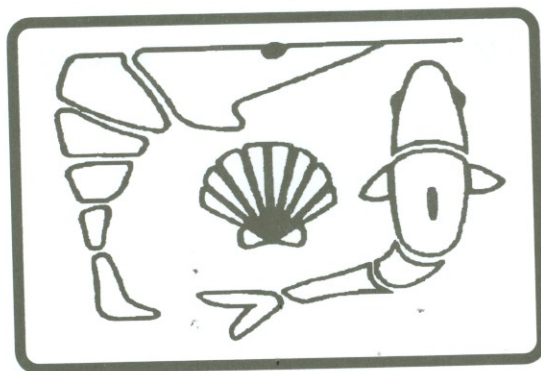




EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE POSGRADO EN ACUACULTURA
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ACUACULTURA



**VALOR NUTRICIONAL DE DIFERENTES ACEITES DE HÍGADO DE RAYA EN
ALIMENTOS BALANCEADOS PARA CAMARÓN BLANCO *Litopenaeus vannamei***

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS
presenta:

ERASMO VALENZUELA ESCALANTE

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

CONTENIDO

RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	1
I.1. Importancia de los lípidos como componentes de la dieta	1
I.1.1. Triglicéridos	2
I.1.2. Ácidos grasos	3
I.2. Uso de triglicéridos en la manufactura de alimentos balanceados para acuacultura	4
I.3. Pesquería de raya en México	5
II. OBJETIVOS	7
II.1. Objetivo general	7
II.2. Objetivos específicos	7
III. MATERIALES Y MÉTODOS	8
III.1. Organismos experimentales	8
III.2. Sistema experimental	8
III.3. Obtención de Hígados de Raya y Aceite	10
III.4. Tratamientos experimentales	10
III.5. Bioensayo de crecimiento	15
III.6. Medición de parámetros fisicoquímicos y calidad de agua	15
III.7. Evaluación de parámetros de producción	16
III.8. Extracción y análisis de ácidos grasos	16
III.9. Análisis estadístico	17
IV. RESULTADOS	18
IV.I. Parámetros de calidad de agua	18
IV.I.1. Temperatura, Salinidad, Oxígeno Disuelto y pH	18
IV.I.2. Nitrógeno Amoniacal Total, Nitritos y Nitratos	19
IV.II. Parámetros de producción	21
IV.II.1. Peso Inicial	21

IV.II.2. Peso Final	21
IV.II.3. Peso Ganado	22
IV.II.4. Porcentaje de Peso Ganado	23
IV.II.5. Tasa de Crecimiento Instantánea	24
IV.II.6. Supervivencia	24
IV.III. Análisis de Lípidos	25
IV.III.1. Análisis de los aceites de Hígado de Raya	25
IV.III.2. Contenido de lípido total en músculo de <i>L. vannamei</i>	27
IV.III.3. Perfil de ácidos grasos en dieta y músculo de <i>L. vannamei</i>	27
V. DISCUSIÓN	34
V.I. Parámetros de Calidad de Agua	34
V.II. Parámetros de Producción	34
V.III. Análisis de Lípidos	35
V.III. 1. Análisis del Aceite de Hígado de raya	35
V.III. 2. Contenido de lípido total en dietas y músculo de <i>L. vannamei</i>	36
V.III. 3. Perfil de ácidos grasos en dieta y músculo de <i>L. vannamei</i>	36
VI. CONCLUSIONES	41
VII. RECOMENDACIONES	42
VIII. LITERATURA CITADA	43

RESUMEN

Se llevó a cabo un experimento de 28 días de duración para evaluar el valor nutricional de diferentes aceites de hígado de raya para el camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei*. Con una talla inicial de 1.01 ± 0.04 g, los organismos fueron alimentados con alimentos balanceados experimentales con un nivel de inclusión de 5% (del peso seco) de aceite de hígado de cuatro diferentes especies de raya, *Aetobatus narinari* (raya pinta), *Rhinoptera bonasus* (raya chucha), *Dasyatis brevis* (raya arenera) y *Rhinoptera steindachneri* (raya tecolote). Como control se incluyó, con el mismo nivel de inclusión, un alimento con aceite de pescado Menhaden, un ingrediente conocido por su adecuado valor nutricional para camarones peneidos y peces. Se observó que los aceites de hígado de las rayas evaluadas fueron tan eficientes como el de aceite de pescado Menhaden para promover el crecimiento (evaluado mediante peso final, peso ganado, porcentaje de peso ganado y tasa de crecimiento instantánea) y supervivencia de *L. vannamei*, al no detectarse diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos para ninguno de estos parámetros. Los aceites de las cuatro especies de raya evaluados se caracterizaron por poseer una alta calidad, en términos de su perfil de ácidos grasos, particularmente de ácidos grasos altamente insaturados de las familias n-3 y n-6. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para el porcentaje de lípidos totales de músculo de *L. vannamei*, lo que probablemente obedeció al carácter isolipídico de las dietas experimentales. La composición de ácidos grasos de los aceites empleados se vio reflejada tanto en el perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales como en el de los ácidos grasos depositados en músculo.

ABSTRACT

A 28-day experiment was conducted in order to evaluate the nutritional value of liver oils from various rayfish species of commercial importance for the penaeid shrimp *Litopenaeus vannamei*. At an initial mean weight of 1.01 ± 0.04 g, shrimp were fed to satiation experimental feeds prepared with liver oil, at an inclusion level of 5%, extracted from four rayfish species, *Aetobatus narinari* (spotted ray), *Rhinoptera bonasus* (cownose ray), *Dasyatis brevis* (stingray), and *Rhinoptera steindachneri* (golden cownose ray). Menhaden fish oil, an ingredient known for its adequate nutritional value to shrimp and fish, also was used to prepare a control feed. Shrimp fed any of the rayfish oils tested performed as well as those receiving Menhaden fish oil, in terms of growth (as evaluated by final weight, weight gain, percent weight gain, and instantaneous growth rate) and survival (no statistical differences detected among treatments, $P \leq 0.05$). All rayfish liver oils evaluated were characterized by a high quality, in terms of their high content of highly unsaturated fatty acids of the n-3 and n-6 families. No statistical differences among treatments were observed in muscle total lipid. The fatty acid composition of the various rayfish liver oils was reflected in the fatty acid profile of the experimental feeds, as well as in that of shrimp muscle.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Sistema experimental empleado. Laboratorio Húmedo de Nutrición y Biotecnología Acuícolas, Unidad Experimental Kino.	9
2	Tanques del sistema experimental. Laboratorio Húmedo de Nutrición y Biotecnología Acuícolas, Unidad Experimental Kino.	9
3	Raya pinta (<i>A. narinari</i>), obtenida en la localidad de Ceibaplaya, Campeche, México.	11
4	Raya chucha (<i>R. bonasus</i>), obtenida en la localidad de Ceibaplaya, Campeche, México.	11
5	Raya arenera (<i>D. brevis</i>), obtenida en la localidad de Bahía Kino, Sonora, México.	12
6	Raya tecolote (<i>R. steindachneri</i>), obtenida en la localidad de Bahía Kino, Sonora, México.	12
7	Extrusor Hobart utilizado para la elaboración de las dietas experimentales.	14
8	Concentración de nitrógeno amoniacal total (mg NH ₄ -N/L) durante el período experimental.	19
9	Concentración de nitritos (mg NO ₂ -N/L) durante el período experimental.	20
10	Concentración de nitratos (mg NO ₃ -N/L) durante el período experimental.	20
11	Peso inicial de los cinco tratamientos experimentales.	21
12	Peso final de los cinco tratamientos experimentales.	22
13	Peso ganado de los cinco tratamientos experimentales.	23
14	Porcentaje de peso ganado de los cinco tratamientos experimentales.	23

