetales que mantienen una adecuada proporción de ácidos grasos n-3/n-6, como lo mostró la dieta DL30/M10 (30% aceite de linaza, 10% aceite de maíz). Lo obtenido para el análisis químico proximal, demostró que la calidad proteica del filete de los juveniles de totoaba (*T. macdonaldi*) no se ve afectada por el uso de los aceites vegetales y además, se observa una acumulación de grasa en el tejido demostrando la buena asimilación de los nutrimentos de las dietas.

Lo anterior mencionado sugiere el uso de los aceites vegetales para alimentar a juveniles de *T. macdonaldi* a lo largo de 10 semanas. Sin embargo se recomienda llevar el experimento a un nivel de cultivo para asegurar que no se provocan efectos negativos en la especie debido Al uso de los aceites vegetales.

Palabras clave: *Totoaba macdonaldi*, aceites vegetales, dietas, acuicultura.

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- ANTECEDENTES	6
3.- OBJETIVOS	9
3.1.- Objetivo general	9
3.2.- Objetivos particulares	9
4.- METODOLOGÍA	11
4.1.- Elaboración de las dietas	11
4.2.- Condiciones de cultivo.....	14
4.3.- Muestreo y toma de datos	15
4.4.- Parámetros de crecimiento y supervivencia	16
4.5.- Índice hepatosomático y viscerosomático	17
4.6.- Análisis químico proximal	18
4.7.- Análisis estadístico.....	21
5.- RESULTADOS	23
5.1.- Parámetros de crecimiento.....	23
5.2.- Contenido químico proximal	28
6.- DISCUSIONES	38
6.1.- Parámetros de crecimiento.....	40
6.2.- Contenido químico proximal	45
7.- CONCLUSIONES	50
8.- RECOMENDACIONES	51
9.- REFERENCIAS	52

*Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de *Totoaba macdonaldi* bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.*

LISTA DE TABLAS

Tabla I.- Esquema de la formulación de las dietas elaboradas con diferentes concentraciones de aceites vegetales (hasta 40% de aceite de pescado sustituido).

Tabla II. Formulación de las dietas experimentales para juveniles de *Totoaba macdonaldi*.

Tabla III. Composición química proximal de las dietas experimentales para juveniles de *Totoaba macdonaldi*.

Tabla IV. Valores biológicos de juveniles de *Totoaba macdonaldi* alimentados con diferentes sustituciones de aceites vegetales y un alimento comercial (DAP) durante 68 días.

Tabla V. Contenido proximal en dietas elaboradas para juveniles de *T. macdonaldi* con contenido de aceite de pescado, linaza y maíz.

Tabla VI. Contenido proximal en muestra de pez entero de juveniles de *T. macdonaldi* alimentados a lo largo de 68 días con dietas que contenían aceite de pescado, linaza y maíz.

Tabla VII. Contenido proximal en muestra de tejido muscular de juveniles de *T. macdonaldi* alimentados durante 13 semanas con dietas sustituyendo parte del aceite de pescado por fuentes vegetales (linaza/maíz).

Tabla VIII. Contenido proximal en hepatopáncreas de juveniles de *T. macdonaldi* alimentados a lo largo de 10 semanas con dietas que contenían aceite de pescado, linaza y maíz.

Tabla IX. Contenido proximal de vísceras de juveniles de *T. macdonaldi* alimentados a lo largo de 68 días sustituyendo hasta un 40% el aceite de pescado por aceites vegetales: linaza y maíz.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación de totoaba (*T. macdonaldi*) en su forma adulta (superior) y juvenil (inferior).

Figura 2. Curva de crecimiento en talla de juveniles de *Totoaba macdonaldi* a lo largo de diez semanas de experimento.

Figura 3. Curva de crecimiento en peso de juveniles de *Totoaba macdonaldi* a lo largo de diez semanas de experimento.

1.- INTRODUCCIÓN

Totoaba (*Totoaba macdonaldi*) es un pez marino endémico del Alto Golfo de California y presenta la siguiente clasificación taxonómica:

Orden: Peciforme
Suborden: Percoidei
Familia: Sciaenidae
Género: *Totoaba*
Especie: *macdonaldi*

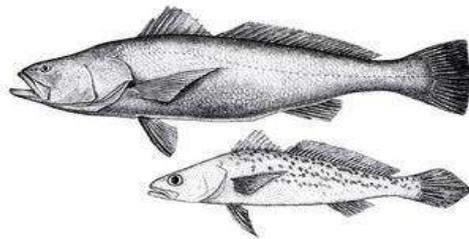


Figura 1. Representación de totoaba (*T. macdonaldi*) en su forma adulta (superior) y juvenil (inferior).

Perteneciente a la familia *Sciaenidae*, totoaba es uno de los especímenes de mayor tamaño del Mar de Cortez y se le puede encontrar hasta los 50 m de profundidad (True *et al.*, 1997). Su distribución abarca: en la parte Norte del Golfo de California, desde el delta del Río Colorado hasta Bahía Concepción, B.C., mientras que en el sur se localiza hasta la boca del río Fuerte, Sinaloa, llegándose a encontrar ejemplares hasta la zona de Mazatlán, Sinaloa (Rosales y Ramírez, 1987). Son organismos que llegan a medir 2 m de longitud y llegan a pesar más de 135 kg (Flanagan y Hendrickson, 1976). Estos peces carnívoros alcanzan la madurez sexual entre los 6 o 7 años de edad y se ha determinado, por medio de los otolitos, que son organismos capaces de vivir hasta 25 años (Flessa *et al.*, 2001).

A causa de la sobrepesca, la población de estos organismos fue disminuyendo (True *et al.*, 1997). Desde 1974 el gobierno Mexicano protegió a la especie (NOM-SEMARNAT-059-2001) y prohibió su pesca por tiempo indefinido y por seguridad de comercio internacional. En el año de 1976 totoaba se incluyó en el apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) como una especie en peligro de extinción (True, 2012).

Con fines de salvar a totoaba del peligro de extinción, desde 1993 la “Unidad de Biotecnología en Piscicultura (UBP)” de la Facultad de Ciencias Marinas (FCM) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) ha realizado investigaciones para llevar a cabo la reproducción del organismo con fines de repoblación.

Es importante mencionar que una de las principales limitantes para el cultivo de cualquier especie de peces marinos, como es el caso de *T. macdonaldi*, es la obtención de juveniles saludables y que tengan un crecimiento aceptable para el desarrollo del cultivo y esto se puede lograr mediante una buena nutrición derivada de alimentos formulados con ingredientes de buena calidad (Abdo de la Para *et al.*, 2010). Sin embargo, cuando los alimentos suministrados a los organismos no cumplen con los requerimientos nutricionales requeridos por la especie, surgen efectos que alteran el crecimiento, así como también la sobrevivencia, condicionando de cierta manera el éxito o fracaso del cultivo que se está desarrollando (Rodríguez Aguilera, 2009).

Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de Totoaba macdonaldi bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.

Por ello, desde hace una década, el grupo de Nutrición Acuícola de la FCM ha realizado diversos estudios orientados a mejorar la nutrición de la totoaba bajo condiciones de cultivo, tales como los realizados por; Solórzano *et al.* (2006), Vizcaíno Pérez, (2008) y Rueda López *et al.* (2011), quienes utilizaron dietas isoprotéicas y distintos niveles de energía; Villareal Rodarte (2011) quien vario la concentración de ácidos grasos (n-3) o el realizado por González Acevedo (2011), donde incluyó diferentes niveles de carbohidratos en la dieta (adicionadas con probióticos); con la finalidad de determinar efectos en el crecimiento, consumo, sobrevivencia y composición química proximal de juveniles de totoaba y encontrar una dieta ideal específica para la especie. Estudios más directos con la nutrición y el metabolismo de juveniles de totoaba (silvestres y de cultivo) se han desarrollado por Rodríguez Gómez (2003), Torres Cobián (2005), López *et al.* (2006) y Rosas Servin (2006), quienes determinaron el perfil de ácidos grasos, contenido estomacal y absorción de aminoácidos con el fin de conocer mejor los requerimientos nutricionales de los mismos.

Después de haber logrado la primera reproducción en cautiverio de la especie en 1998 y gracias al desarrollo de alimentos formulados se han podido obtener juveniles de cuatro a seis meses de edad que han permitido demostrar que es factible realizar la repoblación de la especie y pensar en llevar la investigación desarrollada a un nivel acuícola comercial (True, 2012). Sin embargo, a pesar de todo el desarrollo que se ha logrado para la especie, aún es necesario realizar investigación en cuanto a aspectos nutricionales de totoaba

para poder producir organismos más saludables que puedan ser llevados a un cultivo comercial redituable y sustentable.

Los principales problemas por los que atraviesa la acuicultura para continuar con su crecimiento es la obtención de ingredientes de origen marino que sirven para emplearlos en la elaboración de alimento. Mientras más crece y se expande la acuicultura se ha vuelto más difícil adquirir los ingredientes, los cuales a su vez son más costosos (Pickova y Mørkøre, 2007). La industria de harinas y aceite de pescado, según FAO, se encuentra estancada y no se esperan aumentos en su producción ya que las pesquerías de pelágicos menores ha disminuido desde los últimos años (FAO, 2012). Además, la demanda de las harinas y aceite de pescado entre los diferentes sistemas productivos se triplicó desde 1996. Para el año de 2006, la acuicultura consumió 3.06 millones de toneladas (56%) de la producción mundial de harina de pescado, y 780,000 toneladas (87%) de la producción total de aceite de pescado (Labatut y Kourous, 2008).

A causa de la escases y la gran demanda por las harinas y aceite de pescado, la investigación acuícola ha motivado la búsqueda de conocimientos y alternativas para resolver la problemática sobre la alimentación de peces marinos, orientando la investigación hacia tres aspectos (González Vargas, 1980):

- Mínimo riesgo a la salud humana.
- Menor cantidad de excreciones de nutrientes en el agua:

*Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de *Totoaba macdonaldi* bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.*

- Mayor digestibilidad y absorción de nutrientes de dietas formuladas para peces específicos con requerimientos específicos.
- Mayor utilización de fuentes alternas al aceite y harina de pescado, como aquellos de origen vegetal.

Con el fin de contribuir al conocimiento de los requerimientos de esta especie, y a la posibilidad de utilizar fuentes lipídicas alternas al aceite de pescado, se estableció como objetivo del presente trabajo evaluar el crecimiento, sobrevivencia y composición química proximal de juveniles de *T. macdonaldi*, alimentados con dietas formuladas con distintos niveles de aceites de origen vegetal, en sustitución parcial del aceite de pescado bajo condiciones de cultivo.

2.- ANTECEDENTES

Durante los últimos años los aceites provenientes de fuentes vegetales se han considerado como la alternativa ideal para continuar con el desarrollo acuícola (Wang *et al.*, 2010), esto es debido a que se pueden encontrar en mayor abundancia y a un mejor precio que un aceite proveniente de pescado (Cheng *et al.*, 2004). Los principales problemas con los aceites de pescado es su disponibilidad, precio elevado y la gran demanda en las demás industrias productivas que se benefician de ello (ganadero, avícola, humano, otros), así como la disminución de la productividad pesquera (FAO, 2006, Ojeda Ojeda, 2005, Turchini *et al.*, 2009,).

A pesar que los aceites vegetales han mostrado ser una solución alentadora a la limitante del aceite de pescado, deben ser evaluados para garantizar que no se generen alteraciones en la fisiología de la especie, tales como; crecimiento, salud y bienestar en órganos internos (Pickova y Mørkøre, 2007). Por ello, se considera indispensable elegir de manera adecuada el aceite vegetal a emplear; considerando tanto el perfil de ácidos grasos que contiene como aquellos que son indispensables y requeridos por la especie. Un mal perfil nutricional proporcionado por el aceite elegido podrá provocar alteraciones en el metabolismo generando enfermedades e incluso la muerte del pez (Parpoura y Alexis, 2001).

La investigación mundial que se ha desarrollado con respecto al uso de los aceites vegetales se ha encaminado a conocer la concentración que las especies podrían soportar (especialmente peces carnívoros) y cuáles son las ventajas que presenta al sustituirse por un aceite de pescado (Pickova y Mørkøre, 2007).

Los principales aceites vegetales que se han empleado para utilizarlos como sustitución del aceite de pescado son los provenientes de la linaza, el maíz y la soya debido a su rico perfil de ácidos grasos, semejantes a los requeridos por las especies acuícolas, a la disponibilidad en el mercado y el precio bajo en comparación con el aceite de pescado. Dichos aceites se han probado en especies como lubina europea (*Dicentrarchus labrax*), lubina japonesa (*Lateolabrax japonicus*), trucha arcoíris (*Onchorhynchus mykiss*), dorada (*Sparus aurata*), lucioperca (*Sander lucioperca*) y corvina blanca (*Atractoscion nobilis*) (Parpoura y Alexis, 2001; Izquierdo *et al.*, 2003; Ojeda Ojeda, 2005; Xue *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2007; Kowalska *et al.*, 2010; Vizcaíno Pérez, 2012; Velázquez García, 2012) donde han expuesto que, en comparación con una dieta a base de aceite de pescado, el uso moderado de los aceites vegetales no afecta el crecimiento, desarrollo o sobrevivencia de la especie. Sin embargo, ciertos autores han demostrado mediante estudios histológicos, que debido al uso de los aceites vegetales se presentan degeneraciones y hemorragias en órganos internos.

Otros aceites, poco estudiados como canola, palma y camelina, se han empleado en especies de bagre (*Clarias gariepinus*) y salmones (*Salmo salar*) y

se han obtenido resultados como aumentos en crecimiento, mejor retención de proteína y acumulación de ácidos grasos en tejido muscular (Ochang *et al.*, 2007, Bell *et al.*, 2010).

3.- OBJETIVOS

3.1.- Objetivo general

Evaluar el efecto del crecimiento y desarrollo de juveniles de totoaba (*Totoaba macdonaldi*) alimentados con dietas a base de aceites de origen vegetal (linaza/maíz) en sustitución parcial del aceite de pescado.

3.2.- Objetivos particulares

Evaluar el crecimiento y sobrevivencia de juveniles de totoaba (*T. macdonaldi*) alimentados con dietas isolipídicas e isoprotéicas utilizando aceites vegetales como la linaza y el maíz, en sustitución parcial al aceite de pescado.

Determinar el consumo, tasa de crecimiento específica (TCE), tasa de eficiencia alimenticia (TEA), la tasa de eficiencia protéica (TEP), índice viscerosomático (IVS) y hepatosomático (IHS) de los organismos alimentados con distintos niveles de energía en dietas formuladas para juveniles de *Totoaba macdonaldi*.

Determinar las concentraciones de proteína, lípidos y ceniza en cada una de las dietas empleadas, en pez entero, músculo, vísceras e hepatopáncreas al término del experimento.

Determinar la concentración de glucógeno en hepatopáncreas para conocer el grado de depósito a partir del almidón en las dietas en los juveniles de totoaba (*T. macdonaldi*) a lo largo del experimento.

4.- METODOLOGÍA

4.1.- Elaboración de las dietas

Con ayuda de una formulación diseñada por el Grupo de Investigación en Nutrición y Desarrollo Acuícola (GINDA) se elaboraron tres dietas complementadas con aceites vegetales (linaza y maíz), una dieta con hasta un 40% aceite de maíz y una dieta denominada control con el 100% de aceite de pescado. Cada una de las dietas se diseñaron con valores similares de energía ($4899.9 \text{ cal g}^{-1}$), proteína (50.0%), lípidos (12.8%), cenizas (13.1%) y almidón (15%).

Para el caso de las variaciones en las concentraciones de lípidos en la dieta, el 60% del total de los lípidos fue aportado por el aceite de pescado. El 40% restante lo aportaron las combinaciones de los aceites de origen vegetal (Tabla I). Los tratamientos fueron nombrados de acuerdo al porcentaje de lípido de la dieta diseñada que fue sustituido en su mayoría, siendo: DAP, dieta con 100% de aceite de pescado (Dieta control); DAM, dieta que contenía 40% de aceite de maíz; DL10/M30, dieta con 10% linaza y 30% maíz del total de aceite empleado en la formulación; DL20/M20, dieta con 20% linaza y 20% maíz del total de aceite empleado en la formulación; DL30/M10, dieta con 30% linaza y 10% maíz del total de aceite empleado en la formulación.

El alimento se preparó dentro de las instalaciones del UBP con ayuda de una mezcladora con capacidad de 5 kg y una peletizadora en la cual se integraron los ingredientes correspondientes de cada una de las dietas (Tabla II). Una vez obtenidos los pellets se refrigeraron por dos horas y posteriormente se colocaron en una estufa de calentamiento por 12 horas a una temperatura de 65°C ±5. Secos los pellets, éstos fueron rociados con probiótico (*Bacillus sp.*) y almacenados en refrigeración hasta su uso como alimento para los organismos en estudio.

Tabla I.- Esquema de la formulación de las dietas elaboradas con diferentes concentraciones de aceites vegetales (hasta 40% de aceite de pescado sustituido).

Dieta/Tratamiento	Aceite de pescado (%)	Aceite de linaza (%)	Aceite de maíz (%)
DAP	100	0	0
DAM	60	0	40
DL10/M30	60	10	30
DL20/M20	60	20	20
DL30/M10	60	30	10

DAP= Dieta control. 100% Aceite de pescado

DAM= Dieta 40% aceite de maíz.

DL10/M30= Dieta Con un 10% de aceite de linaza y 30% aceite de maíz.

DL20/M20= Dieta Con un 20% de aceite de linaza y 20% aceite de maíz.

DL30/M10= Dieta Con un 30% de aceite de linaza y 10% aceite de maíz.

*Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de *Totoaba macdonaldi* bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.*

Tabla II. Formulación de las dietas experimentales para juveniles de *Totoaba macdonaldi*.

Ingrediente (%)	DAP	DAM◇	DL10/M30◇	DL20/M20◇	DL30/M10◇
Harina pescado	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
Harina krill	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Proteína soya	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50
Aceite de pescado	5.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Aceite de maíz	0.00	5.60	0.00	0.00	0.00
DL30/M10	0.00	0.00	0.00	0.00	5.60
DL20/M20	0.00	0.00	0.00	5.60	0.00
DL10/M30	0.00	0.00	5.60	0.00	0.00
*Otros nutrientes	34.91	34.91	34.91	34.91	34.91
kcal/g ⁻¹	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84
kJ/g ⁻¹	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Razón P/E MJ kg ⁻¹	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0

*Taurina, mezcla minerales, mezcla vitaminas, Cloruro de colina, a-tocopherol, D-calcio, probiótico, ácido ascórbico, nutrikelp. ◇Las dietas con aceites vegetales contenían 60% de aceite de pescado proveniente de la harina de pescado.

Tabla III. Composición química proximal de las dietas experimentales para juveniles de *Totoaba macdonaldi*.

Ingrediente (g 100 g⁻¹)	DAP	DAM	DL10/M3 0	DL20/M20	DL30/M10
Proteínas	52.0±0.74	51.0±0.78	52.0±0.98	51.2± 0.88	51.3±1.97
Lípidos	14.1±0.87	14.8±0.58	14.2±0.65	14.8±0.81	15.3±1.14
Cenizas	12.0±0.2	12.1±0.15	11.7±0.06	12.0±0.07	12.0±0.16
Almidón	15.6±1.1	13.4±1.21	13.7±1.24	12.6±0.62	13.1±1.81

Resultados representados con media ± desviación estándar.

4.2.- Condiciones de cultivo

Durante un periodo de 68 días se mantuvieron bajo condiciones de cultivo controlado juveniles de *Totoaba macdonaldi* donadas por la Unidad de Biotecnología en Piscicultura (UBP) de la Facultad de Ciencias Marinas (FCM) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC).

Los peces contaban con un peso de 13.35 ±1.37 g, los cuales fueron acondicionados al sistema experimental durante un tiempo de cinco semanas, tiempo en el cual los organismos fueron alimentados con una dieta comercial dos veces por día. Finalizada la etapa de acondicionamiento, los organismos contaban con un peso promedio inicial de 18.98 ±0.23 g. Los juveniles fueron mantenidos a

*Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de *Totoaba macdonaldi* bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.*

una temperatura de $22 \pm 1^\circ\text{C}$ en un sistema semi-cerrado de quince unidades experimentales de 80 L de capacidad soportados con una lámpara de U.V. y un biofiltro (al cual se le realizaba un retrolavado semanalmente) para mantener la calidad del agua en las mejores condiciones. Los niveles de amonio, medidos semanalmente, se mantuvieron entre valores de $0-1.0\text{mg L}^{-1}$. Por otro lado, el oxígeno, medido durante las mañanas, se mantuvo entre valores de $6.78-7.25\text{mg L}^{-1}$.

Un total de 375 organismos fueron distribuidos de manera aleatoria en quince unidades experimentales para los cinco tratamientos, trabajando de esta manera con tres replicas por tratamiento. Las raciones alimenticias fueron a saciedad aparente, dos veces al día; 09:00 horas y a las 17:00 horas y se llevó un registro diario del alimento consumido por unidad. La limpieza de las unidades de cultivo se realizó por medio de sifoneo dos veces al día.