15	Tasa de crecimiento instantánea de los cinco tratamientos experimentales.	24
16	Porcentaje de supervivencia de los cinco tratamientos experimentales.	25
17	Contenido de lípidos totales en músculo de <i>L. vannamei</i> alimentado con diferentes aceites de hígado de raya.	28
18	Concentración de ácido araquidónico en dietas experimentales y su efecto sobre el músculo de <i>L. vannamei</i> .	38
19	Concentración de ácido eicosapentaenoico en dietas experimentales y su efecto sobre el músculo de <i>L. vannamei</i> .	38
20	Concentración de ácido docosahexaenoico en dietas experimentales y su efecto sobre el músculo de <i>L. vannamei</i> .	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
I	Composición de ingredientes de las dietas experimentales.	13
II	Análisis químico proximal de las dietas experimentales.	15
III	Parámetros de calidad de agua (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH) durante cuatro semanas de bioensayo.	18
IV	Análisis de ácidos grasos (mg/g de aceite) de los cinco aceites utilizados como fuente de triglicéridos.	26
V	Análisis de ácidos grasos (% total MEAG) de los cinco aceites utilizados como fuente de triglicéridos.	27
VI	Perfil de ácidos grasos (mg/g de dieta) en dietas experimentales.	30
VII	Perfil de ácidos grasos (% total MEAG) en dietas experimentales.	31
VIII	Perfil de ácidos grasos (mg/g) en músculo de <i>L. vannamei</i> .	32
IX	Perfil de ácidos grasos (% total MEAG) en músculo de <i>L. vannamei</i> .	33

I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La camaronicultura es hoy en día una de las actividades económicas de mayor rentabilidad en el mundo, ya que brinda nuevas oportunidades para la inversión productiva y generación de empleos. Su crecimiento ha sido tan acelerado en algunas áreas tropicales y subtropicales costeras del mundo que no se compara con el de ninguna otra actividad económica (Páez-Osuna, 2001).

En las últimas tres décadas el cultivo de especies de camarón marino ha tenido un enorme desarrollo. Las granjas de camarón contribuyen ahora con una proporción medular de la demanda mundial de camarón, rápidamente reemplazando las pesquerías tradicionales en el suministro de demandas de mercado (Jory y Cabrera, 2003).

Actualmente el cultivo de este crustáceo es practicado mundialmente en alrededor de 60 países, con una producción en el 2004 de 2.5 millones de toneladas (FAO, 2006). Las especies mas cultivadas comercialmente son *Penaeus monodon*, en primer lugar, y *Litopenaeus vannamei*, en segundo.

En México, la explotación de camarones marinos ha sido uno de los rubros más importantes de la actividad pesquera, cuya importancia radica en el hecho de que es uno de los productos que mayores divisas genera al país por su exportación; así la producción de camarón en acuacultura del año 2000 al 2004 se duplicó al pasar de 33 000 a 68 000 toneladas. Para 2005 se mantuvo esta tendencia a la alza, con 77,000 toneladas del crustáceo (SAGARPA, 2005).

En nuestro país la especie de camarón marino de mayor importancia comercial en acuacultura es *L. vannamei*, especie nativa del Pacífico mexicano que destaca por poseer grandes ventajas para su cultivo, puesto que ya se cuenta con una tecnología efectiva y probada y además existe gran disponibilidad de postlarvas saludables todo el año (Davis *et al.*, 2004).

I.1. Importancia de los lípidos como componentes de la dieta

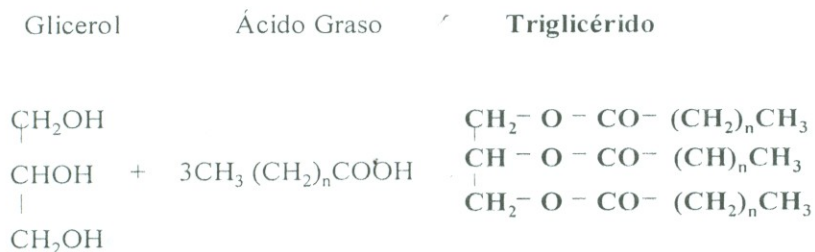
El alimento es uno de los insumos más costosos en el cultivo de camarones peneidos y representa entre el 50% y 70 % del gasto total de producción. De este modo, la calidad y el costo del alimento son aspectos críticos para la rentabilidad de la camaronicultura (Boyd,

2001). En la formulación de dietas balanceadas para camarón existen macronutrientes como los lípidos, que juegan un papel bioquímico importante dentro de la nutrición de estos organismos, constituyendo una fuente de energía concentrada altamente digerible; proveen ácidos grasos esenciales indispensables para la supervivencia y crecimiento normal de los animales, funcionan como transportadores de vitaminas liposolubles (A, D, E, K) y también son una fuente de fosfolípidos y esteroides, los cuales son indispensables para las funciones metabólicas del camarón (Cruz-Suárez *et al.*, 1999).

I.1.1. Triglicéridos

Entre los distintos grupos de lípidos resaltan los triacilglicerol, llamados también triglicéridos o grasas neutras. Son el grupo de lípidos más abundante en la naturaleza y constituyen la principal forma de almacenamiento de los ácidos grasos en las células animales y vegetales, especialmente en las células adiposas de vertebrados (Lehninger, 1986).

Estructuralmente, están formados por una molécula de glicerol esterificada a tres ácidos grasos como se observa a continuación:



Los triglicéridos son, entonces, triésteres de ácidos grasos y glicerol y su importancia radica en tres funciones importantes que son: a) producción de energía (los triglicéridos

almacenados se oxidan para generar ATP e impulsar procesos metabólicos), b) producción de calor (células especializadas oxidan a las grasas para producir calor, en lugar de ATP), y c) aislamiento (las capas de células adiposas situadas debajo de la piel actúan como un aislante térmico) (Mathews *et al.*, 2002).

I.1.2. Ácidos grasos

Los ácidos grasos son los lípidos más sencillos. No se encuentran en forma libre en las células o tejidos y se derivan de la hidrólisis de triglicéridos. Los ácidos grasos poseen una larga cadena hidrocarbonada y un grupo carboxilo terminal. La mayor parte de los ácidos grasos encontrados en la naturaleza tiene un número par de átomos de carbono en cadena lineal no ramificada, aunque también se encuentran unos cuantos de cadena ramificada con grupos metilos en las ramificaciones o incluso estructuras cíclicas (Lehninger, 1995; Mathews *et al.*, 2002).

La forma general de un ácido graso es: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$

Según la naturaleza de la cadena hidrocarbonada, se distinguen tres grupos de ácidos grasos, saturados, monoinsaturados y poliinsaturados. Los ácidos grasos saturados son estructuras sin ramificación y carecen de dobles enlaces. Los ácidos grasos monoinsaturados presentan un doble enlace. Los ácidos grasos con dos o tres dobles enlaces se conocen como poliinsaturados (PUFA, por sus siglas en inglés). Si en la cadena hidrocarbonada existen más de tres dobles enlaces se conocen como ácidos grasos altamente insaturados (HUFA, por sus siglas en inglés) (González-Félix *et al.*, 2004).

La nomenclatura de ácidos grasos indica el número de carbonos, número total de dobles enlaces y la posición del doble enlace próximo al grupo metilo terminal, cuyo carbono es señalado como el omega (ω) o carbono "n", determinando a las familias n-3 y n-6 (Brett y Dörthe, 1997).

Los triglicéridos están constituidos por una combinación de ácidos grasos. Comprenden un grupo variado y se clasifican en función de la capacidad de sintetizarlos endógenamente. De esta manera, se distinguen ácidos grasos esenciales y no esenciales. Los

esenciales son aquellos que el organismo no puede sintetizar, por lo que la única manera de obtenerlos es a partir de la dieta. Los no esenciales son aquellos que el organismo puede sintetizar a partir de otros nutrientes.

Los ácidos grasos 18:2n-6 (linoleico), 18:3n-3 (linolénico), 20:5n-3 (eicosapentaenoico) y 22:6n-3 (decosahexaenoico) (LOA, LNA, EPA y DHA, por sus siglas en inglés, respectivamente) son considerados como esenciales para camarones peneidos, ya que tienen una limitada capacidad para sintetizarlos *de novo*, así como para elongarlos y desaturarlos, es decir, sintetizar ácidos grasos PUFA y convertirlos a ácidos grasos HUFA como el ácido graso 20:4n-6 (araquidónico, ARA por sus siglas en inglés), EPA y DHA (Glencross & Smith, 2001; Glencross *et al.*, 2002; Merican & Shim, 1996, Xu *et al.*, 1994). Esta restricción ha sido también observada en peces marinos y ha sido atribuida a la ineficiencia del complejo enzimático elongasa o desaturasa Δ -5 (Sargent *et al.*, 2002).

1.2. Uso de triglicéridos en la manufactura de alimentos balanceados para acuicultura

Los aceites de pescado son productos químicos de origen natural obtenidos de la reducción de pesca pelágica. Son ampliamente utilizados en la nutrición animal, tanto en la manufactura de alimentos acuícolas como para aves, cerdos y animales domésticos.

La producción mundial de pescado en el año 2004 fue de 140.5 millones de toneladas, de la cual se estima que un 75% (105.6 millones de toneladas) se utilizó para consumo humano directo; el 25% restante (34.8 millones de toneladas) se destinó a la elaboración de productos que no son directamente alimentarios, en particular la fabricación de harina y aceite de pescado (FAO, 2006).

En el año 2003, hubo una producción mundial de aceite de pescado de 924 426 toneladas, en donde el 86.8 % (802 mil toneladas) fue consumido por la acuicultura y de ese volumen alrededor 471 mil toneladas fueron consumidas sólo por la salmonicultura. Esta industria acuícola es el principal consumidor mundial de aceite de pescado, seguido por el cultivo de trucha con un 15.4%; cultivo de peces marinos (bacalao y engorda de atún) con un 13.8%; las diferentes especies de carpas con un 5.5% y la camaronicultura con un 7.3% (Tacon *et al.*, 2006).

El problema de la sobrepesca, eventos climáticos como “el Niño” y el incremento del consumo de pescado a nivel mundial han llevado a que la disponibilidad del aceite de pescado no esté garantizada. Según predicciones hechas por Zaldivar-Larrain (2002), 97% de la producción mundial de aceite de pescado será consumida por la acuicultura en el año 2010, lo que significa prácticamente una demanda total del aceite de pescado. Ante esta problemática, es necesario buscar productos alternativos que mitiguen esta situación.

I.3. Pesquería de raya en México

En México la pesquería de diversas especies de rayas se practica tanto en los litorales del Océano Pacífico como del Golfo de México y representa una importante fuente de empleos y alimento.

La producción registrada en el litoral del Océano Pacífico en el 2003 fue de 3, 633 toneladas, de la cual más del 79 % provenía de los estados del noroeste. Destaca el estado de Sonora con un aporte promedio del 40 %, siguiéndole Baja California Sur, Baja California y Sinaloa con un 21 %, 12 % y 6 % respectivamente (Anuario Estadístico de Pesca, 2003).

En el litoral del Golfo de México la pesquería de raya tuvo un notable despegue a principios de los años 90's, especialmente en el Estado de Campeche, Veracruz y Tabasco. Sin embargo, a finales de esa década disminuyó la producción en todas las entidades. Actualmente, la pesquería de raya se encuentra desarrollada principalmente en el estado de Campeche, con una producción de 1, 112 toneladas en el 2003, representando un 45.3% de la producción total del Golfo de México (Anuario Estadístico de Pesca, 2003).