4.3.- Muestreo y toma de datos

Durante el desarrollo del experimento se realizaron tres biometrías (considerando cada uno de los organismos de cada tratamiento) con la finalidad de registrar los pesos (g) y las tallas (cm) iniciales y finales para obtener los índices de crecimiento. Para ello, los organismos fueron anestesiados con aceite de clavo (200 mg diluidos en 5 ml de etanol) el cual se vertió en un recipiente de 18 L con agua de mar (incluyendo una piedra de aireación) en donde se recibieron

los organismos de cada unidad experimental. Una vez bajo la influencia del anestésico, los organismos fueron pesados con ayuda de una balanza analítica y medidos con un ictiómetro. Pesados y medidos, los organismos se regresaron a la unidad de cultivo para su recuperación.

Al final del experimento, se sacrificaron organismos para la colecta de muestras de pez entero, tejido muscular, hepatopáncreas y vísceras para realizar los análisis proximales correspondientes por triplicado. Las muestras colectadas se mantuvieron en un congelador de la UBP a -11°C hasta el día de su análisis en laboratorio.

4.4.- Parámetros de crecimiento y sobrevivencia

Con los valores obtenidos de las biometrías y la colecta de muestra para análisis en laboratorio, se calculó la sobrevivencia de los organismos y el desarrollo de los parámetros biológicos tales como:

- Peso ganado

$$\text{PG} = \text{Peso}_{\text{final}} - \text{Peso}_{\text{inicial}}$$

- Consumo de alimento

$$\text{Consumo} = \frac{\text{alimento consumido (g)}}{\text{días de experimento}} + \text{Número de peces}$$

*Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de *Totoaba macdonaldi* bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.*

- Tasa Específica de Crecimiento

$$TEC = \frac{[\ln (P_f/P_i)]}{\Delta_t} * 100$$

Dónde:

P_i = Peso inicial

P_f = Peso final

Δ_t = Días que duró el experimento

- Tasa de Conversión Alimenticia

$$TCA = \frac{\text{Alimento consumido (g)}}{\text{Peso ganado (g)}}$$

- Razón de Eficiencia Proteica

$$REP = \frac{\text{Peso ganado (g)}}{\text{Proteína consumida (g)}}$$

4.5.- Índice hepatosomático y viscerosomático

De una muestra de organismos se extrajeron hepatopáncreas y vísceras, las cuales fueron pesadas en una balanza analítica (Sartorius CP2245) para la determinación de los índices correspondientes (IHS; Índice hepatosomático, IVS; Índice viscerosomático). Dicho parámetro se define como la porción de hepatopáncreas/víscera con respecto al tamaño del organismo muestreado.

$$IHS = \frac{\text{Peso del hígado}}{\text{Peso del pez}} \quad IVS = \frac{\text{Peso de vísceras}}{\text{Peso del pez}}$$

4.6.- Análisis químico proximal

Se analizó la composición química proximal de cada una de las muestras colectadas a lo largo del experimento: dietas, pez entero, tejido muscular, vísceras, hepatopáncreas. Además, se determinó el contenido de glucógeno en muestras de hepatopáncreas de los juveniles de totoaba.

Humedad: Se tomó una muestra y se puso a secar en una estufa (Lindberg/Blue) a 105°C por seis horas. El valor de la humedad se determinó empleando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = 100 - \left(\frac{\text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra húmeda}} \right) * 100$$

Proteína: Empleando el método micro-Kjeldahl, se determinó la cantidad de nitrógeno total en la muestra en tres fases: Digestión, destilación y titulación. La digestión se realizó con ácido sulfúrico (H₂SO₄) en un digestor (LABCONCO). Posterior a ello, la muestra fue destilada en un destilador (LABCONCO). El vapor liberado se condensó y se captó en una solución de ácido bórico la cual paso a ser titulación con ácido clorhídrico (HCl = 0.02N), para determinar el porcentaje de nitrógeno de la muestra. Al final el contenido proteico se determinará con las siguientes formulas:

$$\% \text{ N} = \frac{\text{HCl} * n * 0.014 * 100}{\text{muestra (g)}} \quad \% \text{ P} = \% \text{ N} * 6.25$$

Dónde:

HCl = Cantidad de ácido clorhídrico (0.02N) utilizado durante la titulación (ml)

n = Normalidad del HCl

%N = Porcentaje de nitrógeno de la muestra

%P = Porcentaje de proteína

6.25= Factor de conversión de nitrógeno a proteína

Lípidos: Fueron determinados según el método modificado de Folch *et al.* (1995).

Consiste en extraer los lípidos totales de una muestra en una solución de cloroformo y metanol (2:1). Después de la extracción, se realiza una separación de mezclas para la separación de los solventes empleados. Al final se evaporará el cloroformo que contiene los lípidos en una plancha de evaporación (Cole-Parmer) a 70°C y posteriormente se obtiene el peso del extracto de lípidos para determinar la concentración presente en la muestra.

$$\% \text{ Lípidos} = \left(\frac{\text{peso extracto lípidos}}{\text{peso muestra}} \right) * 100$$

Cenizas: Se tomó una muestra y se calcinó en una mufla (Furnace 6000) a 220°C por dos horas y posteriormente se elevó la temperatura a 550°C por seis horas. El porcentaje de ceniza se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \left(\frac{\text{peso residuo}}{\text{peso muestra}} \right) * 100$$

Almidón: Se determinan siguiendo la metodología descrita por Thivend (1972), en donde una muestra (0.05 g y 25 ml de agua destilada) es esterilizada en autoclave (Market Forge) por un tiempo de 1 hora. Seguido de ello se realiza una digestión con ayuda de la enzima Amiloglucosidasa de *Aspergillus niger* (2 ml de solución: 0.0291 g de enzima por 25 ml de agua destilada) durante dos horas. Las muestras son filtradas a través de papel Watman #4 y se aforan las muestras a 100 ml. El contenido de almidón se cuantificó utilizando el kit Pointe Scientific, Inc. (10 µl de muestra). Para ello, se tomó 1 ml de la solución "Liquid Glucose Oxidasa" en un tubo eppendorf de 2 ml de capacidad y se calentó en baño maría (Thermo scientific 180 series) durante diez minutos a 37°C. Posteriormente, se agregaron 10 µl de la solución a evaluar y se incubaron en una estufa (VWR) durante 10 minutos a 37°C. Finalmente, las muestras se evaluar on mediante la absorbancia de las mismas en un espectrofotómetro (HACH DR 5000) a una longitud de onda de 520 nm. El contenido de glucógeno se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Almidón} = \left(\frac{\text{glucosa (mg dL}^{-1}) * 0.9 * 0.001}{\text{peso muestra (g)}} \right) * 100$$

Dónde:

0.9= Factor de conversión de glucosa en almidón

0.001= Transformación de la concentración de glucosa de miligramos a gramos.

Glucógeno: El contenido de glucógeno fue determinado siguiendo la metodología de Plumer (1987), el cual consiste en la transformación del glucógeno, de una porción de hepatopáncreas (0.5 g de muestra), a glucosa mediante la

degradación del tejido con hidróxido de potasio (KOH al 30%) a alta temperatura (100°C durante 20 min) en un baño maría (GCA / PRECISION SCIENTIFIC), para posteriormente ser centrifugado a 2000 gravedades durante 10 minutos y obtener un pellet. Dicho pellet se disolvió en agua (aforado a 10 ml), se tomó 1ml de muestra aforada y se sometió a una digestión ácida (1 ml de HCl 1.2 M) durante dos horas a baño maría a 100°C. Se neutralizaron y aforan las muestras (5 ml) para posteriormente determinar el contenido de glucosa utilizando el kit Pointe Scientific, Inc (10 µl de muestra) y leyendo las absorbancias de las muestras a 520 nm.

$$\% \text{ Glucógeno} = \left(\frac{\text{glucosa (mg dL}^{-1}) * 0.5 * 0.9 * 0.001}{\text{peso muestra (g)}} \right) * 100$$

Dónde:

0.9= Factor de conversión de glucosa en glucógeno.

0.5= Contenido de glucosa en dilución de muestra.

0.001= Transformación de la concentración de glucosa de miligramos a gramos.

4.7.- Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el Software SigmaStat 3.5 para Windows. Se realizaron comparaciones entre tratamientos empleando el método de análisis de varianza de una vía (ANOVA). Las diferencias significativas entre los tratamientos se determinaron mediante la prueba Holm-Sidak ($P < 0.05$).

A los datos que no cumplieron con la homogeneidad de varianza, se les aplicó la prueba de Tukey.

Los resultados obtenidos fueron reportados como media \pm desviación estándar. Los valores expresados como porcentaje, se transformaron con la función arcoseno y se evaluó la distribución normal y la homogeneidad de varianzas. Las diferencias entre los grupos de datos que no presentaron homogeneidad de varianzas se analizaron a través de la prueba de Dunn's. Los datos que no cumplieron con la distribución de normalidad fueron analizados utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y se reportaron con el valor de la mediana.

5.- RESULTADOS

5.1.- Parámetros de crecimiento

Durante el estudio, los peces consumieron el alimento que se les asignó sin observar problemas en crecimiento, sobrevivencia o malformaciones que condujeran a una enfermedad o a la muerte debido al alimento ingerido. La Tabla IV muestra los valores biológicos en base al crecimiento de los organismos alimentados con las dietas experimentales.

Tabla IV. Valores biológicos de juveniles de *Totoaba macdonaldi* alimentados con diferentes sustituciones de aceites vegetales y un alimento comercial durante 68 días.

Dieta	DAP	DAM	DL10/M30	DL20/M20	DL30/M10	P
Longitud inicial (cm)*	11.9	11.9	12.00	11.8	11.9	ns
Longitud final (cm)	18.5±0.87	18.6±0.40	18.8±0.40	18.9±0.28	18.5±1.02	ns
Peso inicial (g)*	18.65	18.70	19.10	19.30	19.15	ns
Peso ganado (g)	53.2±0.54	50.0±2.62	52.5±1.83	50.6±1.3	54.6±1.43	ns
Sobrevivencia (%)	88.8±7.78	100.0±0	97.1±5.02	93.4±3.48	95.7±4.04	ns
Consumo (g org ⁻¹ día ⁻¹)	0.56±0.03	0.60±0.01	0.56±0.08	0.50±0.13	0.57±0.08	ns
TEC (% org ⁻¹ día ⁻¹)	2.0±0.01	1.9±0.07	1.9±0.09	1.9±0.01	2.0±0.07	ns
TCA	0.72±0.03	0.82±0.09	0.74±0.12	0.73±0.03	0.71±0.10	ns
REP	1.8±0.01	1.6±0.02	1.7±0.24	1.8±0.06	1.8±0.34	ns

IHS (%)	1.2±0.07	1.0±0.05	1.0±0.05	1.0±0.09	1.±0.05	ns
IVS (%)	3.5±0.52	3.4±0.29	3.4±0.43	3.5±0.2	3.6±0.66	ns

Resultados representados con media \pm desviación estándar. Tasa específica de crecimiento (TEC); Tasa de conversión Alimenticia (TCA); Razón de eficiencia proteica (REP); Índice hepatosomático (IHS); Índice viscerosomático (IVS). P = probabilidad. ns= No Significativo. *Análisis de Kruskal-Wallis (representado con el valor de la mediana).

Los juveniles de totoaba al inicio del experimento presentaron una longitud promedio de 11.9 ± 0.1 cm. Al finalizar el experimento, los resultados obtenidos en cuanto a la talla no presentaron diferencias significativas ($P = 0.94$) entre los tratamientos, con valores entre 18.5 y 18.9 cm (Figura 1).

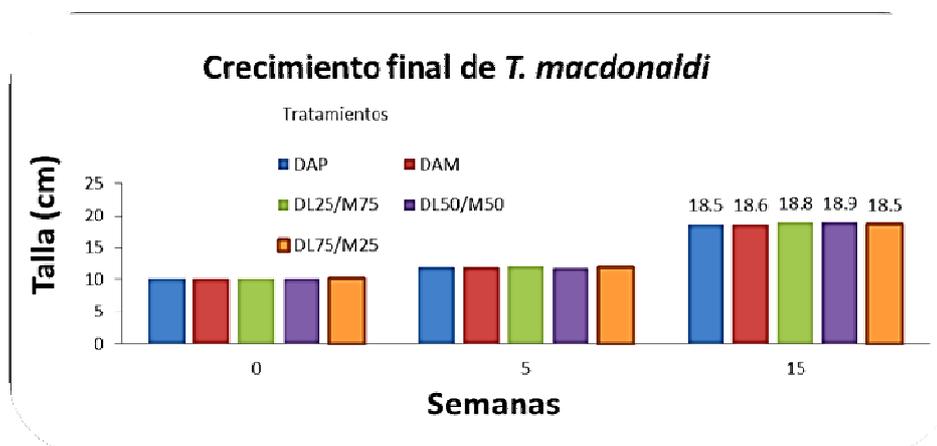


Figura 2. Curva de crecimiento en talla (cm) de juveniles de *Totoaba macdonaldi* a lo largo de diez semanas de experimento.

Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de Totoaba macdonaldi bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.

Para el caso de la masa corporal (Figura 2) los organismos iniciaron con un peso promedio de 18.98 ± 0.29 g, después de un periodo de diez semanas los organismos pesaron entre 69.1 ± 14.36 g y 74.0 ± 12.04 g.

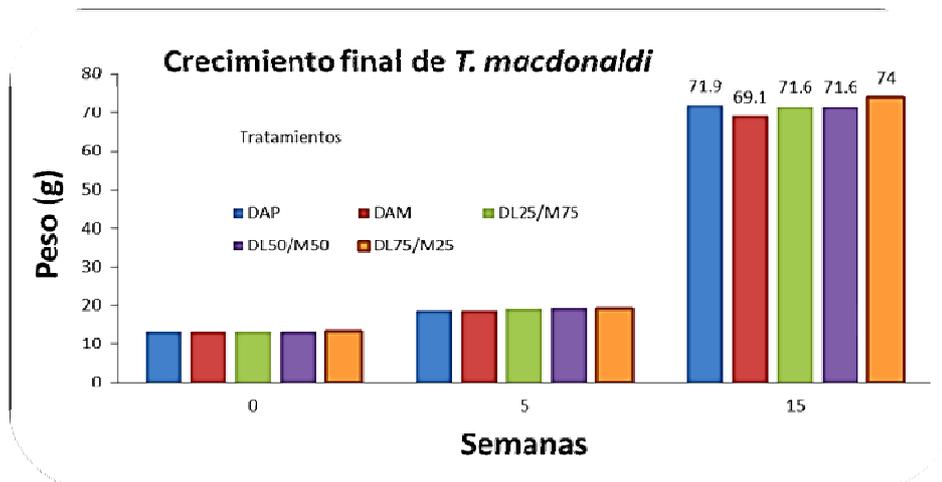


Figura 3. Curva de crecimiento en peso de juveniles de *Totoaba macdonaldi* a lo largo de diez semanas de experimento.

El registro del crecimiento en peso al finalizar el experimento no presentó diferencias significativas ($P = 0.40$) entre los tratamientos. El valor más alto registrado fue para el tratamiento DL30/M10 (74.0 ± 12.04 g), seguido del tratamiento DAP (72.0 ± 12.85 g). Los valores más bajos se encontraron en las dietas cuyo porcentaje de aceite de maíz fue mayor que el porcentaje incluido de linaza; siendo DAM el tratamiento que registró el valor más bajo con 69.1 ± 14.36 g.

La sobrevivencia final registrada no presentó diferencias significativas ($P = 0.15$) debida a la variabilidad de los resultados determinados. Los resultados muestran que el tratamiento DAM presentó el valor más alto con 100% de sobrevivencia (Tabla IV); seguida de los tratamientos DL10/M30, DL30/M10, DL20/M20 (97, 95 y 93%, respectivamente) y finalmente los organismos alimentados con la dieta DAP con un $88.8 \pm 7.78\%$.

El alimento consumido por gramo de organismo por día no presentó diferencias significativas ($P = 0.63$) entre los tratamientos, registrando valores de consumo que van de $0.50 \pm 0.13 \text{ g org}^{-1} \text{ día}^{-1}$ hasta $0.60 \pm 0.01 \text{ g org}^{-1} \text{ día}^{-1}$ (Tabla IV), siendo los organismos alimentados con la dieta DAM los que presentaron el valor más alto, seguido del tratamiento DL30/M10 con $0.57 \pm 0.08 \text{ g org}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Los valores más bajos se encontraron en la dieta DAP y DL10/M30 (ambas con $0.56 \text{ g org}^{-1} \text{ día}^{-1}$) y en la dieta DL20/M20 (con $0.50 \pm 0.13 \text{ g org}^{-1} \text{ día}^{-1}$).

La tasa de crecimiento específica (TCE) no registró diferencias significativas ($P = 0.48$) entre los tratamientos, con valores que van de 1.9 a $2.0\% \text{ org}^{-1} \text{ día}^{-1}$ (Tabla IV). El valor más elevado se registró en la dieta DAP con un valor de $2.0 \pm 0.01\% \text{ org}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y en la dieta DL30/M10 ($2.0 \pm 0.07\% \text{ org}^{-1} \text{ día}^{-1}$). Los valores más bajos se presentaron en las dietas que contenían un porcentaje alto de aceite de maíz; DL10/M30 ($1.9 \pm 0.09\% \text{ org}^{-1} \text{ día}^{-1}$); DAM ($1.9 \pm 0.07\% \text{ org}^{-1} \text{ día}^{-1}$); D20/M20 ($1.9 \pm 0.01\% \text{ org}^{-1} \text{ día}^{-1}$).

Los resultados obtenidos para la tasa de conversión alimenticia (TCA) no presentan diferencias significativas ($P = 0.55$) entre los tratamientos, registrando

valores que van de 0.71 a 0.82. De acuerdo a los valores obtenidos (Tabla IV) fueron los organismos alimentados con mayor cantidad de aceite de maíz en la dieta los que presentaron los valores más elevados de TCA, la dieta DAM con un valor de 0.82 ± 0.09 ; seguida de DL10/M30 (0.74 ± 0.12) y DL20/M20 (0.73 ± 0.03). Los valores más bajos se encontraron en DL30/M10 (0.71 ± 0.10) y DAP (0.72 ± 0.03).

El valor obtenido para la razón de eficiencia proteica (REP) no registró diferencias significativas ($P = 0.73$) entre los tratamientos, teniendo valores que van desde 1.7 a 1.8 (Tabla IV). El valor más elevado se encontró en la dieta 100% pescado (DAP; 1.8 ± 0.01) y en las dietas que contenían una menor cantidad de aceite de maíz y mayor proporción linaza.

Dentro de la evaluación de los índices biológicos (Tabla IV), no se registraron diferencias significativas ($P = 0.09$) entre los tratamientos, teniendo de este modo para el índice hepatosomático (IHS) valores que van de 1.0 a 1.2%, encontrando en los peces alimentados con dietas con el 100% de aceite de pescado (DAP) el valor más elevado.

Los valores del índice viscerosomático (IV) no mostraron diferencias significativas ($P = 0.91$) entre los tratamientos, el rango de valores obtenidos fue de 3.4 a 3.6%, teniendo como valores más elevados aquellos tratamientos alimentados con la menor proporción de aceite de maíz (DL30/M10; $3.6 \pm 0.66\%$, DL20/M20; $3.5 \pm 0.2\%$, DAP; $3.5 \pm 0.52\%$). Los valores más bajos se presentaron en la dieta DL10/M30 y DAM; ambas con un valor de 3.4%.

5.2.- Contenido químico proximal

Dietas experimentales

Las dietas experimentales presentaron buena aceptación por parte de los organismos. Los componentes bioquímicos, tales como: proteína, lípidos, cenizas y almidón, no presentaron diferencias significativas entre las dietas (Tabla V).

Tabla V. Contenido proximal en dietas elaboradas para juveniles de *T. macdonaldi* con contenido de aceite de pescado, linaza y maíz.

Tratamiento	*Humedad (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)	Almidón (%)
DAP	8.5 ± 0.45 ^b	52.0 ± 0.76	14.1 ± 0.87	12.0 ± 0.20	15.6 ± 1.06
DAM	9.4 ± 0.24 ^a	51.0 ± 0.78	14.8 ± 0.58	12.1 ± 0.15	14.1 ± 0.33
DL10/M30	9.6 ± 0.20 ^a	51.7 ± 1.11	14.2 ± 0.65	11.7 ± 0.11	14.3 ± 0.90
DL20/M20	9.6 ± 0.12 ^a	51.2 ± 0.88	14.8 ± 0.81	12.0 ± 0.12	12.9 ± 0.61
DL30/M10	9.2 ± 0.34 ^{ab}	51.3 ± 1.97	15.3 ± 1.14	12.0 ± 0.27	13.9 ± 1.65
P	< 0.05	ns	ns	ns	ns

Resultados representados con media ± desviación estándar. *P* = Probabilidad. ns= No Significativo.*Análisis Holm-Sidak

El porcentaje de humedad remanente después de secar las dietas presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos. Los valores registrados para proteína, no presentaron diferencias significativas ($P = 0.18$) entre las dietas,

Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de Totoaba macdonaldi bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.

teniendo valores de 51 a 52%. Los lípidos se mantuvieron en rangos de 14.1 a 15.3%, sin encontrar diferencias significativas ($P = 0.45$). Los valores de cenizas en las dietas experimentales, se mantuvieron con valores del $11.7 \pm 0.11\%$ (DL20/M20) a $12.1 \pm 0.15\%$ (DAM), los cuales no presentaron diferencias significativas ($P = 0.14$). Los valores obtenidos para el contenido de almidón en las dietas experimentales no presentaron diferencias significativas ($P = 1.7$), Tabla V.