Estos organismos son apreciados por su carne, que es utilizada para la preparación de diversos platillos regionales, sobre todo en el noroeste del país. Desafortunadamente, una vez separadas las aletas pectorales, donde se concentra la mayor cantidad de carne, tanto las vísceras como el resto del cuerpo son arrojados directamente al mar o desechados en la orilla de la playa. Sin embargo, es bien conocido que el hígado de rayas es una fuente concentrada de ácidos grasos esenciales tanto PUFA como HUFA (Navarro-García *et al.*, 2004a, b). Por lo tanto, existe una clara oportunidad de uso de un recurso desaprovechado, siendo su inclusión en alimentos balanceados para camarón tan sólo una de las posibilidades de aplicación.

Dados estos antecedentes, el presente estudio contempla evaluar el valor nutricional

de diversos aceites de hígado de rayas del Golfo de México y del Golfo de California, los cuales serán incluidos como ingredientes en alimentos balanceados para el camarón blanco *L. vannamei*.

II. OBJETIVOS

II.1. Objetivo General

Evaluar el valor nutricional de diferentes aceites de hígado de raya en alimentos balanceados para camarón blanco del Pacífico *L. vannamei*.

II.2. Objetivos Específicos

1. Elaborar dietas experimentales con diferentes aceites de hígado de raya.
2. Evaluar su efecto sobre el desempeño biológico de *L. vannamei*.
3. Evaluar su efecto sobre el perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales y músculo de *L. vannamei*.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo un experimento de 28 días de duración en el Laboratorio Húmedo de Nutrición y Biotecnología Acuícolas de la Unidad Experimental Kino (UEK), Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, ubicado en Bahía Kino, Sonora, México.

III.1. Organismos experimentales

Se utilizaron postlarvas (PL) de *L. vannamei* adquiridas del laboratorio comercial Syaqua (Syaqua-México), ubicado en Bahía Kino, Sonora. Las postlarvas fueron transportadas a la UEK en bolsas de polietileno dentro de cajas de poliestireno con hielo. Los organismos se mantuvieron en la UEK en un período de maternidad o pre-cría al exterior en un tanque circular de 2.9 m de diámetro con capacidad de 6 m³ lleno de agua de mar filtrada. Para su aclimatación, las bolsas de polietileno se colocaron dentro del tanque y transcurridos 15 minutos se les agregó agua del tanque (aproximadamente 10% del volumen contenido en las bolsas). A intervalos de 5-10 minutos, se agregaron nuevas cantidades de agua, doblando la cantidad de agua agregada en cada ocasión hasta que el agua rebosó de las bolsas y entonces los organismos se liberaron. Los organismos se alimentaron con un alimento balanceado comercial con un contenido de proteína de 40% y permanecieron en este período de maternidad hasta alcanzar una talla individual promedio de 0.5-1.0 g.

III.2. Sistema experimental

Se utilizaron dos sistemas de cultivo experimental de recirculación idénticos del Laboratorio Húmedo de Nutrición y Biotecnología Acuícolas del DICTUS (Figura 1), cada uno de los cuales consiste de 50 tanques circulares de polietileno de 30 cm de diámetro, con capacidad de 19.7 l y área superficial de 0.07 m² (Figura 2). El agua recircula en cada uno de ellos y pasa a través de un biofiltro, un filtro de arena, un filtro de cartucho con poro de 40µm, una cámara de luz ultravioleta, así como a través de un enfriador de 1/2 HP (Aquatic Ecosystems, Modelo AE62B, Apopka, Florida, EUA). Los sistemas de cultivo están interconectados entre sí, de manera que compartieron la misma calidad de agua.

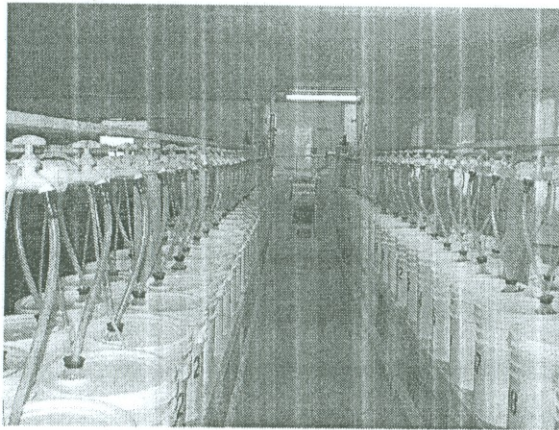


Figura 1. Sistema experimental empleado. Laboratorio Húmedo de Nutrición y Biotecnología Acuícolas, Unidad Experimental Kino.



Figura 2. Tanques del sistema experimental. Laboratorio Húmedo de Nutrición y Biotecnología Acuícolas, Unidad Experimental Kino.

III.3. Obtención del Hígado de Raya y Aceite

Se obtuvieron hígados de cuatro diferentes especies de raya. Dos de la localidad Ceibaplaya, Campeche, en el Golfo de México, y dos de Bahía de Kino, Sonora, en el Golfo de California. Las especies del Golfo de México fueron raya pinta (*Aetobatus narinari*) y raya chucha (*Rhinoptera bonasus*) (Figuras 3 y 4, respectivamente). Las del Golfo de California fueron raya arenera (*Dasyatis brevis*) y raya tecolote (*Rhinoptera steindachneri*) (Figuras 5 y 6, respectivamente). En todos los casos, las rayas fueron evisceradas y los hígados separados inmediatamente después del desembarque. Los hígados fueron colocados en bolsas de polietileno, colocándose dentro de hieleras con abundante hielo y transportados de inmediato para su congelación en el laboratorio a -20°C hasta el momento de la extracción del aceite.

La extracción del aceite de hígado de raya se hizo siguiendo la metodología descrita por Navarro-García *et al.* (2004a). Primero se realizó un homogenizado de los hígados y posteriormente se colocaron en baño maría, continuando con centrifugación. La temperatura de extracción fue de 50 °C ± 1°C y la velocidad de centrifugado fue de 5000 g por 25 minutos a 25°C. Los lípidos obtenidos fueron almacenados en viales de 60 ml y almacenados a -20°C bajo atmósfera de nitrógeno.