Pez entero

Los valores de humedad en pez entero no presentaron diferencias significativas ($P = 0.53$) entre los tratamientos con 74.4 a 76.1% (Tabla VI).

Tabla VI. Contenido proximal en muestra de pez entero de juveniles de *T. macdonaldi* alimentados a lo largo de 68 días con dietas que contenían aceite de pescado, linaza y maíz.

Tratamiento	Humedad (%)	*Proteína (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)
DAP	75.6 ± 0.91	74.9 ± 4.12^a	17.4 ± 0.87	11.1 ± 0.69
DAM	74.4 ± 0.63	69.7 ± 2.10^b	15.8 ± 2.75	11.1 ± 0.48
DL10/M30	74.8 ± 0.44	67.6 ± 3.99^b	17.4 ± 2.52	11.6 ± 0.73
DL20/M20	76.1 ± 0.81	72.5 ± 3.97^{ab}	14.8 ± 0.23	11.7 ± 0.48
DL30/M10	74.7 ± 1.08	69.4 ± 2.89^b	13.5 ± 0.98	11.0 ± 1.37
P	ns	<0.05	ns	ns

Resultados representados con media \pm desviación estándar. P = probabilidad. ns= No Significativo. *Análisis Holm-Sidak.

El contenido proteico el pez entero presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos con valores de $67.6 \pm 3.99\%$ a $74.9 \pm 4.12\%$. Se reporta como valor más alto el tratamiento donde se empleó aceite de pescado al 100% (dieta control DAP) seguido del tratamiento donde se incluyó un 20% de aceite de linaza y 20% de aceite de maíz (DL20/M20) donde DAP resultó diferente significativamente con el resto de los tratamientos.

En el caso de los lípidos, para muestra de pez entero, presentaron valores que van desde $13.5 \pm 0.98\%$ (tratamiento DL30/M10) a $17.4 \pm 0.87\%$ (tratamiento DAP) sin encontrar entre ellos diferencias significativas ($P = 0.12$). En aquellas dietas en donde se empleó una combinación de aceites vegetales.

Los niveles de ceniza de pez entero no presentaron diferencias significativas ($P = 0.86$) entre los tratamientos con un rango de $11.7 \pm 0.48\%$ a $11.0 \pm 1.37\%$.

Tejido muscular

Los análisis determinados para el contenido de humedad, no mostraron diferencias significativas ($P = 0.43$) entre los tratamientos. Los valores obtenidos se mantuvieron en el rango que van de $77.5 \pm 0.55\%$ hasta $78.4 \pm 0.53\%$.

Los niveles de proteína (Tabla VII) presentaron valores por encima del 85%, encontrando entre los tratamientos diferencias significativas ($P < 0.05$). El tratamiento alimentado con la mayor cantidad de aceite de maíz (DAM) fue el que

presentó el valor más bajo de proteína con $86.4 \pm 1.96\%$ seguido del tratamiento control (DAP; 87.0 ± 1.08), los cuales fueron estadísticamente similares. Los valores más elevados se encontraron en las dietas DL10/M30, DL30/M10 y DL20/M20 (similar estadísticamente con DAP y DAM) con valores de 91.0 ± 1.23 , 89.7 ± 1.55 , 89.54 ± 0.91 , respectivamente.

Tabla VII. Contenido proximal en muestra de tejido muscular de juveniles de *T. macdonaldi* alimentados durante 13 semanas con dietas sustituyendo parte del aceite de pescado por fuentes vegetales (linaza/maíz).

Tratamiento	Humedad (%)	*Proteína (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)
DAP	78.4 ± 0.53	87.0 ± 1.08^b	3.4 ± 0.33	2.5 ± 0.07
DAM	78.1 ± 0.58	86.4 ± 1.96^b	5.1 ± 3.14	2.5 ± 0.01
DL10/M30	77.5 ± 0.55	91.0 ± 1.23^a	3.5 ± 1.17	2.8 ± 0.44
DL20/M20	78.0 ± 0.17	89.5 ± 0.91^{ab}	3.5 ± 0.81	2.6 ± 0.16
DL30/M10	77.9 ± 0.56	89.7 ± 1.55^a	3.2 ± 0.91	2.6 ± 0.13
P	ns	<0.05	Ns	ns

Resultados representados con media \pm desviación estándar. P= probabilidad. ns= No Significativo. Lípidos representados con el valor de la mediana.

*Análisis Holm-Sidak.

El porcentaje de lípidos determinado en tejido muscular de los juveniles de totoaba van del 3% al 5% sin encontrar entre los tratamientos diferencias significativas ($P = 0.63$). El nivel de lípidos más alto fue para el tejido de aquellos

organismos alimentados con la dieta que contenía sustitución del 40% de aceite de maíz (DAM; $5.1 \pm 3.14\%$). Los demás tratamientos, registraron valores que van de $3.2 \pm 0.91\%$ (DL30/M10) a $3.5 \pm 1.17\%$ (DL10/M30).

Los valores de cenizas determinados en tejido muscular de *T. macdonaldi* resultaron con valores entre $2.5 \pm 0.01\%$ y $2.8 \pm 0.44\%$. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P = 0.49$).

Tejido del hepatopáncreas

Los análisis proximales realizados en muestra de hepatopáncreas de juveniles de totoaba, mostraron una tendencia similar en cuanto al porcentaje de proteína y lípidos cuantificados y encontrando que, al aumentar la cantidad de linaza en la dieta (20% y 30%), los niveles de proteína en el tejido mejoran y; al incrementar el aceite de maíz en la dieta (40%), los niveles de lípidos aumentan (Tabla VIII).

El porcentaje de humedad determinado se mantuvo en valores que van de $69.3 \pm 0.01\%$ (tratamiento DAP) hasta $72.2 \pm 0.01\%$ (tratamiento DL10/M30) sin encontrar entre los tratamientos diferencias significativas ($P = 0.89$).

Tabla VIII. Contenido proximal en hepatopáncreas de juveniles de *T. macdonaldi* alimentados a lo largo de 10 semanas con dietas que contenían aceite de pescado, linaza y maíz.

Tratamiento	Humedad (%)	*Proteína (%)	Lípidos (%)	*Cenizas (%)	Glucógeno (%)
DAP	69.3 ± 0.01	32.1 ± 1.41 ^b	32.2 ± 3.82	5.1 ± 0.16 ^b	15.3 ± 2.93
DAM	69.6 ± 2.70	33.7 ± 1.11 ^{ab}	39.8 ± 2.34	5.6 ± 0.51 ^b	12.8 ± 1.52
DL10/M30	70.5 ± 2.99	34.7 ± 0.75 ^a	35.9 ± 5.03	5.6 ± 0.20 ^b	10.6 ± 0.74
DL20/M20	72.2 ± 0.01	35.2 ± 2.30 ^a	34.4 ± 4.47	6.4 ± 0.09 ^{ab}	11.7 ± 1.68
DL30/M10	70.7 ± 3.21	34.7 ± 1.01 ^a	37.1 ± 2.88	6.6 ± 0.14 ^a	14.0 ± 2.32
P	ns	<0.05	Ns	<0.05	ns

Resultados representados con media ± desviación estándar. P= Probabilidad. ns= No Significativo. *Análisis Holm-Sidak

Los niveles de proteína encontrados en el hepatopáncreas de los juveniles de totoaba alimentados con las diferentes dietas presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$), con intervalos que van de 32.1 ± 1.4% al 35.2 ± 2.30%. Los porcentajes de proteína más elevados se presentaron en los tratamientos alimentados con una sustitución combinada de aceite de linaza y maíz, siendo el tratamiento alimentado con la dieta DL20/M20 (35.2 ± 2.30%) la que registró el valor más elevado, seguida de los tratamientos DL10/M30 y DL30/M10 con valores de 34.7 ± 0.75% y 34.7 ± 1.01% respectivamente. El tratamiento en donde

se empleó aceite de maíz a un 40% (DAM 33.7 ±1.11%) resultó con valores de proteína en el hepatopáncreas por debajo con respecto a los tratamientos donde se emplearon combinaciones de aceites vegetales, sin llegar a presentar entre ellas diferencias estadísticas significativas. Los hepatopáncreas analizados provenientes del tratamiento DAP registró el valor más bajos (32.1 ±1.41%) y fue similar únicamente con el tratamiento DAM.

Los análisis químico proximales para lípidos determinados en hepatopáncreas de *T. macdonaldi* no presentaron diferencias significativas ($P = 0.23$) entre los tratamientos. Sin embargo, se presenta una acumulación mayor de grasa en el tejido cuando se hace uso de las dietas que contienen aceites de origen vegetal; tales como DAM, DL10/M30, DL20/M20 y DL30/M10 determinando en estas valores que van de 34% a 39%. El tratamiento que presentó la mayor cantidad de lípidos fue DAM con 39.8 ±2.34%. El valor más bajo encontrado fue en el tratamiento de la dieta control (DAP) con un valor de 32.2 ±3.82%.

La cantidad de glucógeno determinada en hepatopáncreas, no presentó diferencias significativas ($P = 0.13$) entre los tratamientos. Se presentaron valores con intervalos de 10.6 ±0.74% a 15.3 ±2.93%, encontrando en el tratamiento DL10/M30 el valor más bajo y en DAP el valor más alto.

Los valores de cenizas en el tejido hepático de los diferentes tratamientos fueron diferentes significativamente entre sí ($P < 0.05$). Se registraron valores más elevados cuando se emplearon aceites de origen vegetal, más aún cuando se incluyó en la dieta mayor proporción el aceite de linaza: DL30/M10; 6.6 ±0.14%,

DL20/M10; $6.4 \pm 0.09\%$, DL10/M30; $5.6 \pm 0.20\%$, DAM; $5.6 \pm 0.51\%$. El valor más bajo reportado se presentó en el tratamiento alimentado con la dieta control (DAP; $5.1 \pm 0.16\%$); sin embargo, fue similar estadísticamente con los tratamientos DAM, DL10/M30 y DL20/M20 y diferente del tratamiento DL30/M10 (similar estadísticamente únicamente con el tratamiento DL20/M20).

Tejido Viscerosomático

El contenido químico proximal de vísceras no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla IX). El contenido de proteínas presentó valores de $60.7 \pm 2.41\%$ a $66.5 \pm 4.87\%$. Para el caso de los lípidos los valores oscilaron entre $21.8 \pm 3.82\%$ y $29.0 \pm 2.06\%$. Las cenizas se mantuvieron en 1.36% y 1.43% .