III.4. Tratamientos Experimentales

Utilizando los aceites de raya, se prepararon cuatro dietas experimentales semi-purificadas de acuerdo con la formulación descrita en la Tabla I. La composición proximal de las dietas experimentales se muestra en la Tabla II. Como control, se incluyó una dieta en la que se utilizó aceite de pescado Menhaden. Las dietas se prepararon mediante el método de extrusión en frío utilizando un extrusor Hobart (Modelo A-200, Hobart, Troy, Ohio, EUA) (Figura 7) y se secaron durante 24 horas en un horno a una temperatura de 40°C. Subsecuentemente, los pellets se mantuvieron en congelación hasta el momento de suministrarlos a los organismos.

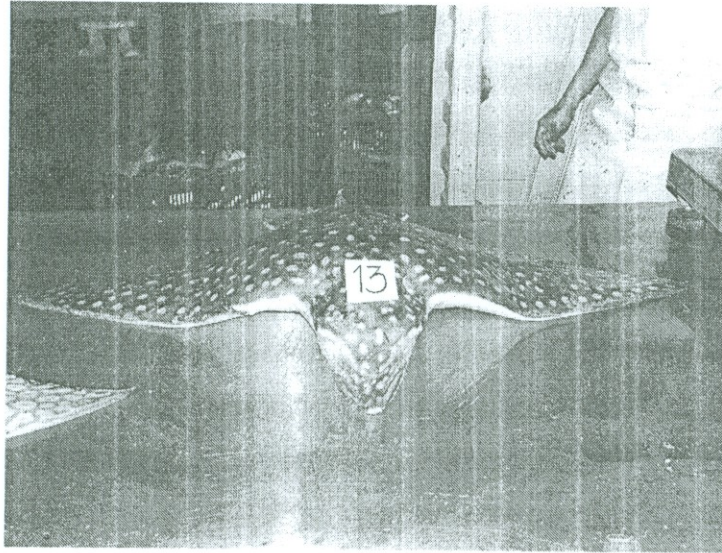


Figura 3. Raya pinta (*A. narinari*), obtenida en la localidad de Ceibaplaya, Campeche, México.



Figura 4. Raya chucha (*R. bonasus*), obtenida en la localidad de Ceibaplaya, Campeche, México.

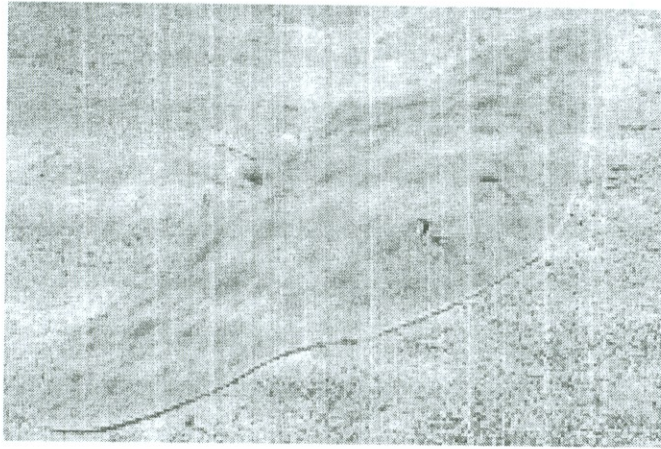


Figura 5. Raya arenera (*D. brevis*), obtenida en la localidad de Bahía Kino, Sonora, México.

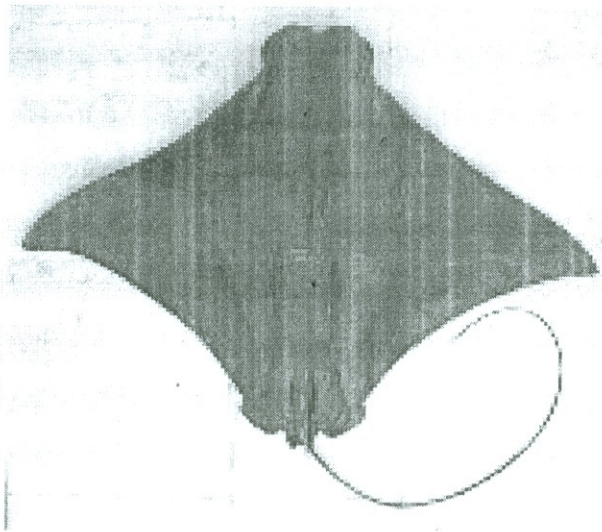


Figura 6. Raya tecolote (*R. steindachneri*), obtenida en la localidad de Bahía Kino, Sonora, México.

Tabla I. Composición de ingredientes de las dietas experimentales.

Ingrediente	Nivel de inclusión (% del peso seco)
Almidón de trigo ^a	37.86
Concentrado de proteína de soya ^b	24.79
Caseína libre de vitaminas ^c	6.63
Premezcla de minerales ^d	6.00
Gluten de trigo ^a	6.00
Alginato de sodio ^c	2.00
Hexametáfosfato de sodio ^c	1.00
Fosfato de sodio monobásico ^c	2.53
Harina de calamar ^e	4.00
Colesterol ^f	0.50
Premezcla de vitaminas ^g	0.50
Metionina ^c	0.35
Lisina ^h	0.15
Arginina ^h	0.02
Ácido ascórbico ^c	0.60
Sulfato de zinc ^c	0.06
Cloruro cúprico ^c	0.01
Lecitina de soya ⁱ	2.00
Aceite a evaluar ^j	5.00

^aGluten y Almidones Industriales, S.A. de C.V., México D.F., México.

^bSumilab S.A de C.V., Mazatlán, Sinaloa, México.

^cFaga Lab S.A de C.V., Mazatlán, Sinaloa, México.

^dMP Biomedicals Inc., Solon, Ohio, EUA, g/100 g de premezcla: cloruro de cobalto 0.004, sulfato cuprico pentahidratado 0.250, sulfato ferroso 4.0, sulfato de magnesio pentahidratado 28.398, sulfato manganoso monohidratado 0.650, yoduro de potasio 0.067, selenita de sodio 0.010, sulfato de zinc heptahidratado 13.193, relleno 53.428.

^eSelecta de Guaymas, S.A. de C.V., Guaymas, Sonora, México.

^fHycel de México, S.A. de C.V., México D.F. México.

^gMP Biomedicals Inc., Solon, Ohio, EUA, g/kg de premezcla: tiamina HCl 0.5, riboflavina 3.0, piridoxina HCl 1.0, DL ácido pantoténico 5.0, ácido nicotínico 5.0, biotina 0.05, ácido fólico 0.18, vitamina B12 0.002, inositol 5.0, menadiona 2.0, vitamina A acetato (20,000 IU/g) 5.0, vitamina D3 (400,000 IU/g) 0.002, dl-alfa-tocoferil acetato (250 IU/g) 8.0, Alfa-celulosa 865.266.

^hJalmek Científica, S.A. de C.V., San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

ⁱImpulsora Golden, S.A. de C.V., México D.F. México.

^jAceite de pescado Menhaden: MP Biomedicals Inc., Solon, Ohio, EUA



Figura 7. Extrusor Hobart utilizado para la elaboración de las dietas experimentales.

Tabla II. Análisis químico proximal de las dietas experimentales.

%	Dietas				
	Arenera	Pinta	Chucha	Tecolote	Menhaden
Humedad ^a	5.69	5.92	5.26	5.94	5.10
Proteína cruda ^a	28.18	28.21	27.77	28.00	27.66
Grasa cruda ^b	6.98	7.66	7.20	6.78	6.56
Cenizas ^a	9.69	9.70	9.50	9.40	9.72

^aDeterminados mediante la técnicas 925.09, 984.13, 920.85, 923.03, respectivamente (AOAC, 1999).

^cDeterminado mediante los métodos de extracción y cuantificación descritos en la sección III.8.

Extracción y Análisis de ácidos grasos.

III.5. Bioensayo de crecimiento

En el bioensayo se colocaron 4 camarones por tanque para mantener una densidad de siembra de 57 camarones/m². Durante los primeros 4 días del experimento se reemplazaron los camarones que murieron por el manejo y manipulación durante el pesaje y siembra por organismos de talla similar.

Los tanques se sifonearon diariamente para eliminar las heces, exuvias y exceso de alimento antes de la primera alimentación. Se aplicó una tasa de recambio diario de agua de 5-10% con el fin de mantener la calidad del agua. La cantidad de alimento se ajustó para proveer un exceso moderado. La ración diaria se administró en dos porciones iguales, una a las 08:00 horas y la segunda a las 17:00 horas.

III.6. Medición de parámetros fisicoquímicos y calidad de agua

Se realizaron mediciones de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto diariamente con un oxímetro (YSI, modelo 85, Yellow Spring, Ohio, EUA), en tanto que las concentraciones de nitrógeno amoniacal total, nitritos y nitratos del agua de cultivo se determinaron semanalmente siguiendo adaptaciones a métodos descritos anteriormente (Mullen y Riley, 1955; Solarzano, 1969; Strickland y Parsons, 1972; Spotte, 1979a, b). El pH del agua se midió semanalmente con un potenciómetro.

III.7. Evaluación de parámetros de producción

Al final del período experimental, se evaluaron parámetros de producción tales como peso final, peso ganado, tasa de crecimiento instantánea (TCI) y supervivencia. La supervivencia se determinó mediante la diferencia entre el número de organismos sembrados y el número de organismos cosechados, para lo cual se vigiló diariamente la mortalidad. El valor de la TCI para cada tratamiento se obtuvo aplicando la ecuación:

$$\text{TCI (\%/día)} = \frac{[100] [\ln (\text{Peso final} / \text{Peso inicial})]}{\text{Días de tratamiento}}$$

III.8. Extracción y Análisis de ácidos grasos

Al finalizar el experimento los organismos fueron colectados y preservados en bolsas de plástico en congelación a -20 °C para su posterior análisis. El análisis de ácidos grasos de las dietas experimentales se realizó por duplicado. El análisis de ácidos grasos de músculo de camarón se realizó por triplicado y cada muestra estuvo compuesta de músculo de tres camarones de diferentes tanques experimentales del mismo tratamiento.

La extracción de lípidos de dietas experimentales y músculo se hizo de acuerdo con el método descrito por Folch *et al.*, (1957). Los lípidos totales fueron cuantificados gravimétricamente a partir de una alícuota de 5 ml y el contenido total de lípidos se expresó como porcentaje del tejido húmedo. El resto de la muestra (25 ml) se utilizó para saponificación y metilación de los ácidos grasos para transformarlos a metil-ésteres utilizando trifluoruro de boro. Los metil ésteres de ácidos grasos (MEAG) se analizaron con un cromatógrafo de gas (Modelo CP 3800 Varian, Walnut Creek, California, EUA), equipado con una columna capilar de sílice de 30 m x 0.25 mm y con un detector de flama ionizante. Los ácidos grasos se identificaron mediante comparación de sus tiempos de retención con aquellos de estándares conocidos y se cuantificaron por medio de un estándar interno (ácido heptaenoico) y se expresaron en mg/g de muestra o como un porcentaje de los MEAG identificados.

III.9. Análisis estadístico

El análisis de datos de crecimiento y supervivencia, así como de ácidos grasos se realizó utilizando análisis de varianza de una sola vía para detectar posibles diferencias significativas con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$, identificándolas mediante el método de Duncan. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa “Statistical Analysis System software” (SAS Institute, 1999-2000, Software Release 8.1, Cary, Carolina del Norte, EUA).

IV. RESULTADOS

IV.I. Parámetros de Calidad de Agua

IV.I.1. Temperatura, Salinidad, Oxígeno disuelto y pH

La Tabla III muestra los valores semanales para cada uno de estos parámetros. A lo largo del experimento se mantuvo una temperatura estable, con un promedio de 31.7 ± 0.18 °C.

La salinidad del agua de cultivo presentó un valor promedio de 38.7 ± 2.25 ‰. Se observó un ligero aumento en la salinidad a medida que transcurrió el experimento, el cual fue corregido mediante la adición de agua dulce al sistema de cultivo.

La concentración de oxígeno disuelto en los tanques de cultivo fue de 5.87 ± 0.12 mg/l.

Los valores de pH permanecieron prácticamente sin variación a lo largo del experimento, registrándose un valor promedio de 8.0 ± 0.00 .

Tabla III. Parámetros de calidad de agua (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH) durante cuatro semanas de bioensayo.

Parámetro	Semanas de Cultivo			
	1	2	3	4
Temperatura (°C)	31.7 ± 0.56	31.8 ± 0.28	31.5 ± 0.48	31.9 ± 0.21
Salinidad (‰)	39.2 ± 0.38	40.2 ± 0.24	39.8 ± 1.70	35.3 ± 0.15
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5.98 ± 0.12	5.78 ± 0.13	5.75 ± 0.16	5.98 ± 0.06
pH	8.0 ± 0.00	8.1 ± 0.07	7.9 ± 0.14	8.1 ± 0.06

IV.I.2. Nitrógeno Amoniacal Total, Nitritos y Nitratos

La concentración inicial de nitrógeno amoniacal total en el sistema de cultivo fue de 0.076 mg NH₄-N/L. Para el día 14 esta concentración se duplicó a 0.153 mg/l, manteniéndose valores próximos a éste hasta el final del experimento. La concentración promedio fue de 0.12 mg NH₄-N/L (Figura 8).