Los valores de humedad registrados no presentaron diferencias significativas ($P = 0.67$). El tratamiento que presentó la mayor cantidad de humedad fue DAP, con un valor de $80.3 \pm 0.70\%$, seguida de DL20/M20 con 79.2 ± 2.00 . Los valores inferiores se presentaron en los tratamientos DL30/M10, DL10/M30 y DAM ($78.9 \pm 1.13\%$, $78.8 \pm 2.04\%$ y $78.6 \pm 1.39\%$ respectivamente).

Tabla IX. Contenido proximal de vísceras de juveniles de *T. macdonaldi* alimentados a lo largo de 68 días sustituyendo hasta un 40% el aceite de pescado por aceites vegetales: linaza y maíz.

Tratamiento	Humedad (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)
DAP	80.3 ± 0.70	66.2 ± 2.38	25.2 ± 1.79	1.43
DAM	78.6 ± 1.39	64.3 ± 4.70	21.8 ± 3.82	1.36
DL10/M30	78.8 ± 2.04	66.5 ± 4.87	23.6 ± 3.24	1.37
DL20/M20	79.2 ± 2.00	64.1 ± 2.53	24.7 ± 3.08	1.41
DL30/M10	78.9 ± 1.13	60.7 ± 2.41	29.0 ± 2.06	1.39
P	ns	ns	ns	ns

Resultados representados con media ± desviación estándar. *P*= probabilidad. ns= No Significativo. Cenizas representadas con el valor de la mediana.

La proteína analizada en el tejido de las vísceras no presentó diferencias significativas (*P* = 0.08) entre los tratamientos. Se presentaron valores del 64.1 ±2.53% (DL20/M20) hasta 66.2 ±2.38% (DAP), siendo la dieta DL10/M30 la que presentó el valor más elevado seguida de la dieta DAP con 66.2 ± 2.38.

Para el caso de los niveles de lípidos, éstos no presentaron diferencias significativas (*P* = 0.11) entre los tratamientos y se mantuvieron en el rango de 21.8 ±3.82% (DAM) a 29.0 ±2.06% (DL30/M10), encontrando el valor más elevado en la dieta DL30/M10, y el valor más bajo en la dieta con el mayor contenido de aceite de maíz (DAM).

Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de Totoaba macdonaldi bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.

Finalmente, los valores de cenizas encontrados en vísceras de juveniles de totoaba, no presentaron diferencias significativas ($P = 0.69$) y se determinó para el tratamiento DAM el valor inferior (1.36%) y para DAP (1.43%) el valor superior.

6.- DISCUSIONES

La sobrevivencia de los juveniles de totoaba (*Totoaba macdonaldi*) alimentados con las diferentes dietas elaboradas, tales como: control DAP (100% aceite de pescado) y aquellas en las que se empleó alguna fuente de aceite de origen vegetal (DAM, DL10/M30, DL20/M20, DL30/M10), no se vio afectada por la calidad y composición de los ingredientes empleados en la elaboración de las dietas. Las mortalidades registradas no se encontraron asociadas a la calidad del alimento o a la deficiencia de algún nutriente dentro de la dieta, sino a causas ajenas al cuidado y desarrollo del experimento.

En diversos estudios, similares al nuestro, no han encontrado mortalidades asociadas a la calidad de los ingredientes o a la deficiencia de alguno de los ingredientes utilizados para la elaboración de las dietas empleadas. Por ejemplo; Ojeda Ojeda (2005) evaluó el aceite de soya en dietas para trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) con niveles de 25%, 50% y 75% sin presentar mortalidades a lo largo del experimento. Peng y colaboradores (2008), trabajando con pargo negro (*Acanthopagrus schlegelii*), encontraron que el uso del aceite de soya en concentraciones de 60%, 80% y 100% no afecta la sobrevivencia de los mismos en comparación de una dieta a base de 100% de aceite de pescado. Vizcaíno Pérez (2012), obtuvo 100% de sobrevivencia en juveniles de corvina blanca (*Atractoscion nobilis*) alimentando con dietas que contenían aceite de maíz y dietas con sustituciones combinadas de aceite de linaza y maíz. Por otro lado,

Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de Totoaba macdonaldi bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.

Velázquez García (2012) registró sobrevivencias de hasta 95% en juveniles de corvina blanca (*Atractoscion nobilis*) empleando dietas en donde se realizó una sustitución de aceite de pescado hasta en un 25% por aceites de soya, linaza y maíz; a pesar de haber presentado bajas mortalidades durante el experimento, éstas no se encontraron asociadas a un efecto patológico provenientes de las dietas.

Sin embargo, a pesar de los buenos resultados que se han documentado, se debe tener en consideración la fuente de aceite de pescado y la fuente de aceite vegetal que se está evaluando debe cumplir con los requerimientos necesarios para la especie, ya que un mal perfil de ácidos grasos (principalmente poliinsaturados de tipo n-3) provenientes de los aceites pueden ser la causa de mortalidades que se presentan a lo largo del experimento. Tal como les sucedió a Ochang y colaboradores (2007) quienes emplearon aceite de hepatopáncreas de bacalao en bagre africano (*Clarias gariepinus*) y registraron mortalidades de hasta 40%; valores más elevados que cuando emplearon una fuente vegetal. Las bajas sobrevivencias fueron asociadas a un desbalance en el perfil de ácidos grasos poliinsaturados de tipo n-3 provenientes del hepatopáncreas de bacalao, lo cual afectó directamente a las células blancas en la sangre del bagre comprometiendo al sistema inmune y causando patologías que conllevaron a la muerte. A pesar de esto, fue claro en los resultados propuestos por Ochang y colaboradores que al emplear una fuente vegetal en las dietas de bagre, mejoró considerablemente la sobrevivencia de los organismos. Así mismo, en un estudio realizado por Parpoura y Alexis (2001) con juveniles de lobina europea (*Dicentrarchus labrax*),

demonstraron que el uso de aceites vegetales, tales como el proveniente de la soya o de la oliva, provocan daños patológicos en órganos internos de los organismos.

6.1.- Parámetros de crecimiento

Con el fin de evaluar el efecto de la inclusión de aceites vegetales en el crecimiento (peso y talla) de juveniles de totoaba (*Totoaba macdonaldi*), se probaron cuatro diferentes dietas con distintas concentraciones de aceites vegetales, sustituyendo el aceite de pescado hasta un 40%, así como una dieta control con aceite de pescado como fuente de lípidos.

Para el crecimiento en talla (cm) y peso (g) de los organismos se registraron valores similares entre los cuatro tratamientos experimentales que contenían aceites vegetales con respecto al tratamiento que contenía el 100% de aceite de pescado (DAP). Resultados similares al nuestro, en donde no se presentan diferencias entre los tratamientos por el uso de los aceites vegetales, se han reportado en estudios para *Onchorhynchus mykiss* (Ojeda Ojeda, 2005), donde se trabajó con aceite de soya a concentraciones del 25% al 75%, registrando mejores resultados al reemplazar hasta el 50% del aceite de pescado; *Salmo salar* (Pratoomyot *et al.*, 2008), sustituyendo hasta en un 60% el aceite de pescado por aceite de canola o por aceite de soya y, una mezcla de aceite de canola y soya por un 30% de sustitución de cada aceite, manteniendo una concentración de 60% de aceite de pescado, encontrando mayor efectividad con el uso de hasta un 60%

Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de Totoaba macdonaldi bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.

del aceite de soya en sustitución por el aceite de pescado; *Sander lucioperca* (Kowalska *et al.*, 2010), empleando combinaciones de aceite de linaza, cacahuete y soya, encontrando al final del experimento mejores resultados con el uso combinado del aceite de linaza y cacahuete.

En el presente estudio, a pesar de que los valores obtenidos en los tratamientos para los valores de crecimiento en talla y peso ganado no hayan presentado diferencias significativas, se presentan mejores resultados cuando se sustituye una porción del aceite de pescado por aceite de origen vegetal, tal como se muestra en los resultados obtenidos en talla en donde el valor más bajo se registra en la dieta control (DAP; 100% aceite de pescado). Por otro lado, en el caso del peso ganado, se aprecia un mejor resultado cuando se utiliza el aceite de pescado (DAP) y la dieta que contenía la mayor proporción de aceite de linaza (DL30/M10). Este mismo efecto es reportado por Vizcaíno Pérez (2012), quien trabajó con juveniles de corvina blanca (*Atractoscion nobilis*), encontrando al final de su experimento que al utilizar la dieta con el 100% de aceite de pescado y una dieta con 50% de aceite de origen vegetal en una combinación de aceite de linaza (37.5%) y aceite de maíz (12.5%), se presentan mejores respuestas entre valores de crecimiento (talla y peso ganado) de los tratamientos evaluados.

Por lo anterior mencionado y de acuerdo a nuestro experimento, la sustitución de hasta un 40% de aceites vegetales en dietas para la alimentación de juveniles de *T. macdonaldi* durante 10 semanas de cultivo no provoca un efecto negativo en los organismos en lo que respecta a crecimiento; tanto para la talla como para la ganancia en peso.

Los valores biológicos tales como el consumo diario de alimento por gramo de organismo, tasa específica de crecimiento (TEC), tasa de conversión alimenticia (TCA) y la razón de eficiencia protéica (REP) obtenidos para los juveniles de totoaba no presentaron un reflejo negativo en los peces al ser alimentados con proporciones lipídicas provenientes de fuentes vegetales. Sin embargo, la tendencia de los mejores resultados siempre se presentó en la dieta que contenía el 100% aceite de pescado (DAP) y en aquella en la que se empleó una sustitución de aceite vegetal con una mayor cantidad de aceite de linaza que aceite de maíz (DL30/M10). Mismos resultados por el uso de aceites vegetales se pueden observar en diversos estudios de especies carnívoras, tal como el realizado por Izquierdo *et al.* (2003), quienes diseñaron dietas con sustitución de un 60% de aceite de pescado por aceite de soya, canola, linaza y combinaciones entre ellas para alimentar a juveniles de dorada (*Sparus aurata*) y lubina europea (*Dicentrarchus labrax*), no encontraron diferencias en el consumo de alimento, tasa de crecimiento específico y tasa de conversión alimenticia. Este hecho fue asociado a que el utilizar una concentración de 25% de lípidos en la dieta es suficiente como para que la sustitución del aceite de pescado por los aceites de origen vegetal no repercutiera en el crecimiento y el desarrollo de los organismos de ambas especies, manteniendo los niveles de ácidos grasos esenciales en la dieta. Mismos efectos, debidos por el aporte y perfil de los ácidos grasos de los aceites evaluados, fue observado por Martínez *et al.* (2007), quienes encontraron valores similares para la tasa de crecimiento específico, ingesta de alimento, tasa

de conversión alimenticia y razón de eficiencia proteica entre los tratamientos utilizando el aceite de soya en sustituciones de 24%, 48% y 72%.

Estudios más recientes, como los realizados por; Vizcaíno Pérez (2012) y Velázquez García (2012) demuestran que el uso de aceites vegetales en la dieta de peces carnívoros no genera diferencias significativas entre los valores biológicos que se evalúan registrando valores superiores o similares a los tratamientos con dietas a base de aceite de pescado. Respuesta a ello se asocia a que además del contenido de ácidos grasos, es necesario un buen aporte de proteína en la dieta para que el organismo se desarrolle y crezca de manera adecuada (Ojeda Ojeda, 2005). También hay una relación en que el aporte de ácidos grasos de origen vegetal que se incluyen en las dietas son una fuente rápida de energía, generando de este modo un ahorro proteico en los organismos (Parpoura y Alexis, 2001; Vizcaíno Pérez, 2012).

En relación a lo obtenido con respecto al índice hepatosomático (IHS), éste valor no marcó un efecto negativo en los juveniles de totoaba a lo largo del experimento, por lo que el uso de aceites vegetales no promovió un desbalance de nutrientes en el hepatopáncreas de totoaba, quien es considerada como una especie carnívora y magra (baja en depósitos lipídicos) por lo que los ácidos grasos provenientes de los aceites vegetales fueron utilizados de manera adecuada por la especie al presentar valores en el índice cercanos a 1%. Resultados similares fueron observados por Vizcaíno Pérez (2008) al emplear dietas semejantes a la utilizada en este experimento, incluyendo hasta un 16% de aceite como fuente lipídica. Otro estudio en donde se observa el mismo resultado

es el realizado por González Acevedo (2011), al utilizar una dieta similar a la empleada durante el desarrollo del presente estudio, incluyendo hasta un 15% de fuente de carbohidratos adicionando probiótico.

El índice viscerosomático (IVS) obtenido del presente estudio en juveniles de totoaba no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, ya que se observó que no hubo un aumento en la masa visceral por el uso de aceites vegetales en comparación con la dieta a base de aceite de pescado. Diversos autores han encontrado en sus resultados valores que difieren a la dieta control, teniendo como resultado índices viscerosomático elevados. Altos valores en IVS se han asociado a las altas concentraciones de aceite de origen vegetal que se utilizan en la dieta, principalmente cuando se utilizan aceites vegetales que mantienen una proporción de ácidos grasos n-3/n-6 menor (Martínez *et al.*, 2007,, Kowalska *et al.*, 2010, Vizcaíno Pérez, 2012 y Velázquez García, 2012), ya que a pesar de utilizar concentraciones recomendadas de aceite a sustituir, cuando el aceite vegetal contiene más de 40% de ácidos grasos n-6 y menos de 20% de ácidos grasos de tipo n-3 (como el uso de aceite de soya, oliva, palma, maíz, maní) se presenta una acumulación de grasa en vísceras, tal como sucedió en lo reportado por Kowalska *et al.*, (2010), quienes encontraron que las vísceras de los juveniles de lucio perca alimentados con el aceite de soya y cacahuate, presentaban un aumento en el índice viscerosomático debido a la acumulación de los ácidos grasos n-6 provenientes de la fuente utilizada. Por otro lado, cuando se han empleado aceites como el de linaza o canola, cuya relación de n-3/n-6 es superior, no parece haber una acumulación de grasa en las vísceras tan notoria en

comparación con el tratamiento control que se está evaluando, tal como sucede en lo reportado por Vizcaíno Pérez (2012) quien alimentando a juveniles de corvina blanca con dietas preparadas con mayor una mayor concentración n-3/n-6, por el uso del aceite de linaza, no encuentra diferencias con respecto al tratamiento control. Para el presente estudio, donde los juveniles de totoaba no presentaron altos valores en el IVS, se puede decir que las concentraciones y combinaciones que se emplearon en la elaboración de las dietas con el uso de aceites de origen vegetal podrían ser adecuadas para el desarrollo y crecimiento de la especie.

En base a lo determinado, se demuestra que la sustitución parcial de aceite de pescado por aceites vegetales no afecta el crecimiento, sobrevivencia y desarrollo de juveniles de totoaba. Para esta especie, se recomienda realizar sustituciones con aceites que proporcionen un mayor contenido en la relación de ácidos grasos n-3/n-6, tal como es el aceite de linaza.

6.2.- Contenido químico proximal

La composición químico proximal determinada en pez entero no presentó diferencias significativas en los valores para proteínas, lípidos y cenizas. Por lo que el uso de aceites vegetales demostró no afectar la composición de estas biomoléculas en el tejido de juveniles de *T. macdonaldi*. Mismos efectos se observan en los trabajos documentados por Ojeda Ojeda (2005), Martínez *et al.* (2007), Velázquez García (2012) quienes han trabajado con especies con

tendencias carnívoras. Además, se determinó que al aumentar la concentración de ácidos grasos vegetales de tipo n-3 en la dieta (provenientes de un aceite como el de linaza) el pez entero resultó menos graso.

En el tejido muscular de los juveniles de totoaba se observaron diferencias significativas en los niveles de proteína. Los valores obtenidos muestran que el uso del aceite de linaza aumenta el porcentaje de proteínas presentes en este tejido. Estos resultados difieren con lo obtenido en los estudios realizados por Vizcaíno Pérez (2012) y Kowalska *et al.* (2010), donde se obtienen diferencias significativas en proteínas y los resultados muestran que el uso de aceites vegetales causa una pequeña disminución en el porcentaje de este nutriente en el tejido muscular de los organismos.

En el caso de los valores determinados para lípidos en el tejido muscular, éstos no presentaron diferencias significativas. Se observó que cuando en la dieta se incluyen aceite vegetales, el nivel de acumulación de lípidos en el tejido aumenta. Por lo tanto, en juveniles de totoaba, el uso de aceites vegetales causa una acumulación de lípidos en el tejido. Se observa además que cuando la dieta contiene aceites vegetales que presenta un perfil de ácidos grasos que mantienen una mayor proporción n-6/n-3 (como es el caso de utilizar una mayor proporción de aceite de maíz y menor proporción de aceite de linaza), el porcentaje de lípidos aumenta en el tejido muscular en esta especie. Según lo reportado por Parpoura y Alexis, (2001), un aumento en el contenido de lípidos en el tejido muscular significa que hay una mayor asimilación de los mismos debido a la dieta empleada. Este efecto es también visto en especies como *O. mykiss* (Ojeda

Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de Totoaba macdonaldi bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.

Ojeda, 2005) *S. aurata* (Martínez *et al.*, 2007), *S. lucioperca* (Kowalska *et al.*, 2010); ya que al utilizar aceites vegetales (soya, maní, oliva, palma) que proporciona una menor concentración n-3/n-6, se presenta una acumulación lipídica en el músculo de estas especies.

Las bajas concentraciones de lípidos en el tejido muscular de *T. macdonaldi* explica el hecho de que es una especie magra y por tanto no tiende a acumular grasas en este tejido. Resultados obtenidos por Vizcaíno Pérez (2008) y González Acevedo (2011) confirman que totoaba presenta un bajo nivel de lípidos en el tejido muscular empleando dietas similares a la utilizada en el presente estudio.

Para el contenido de cenizas que se determinó en el tejido muscular de totoaba, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Por lo tanto, el uso de aceites vegetales a concentraciones de hasta 40% en la dieta no causa un efecto negativo en los valores de cenizas, a diferencia de lo que menciona Ojeda Ojeda (2005) al determinar que el uso de fuentes vegetales en la dieta causan una disminución en la concentración de fosforo en el tejido y por tanto el valor de las cenizas en los tratamientos alimentados con dietas que contienen aceites de origen vegetal.

Los valores de proteína y glucógeno determinados en el hepatopáncreas de totoaba mostraron una tendencia inversa, donde el contenido de proteína aumentó y el de glucógeno disminuyó cuando se emplearon aceites de origen vegetal. Respuesta a ello puede ser que el uso de aceites vegetales aumenta la capacidad del hepatopáncreas para asimilar los aminoácidos provenientes del torrente

sanguíneo y destinarlos a formar este tejido, así mismo, emplea mayor energía para lograrlo, reduciendo de este modo los niveles de glucógeno en el tejido. Esto se puede comparar con los resultados obtenidos de los análisis proximales determinados en el tejido muscular de los juveniles de totoaba, en donde se determinaron mayores niveles de proteína en el tejido muscular cuando se emplearon aceites de origen vegetal. Otro aspecto importante es mencionar lo reportado por Parpoura y Alexis (2001) quienes observaron en sus resultados que el uso de aceites vegetales disminuye los valores del índice hepatosomático (IHS) y los niveles de glucógeno.

Los valores de lípidos en el tejido hepático no presentaron diferencias significativas, de igual forma en el tejido visceral. Sin embargo, se observa una tendencia de aumento entre los tratamientos de los organismos alimentados con aceites de origen vegetal que cuando fueron alimentados con aceite de pescado (aunque la estadística fue no significativa), lo que indica que hay una mejor asimilación de los lípidos de las dietas elaboradas a base de aceites vegetales. Mismos resultados son semejantes a los encontrados en especies como *A. nobilis* (Vizcaíno Pérez, 2012; Velázquez García, 2012), *D. labrax* (Parpoura y Alexis, 2001 e Izquierdo *et al.*, 2003), *S. lucioperca* (Kowalska *et al.*, 2010), *S. aurata* (Izquierdo *et al.*, 2003). La acumulación de lípidos en el tejido se encuentra relacionada con la cantidad de grasa saturada y monoinsaturada en las dietas (Izquierdo *et al.*, 2003); principalmente por el ácido graso oleico (C18:1n9c/t). El ácido oleico sirve principalmente como fuente de reserva energética al ser un

ácido graso neutro (Kowalska *et al.*, 2010) y por lo tanto se acumula en el hepatopáncreas aumentando el porcentaje lipídico.

De acuerdo a lo encontrado en los análisis proximales realizados en muestra de pez entero, tejido muscular, hepatopáncreas y vísceras de totoaba, nos da pauta para sugerir el uso de aceites vegetales en las dietas para juveniles de totoaba (*T. macdonaldi*) dependiendo de la necesidad del cultivo. Sin embargo, el presente estudio se realizó durante 10 semanas, por lo que habría que experimentar por periodos más largos y asegurarse que la acumulación de grasas es o no un problema para esta especie.

7.- CONCLUSIONES

Es posible e posible sustituir el aceite de pescado por aceite de origen vegetal hasta un 40% sin que se vea afectada la sobrevivencia, crecimiento y desarrollo de juveniles de *T. macdonaldi*.

El índice hepatosomático y viscerosomático mostraron que no hay una acumulación de grasa en exceso en tejido hepático y visceral con el uso de aceites de origen vegetal, con lo que se demuestra que probablemente hay un metabolismo de los ácidos grasos incluidos en las dietas y además que fueron empleados de manera adecuada como fuente energética.