En cuanto a la concentración de nitritos, se registraron valores de 0.02 a 0.05 mg NO₂-N/L. La concentración promedio fue de 0.04 mg NO₂-N/L (Figura 9). La concentración de nitratos para los primeros 14 días fue de 2.66 mg NO₃-N/L, cifra que aumento ligeramente a 3.89 mg NO₃-N/L al final del experimento. La concentración promedio fue de 3.16 mg NO₃-N/L (Figura 10).

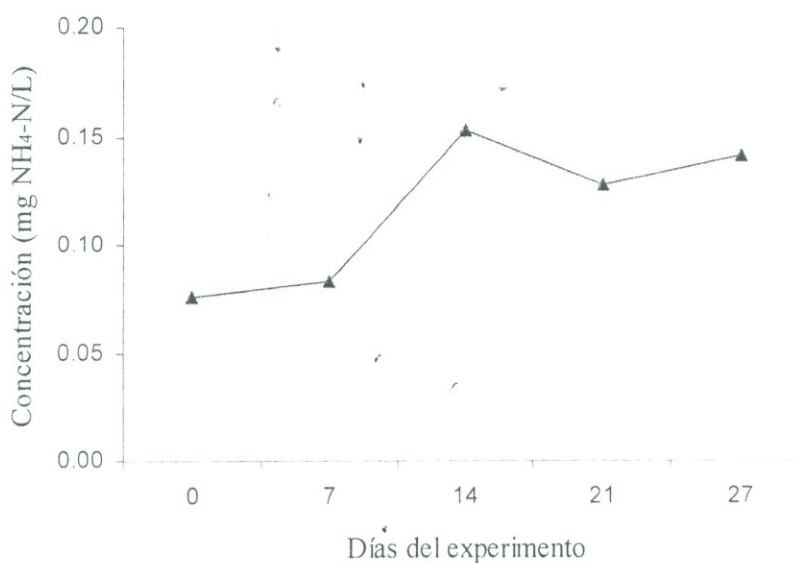


Figura 8. Concentración de nitrógeno amoniacal total (mg NH₄-N/L) durante el período experimental.

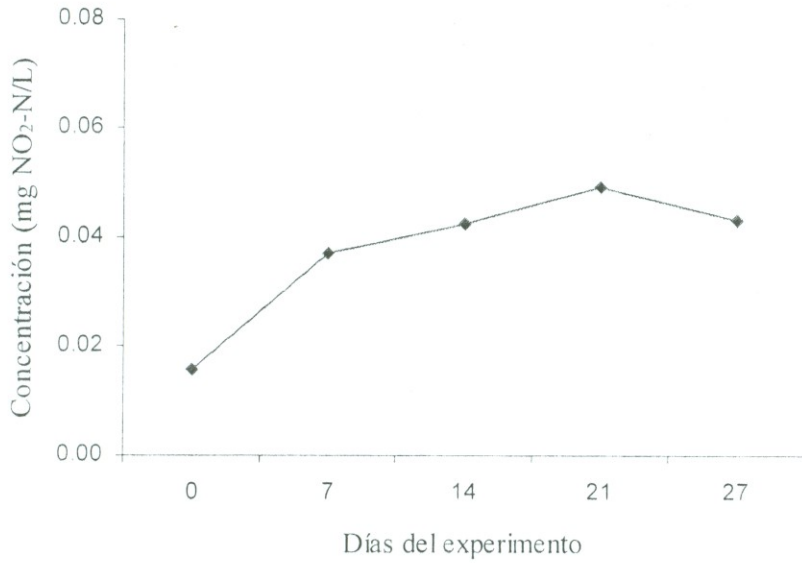


Figura 9. Concentración de nitritos (mg NO₂-N/L) durante el período experimental.

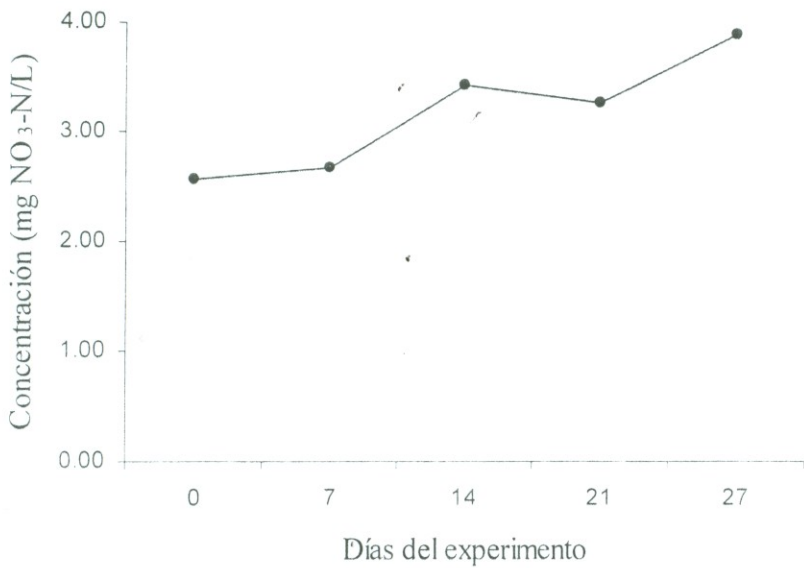


Figura 10. Concentración de nitratos (mg NO₃-N/L) durante el período experimental.

IV.II. Parámetros de Producción

Se evaluaron como parámetros de producción el peso inicial, peso final, peso ganado, TCI y supervivencia de los cinco tratamientos dietéticos y se muestran en las Figuras 11-16.

IV.II.1. Peso Inicial

Los organismos experimentales tuvieron un peso inicial promedio de 1.01 ± 0.04 g, el rango de tallas de los animales fue de 1.00 ± 0.04 a 1.03 ± 0.03 g. No se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos (Figura 11).