No se observó un efecto negativo en la composición química proximal del tejido muscular de los juveniles de totoaba (*T. macdonaldi*).

Mejores rendimientos para la especie se presentan al utilizar aceites vegetales que contengan mayor proporción de ácidos grasos n-3 (dieta L30/M10).

8.- RECOMENDACIONES

Es necesario realizar análisis fisiológicos, hematológicos y de química sanguínea en *Totoaba macdonaldi* para evidenciar con mayor validez el estado de salud de los organismos por el uso de fuentes vegetales en el alimento.

Realizar y analizar a fondo el perfil de ácidos grasos en órganos, tal como el hepatopáncreas, ayudará a entender el metabolismo que se está llevando a cabo y determinar si el uso de aceites vegetales causa una ineficiencia metabólica. Así mismo, se puede determinar la calidad que el tejido muscular presenta como producto final para consumo humano.

9.- REFERENCIAS

- Abdo de la Parra M. I., L. E. Rodríguez Ibarra, F. Campillo Martínez, G. Velasco Blanco, N. García Aguilar, L. S. Álvarez Lajonchère, D. Voltelina. 2010 Efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento y supervivencia larval del pargo lunarejo *Lutjanus guttatus*. Revista de Biología Marina y Oceanografía 45(1): 141-146.
- Bell, J. G., J. Prattomyot, F. Strachan, R. J. Henderson, R. Fontanillas, A. Hebard, D. R. Guy, D. Hunter, D. R. Tocher. 2010 Growth, flesh adiposity and fatty acid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) families with contrasting flesh adiposity: Effects of replacement of dietary fish oil with vegetable oils. Aquaculture 206: 225-232.
- Cheng, Z. J., Hardy, R. W., Huige, J. J. 2004. Apparent digestibility coefficients of nutrients in brewer's and rendered animal by-products for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)). Aquaculture Research, 35, 1-9.
- Espinosa Chaurand, L. D. 2008 Valor nutricional de la harina de cabeza de camarón en juveniles de totoaba (*Totoaba macdonaldi* GILBERT, 1980). Tesis Maestría. UABC-FCM. Ensenada, Baja California. México.
- FAO Fisheries Department. (2006) Estado mundial de la pesca y la acuicultura (SOFIA). FAO.176 pp.
- FAO (2012) Examen mundial de la pesca y la acuicultura. Los recursos pesqueros: tendencias de la producción, la utilización y el comercio.

Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de Totoaba macdonaldi bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.

PANORAMA GENERAL. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO 3-22.

Flanagan, C. A., Hendrickson J. R. 1976 Observation on the comercial fishery and reproductive biology of the totoaba, *Cynoscion macdonaldi*, in the Northern Gulf of California. Fishery bulletin. 74 (3) 531-544.

Flessa, K. W., D. L. Dettman, B. R. Schöne, D. H. Goodwin, C. A. Rodriguez, S. K. Noggle, M. A. Téllez Duarte, G. E. Avila Serrano, M. Kowalewski, G. A. Goodfriend. 2001 Antes de las presas: Historia ecológica sobre el delta del Río Colorado, México. Centro de Estudios de Almejas Muertas at the University of Arizona.

González Acevedo, D. 2011 Respuesta en el crecimiento de juveniles de *Totoaba macdonaldi* alimentados con dietas con diferentes niveles de almidón y lípidos, y adicionadas con un probiótico. Maestría. UABC-FCM. Ensenada, Baja California. México.

González Vargas, D. 1980 Alimentos para acuicultura: producción y calidad. Consultoría Nutrición y Producción Animal S. A. Belen, Heredia. Costa Rica.

Izquierdo, M. S., A. Obach, L. Arantzamendi, D. Montero, L. Robaina, G. Rosenlund. 2003 Dietary lipid sources for seabream and seabass: growth performance, tissue composition and flesh quality. Aquaculture Nutrition 9: 397-407.

Kowalska, A., Z. Zakés, B. Jankowska, A. Siwicki. 2010 Impact of diets with vegetable oils on the growth, histological structure of internal organs,

- biochemical blood parameters, and proximate composition of pikeperch *Sander lucioperca* (L.). *Aquaculture* 301: 69-77.
- Labatut, B., G. Kourous. 2008 ¿Se desacelera el crecimiento de la acuicultura?: Nuevas preguntas sobre el futuro del cultivo de peces. Food and Agriculture Organization.
- López, L. M., E. Durazo, A. Rodríguez Gómez, C. D. True, M. T. Viana. 2006 Composición proximal y perfil de ácidos grasos de juveniles silvestres y cultivados de *Totoaba macdonaldi*. *Ciencias Marinas* 32: 303-309.
- Martínez Llorens, S., A. Vicente Moñino, A. Tomás Vidal, V. J. Moya Salvador, M. Pla Torres, M. Jover Cerdá. 2007 Effects of dietary soybean oil concentration on growth, nutrient utilization and muscle fatty acid composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture Research* 38: 76-81.
- Ochang, S. N., O. A. Fagbenro, O. T. Adebayo. 2007 Growth Performance, Body Composition, Hematology and Product Quality of the African Catfish (*Clarias gariepinus*) Fed Diets with Palm Oil. *Pakistan Journal of Nutrition* 6 (5): 452-459.
- Ojeda Ojeda, I. E. 2005 Reemplazo parcial del aceite de pescado por aceite de soya (*Glycine max*) en dietas peletizadas para trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Efectos en parámetros productivos y perfil de ácidos grasos. Tesis Licenciatura. Universidad católica de Temuco-Facultad de Recursos Naturales. Temuco, Chile. 1-12.

- Parpoura, A. C. R., M. N. Alexis. 2001 Effects of different dietary oils in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) nutrition. *Aquaculture International* 9: 463-476.
- Peng, S., L. Chen, J. G. Qin, J. Hou, N. Yu, Z. Long, J. Ye, X. Sun 2008. Effects of replacement of dietary fish oil by soybean oil on growth performance and liver biochemical composition in juvenile black seabream, *Acanthopagrus schlegelii*. *Aquaculture* 276 (2008) 154–161.
- Pickova, J., T. Mørkøre. 2007 Alternate oils in fish feeds. *Inter Science. Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 109 (2007) 256–263
- Pratoomyot, J., E. A. Bendiksen, J. G. Bell, D. R. Tocher. 2008 Comparison of effects of vegetable oils blended with southern hemisphere fish oil and decontaminated northern hemisphere fish oil on growth performance, composition and gene expression in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*. 280 (2008) 170–178.
- Rodríguez Aguilera, A. 2009. Avances y Perspectivas en Microdietas para Larvas de Peces. *Revista AquaTIC*, Nº 30, pp. 1-18,
- Rodríguez Gómez, M. A. 2003 Composición proximal y contenido de ácidos grasos en juveniles de *Totoaba macdonaldi* del Alto Golfo de California.
- Rosales Juárez, F., E. Ramírez González. 1987 Estado actual del conocimiento sobre la Totoaba (*Cynoscion macdonaldi*), Gilbert 1890. *Secretaría de Pesca* 1: 1-42.
- Rosas, A., R. Vazquez Duhalt, R. Tinoco, A. Shimada, L. R. D'Abramo, M. Teresa Viana. 2008 Comparative intestinal absorption of amino acids in rainbow

- trout (*Oncorhynchus mykiss*) totoaba (*Totoaba macdonaldi*) and Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*). *Aquaculture Nutrition* 14: 481-489.
- Rueda López, S., J. Pablo Lazo, G. Correa Reyes, M. Teresa Viana. 2011 Effect of dietary protein and energy levels on growth, survival and body composition of juvenile *Totoaba macdonaldi*. *Aquaculture* 319: 385-390.
- Solórzano, Y., L. M. López, E. Durazo, C. D. True, G. Sandoval. 2006 Efecto de niveles de alimentación sobre el crecimiento y composición química de juveniles de *Totoaba macdonaldi*. *CIVA* 1181-1192.
- Torres Cobián A. L. 2005 Respuesta de juveniles de corvina blanca *Atractoscion nobilis* a diferentes concentraciones de lípidos en la dieta. Tesis Maestría. UABC-FCM. Ensenada, Baja California. México.
- True, C. D., A. Silva Loera, N. Castro Castro. 1997 Acquisition of Broodstock of *Totoaba macdonaldi*: Field Handling, Decompression, and Prophylaxis of an Endangered Species. *The Progressive Fish Culturist* 59: 246-248.
- True, C. D. 2012 Desarrollo de la biotecnia de cultivo de *Totoaba macdonaldi*. Tesis Doctorado. Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas. Ensenada, Baja California. México.
- Turchini, G. M., Francis D. S., Senadheera S. P. S. D., Thanuthong T., De Silva, S. S. 2011 Fish oil replacement with different vegetable oils in Murray cod: Evidence of an “Omega-3 sparing effect” by other dietary fatty acids. *Aquaculture* 315, 250-259.
- Velázquez García J. J. 2012 Evaluación en el uso de aceite de soya, maíz, linaza en dietas formuladas para el cultivo de corvina blanca (*Atractoscion nobilis*)

Efecto en el crecimiento y desarrollo de juveniles de Totoaba macdonaldi bajo condiciones de cultivo, alimentados con sustitución parcial de aceite de pescado por aceites de origen vegetal.

- como remplazo de aceite de pescado. Tesis Maestría. UABC-FCM. Ensenada, Baja California. México.
- Villareal Rodarte, G. E. 2011 Efecto de la concentración de HUFAs n-3 en la dieta sobre el crecimiento, supervivencia, eficiencia alimenticia e índice de condición en juveniles de *Totoaba macdonaldi*. Tesis Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada, Baja California. México.
- Vizcaíno Pérez E. 2008 Efecto en el crecimiento, consumo, sobrevivencia y composición proximal de juveniles de *Totoaba macdonaldi*, alimentados con dietas isoprotéicas formuladas con distintos niveles de energía. Tesis Licenciatura. UABC-FCM. Ensenada, Baja California. México.
- Vizcaíno Pérez E. 2012 Efecto en la concentración de aceite de linaza y maíz en la dieta, sobre el crecimiento, composición proximal, respuesta hematológica y química sanguínea en juveniles de corvina blanca *Atractoscion nobilis*. Tesis Maestría. UABC-FCM. Ensenada, Baja California. México.
- Wnag, Y., Kong, L., Cui Li, C., Bureau, D.P., 2006. Effect of replacing fish meal with soybean meal on growth, feed utilization and carcass composition of cuneate drum (*Nibea miichthioides*). *Aquaculture* 26, 1307-1313.
- Xue, Luo, Wu, Ren, Gao, Yu. 2006 Effects of six alternative lipid sources on growth and tissue fatty acid composition in Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicas*) *Aquaculture* 260: 1-4.