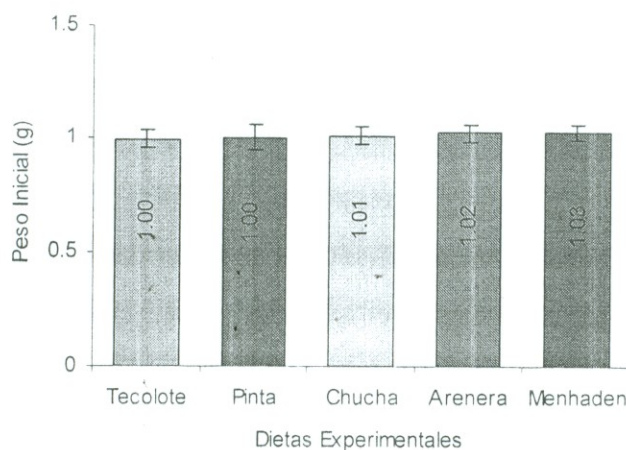


Figura 11. Peso inicial de los cinco tratamientos experimentales.

IV.II.2. Peso Final

Al culminar el periodo experimental (4 semanas), se observó que el mayor peso final fue de 1.86 ± 0.26 g y correspondió al tratamiento con aceite de pescado Menhaden, seguido por el tratamiento con aceite de raya pinta (1.82 ± 0.17 g). En general, todos los tratamientos dietéticos presentaron un peso final similar, no encontrándose diferencias significativas entre ellos (Figura 12).

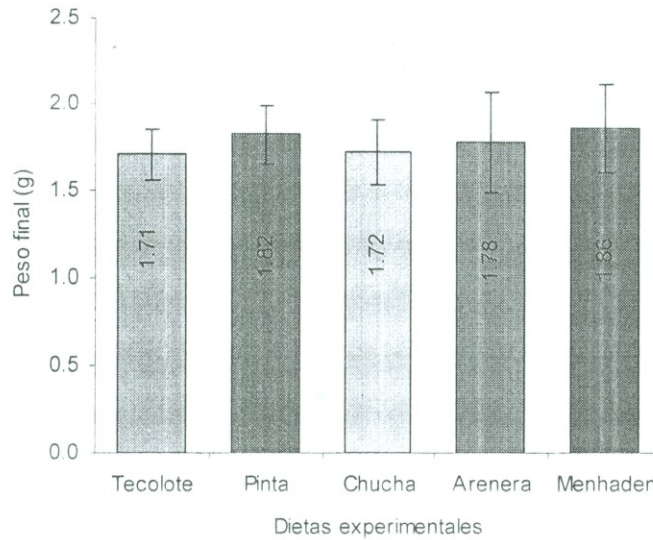


Figura 12. Peso final de los cinco tratamientos experimentales.

IV.II.3. Peso Ganado

El peso ganado representó la diferencia entre el peso final y el peso inicial. En este parámetro de producción se observó que los organismos alimentados con las dietas que contenían aceite de raya chucha y aceite de raya tecolote presentaron un menor peso ganado (0.71 ± 0.19 g y 0.71 ± 0.12 g, respectivamente), alcanzando un mayor peso ganado los camarones alimentados con la dieta que contenía aceite de pescado Menhaden (0.83 ± 0.25 g). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Figura 13).

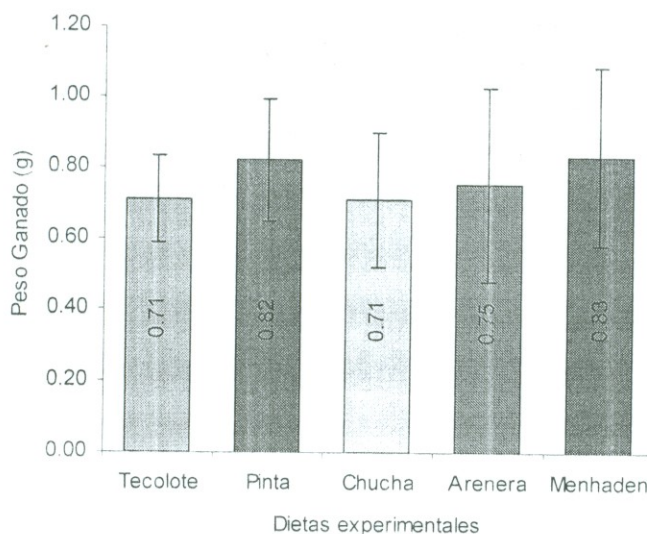


Figura 13. Peso ganado de los cinco tratamientos experimentales.

IV.II.4. Porcentaje de Peso Ganado .

El peso ganado fue expresado también como un porcentaje del peso inicial, exhibiendo un menor porcentaje de peso ganado en los animales alimentados con la dieta que contenía aceite de raya chucha (70.19 ± 19.64 %) y alcanzando el valor más alto los camarones alimentados con la dieta con aceite de raya pinta (81.88 ± 19.04 %). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Figura 14).

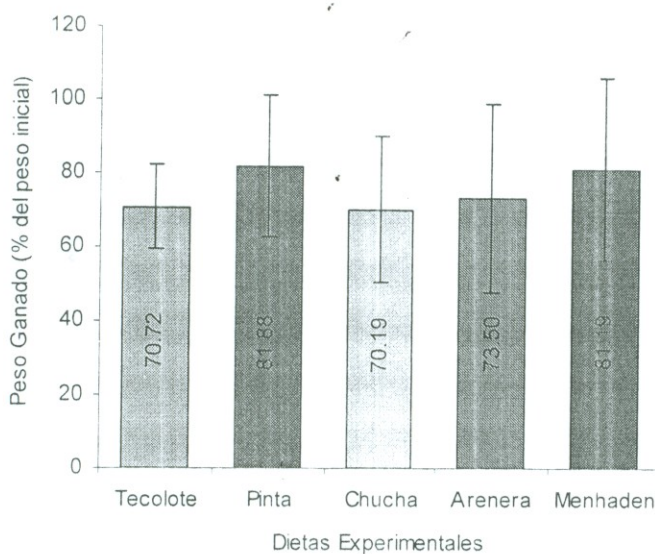


Figura 14. Porcentaje de peso ganado de los cinco tratamientos experimentales.

IV.II.5. Tasa de Crecimiento Instantánea

No se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos para este índice. Numéricamente, el mayor valor correspondió a los organismos alimentados con la dieta que contenía aceite de raya pinta (2.11 ± 0.38 %/día), siguiéndole la dieta control (Menhaden) y la dieta con aceite de raya arenera, con 2.09 ± 0.50 %/día y 1.93 ± 0.51 %/día, respectivamente (Figura 15).

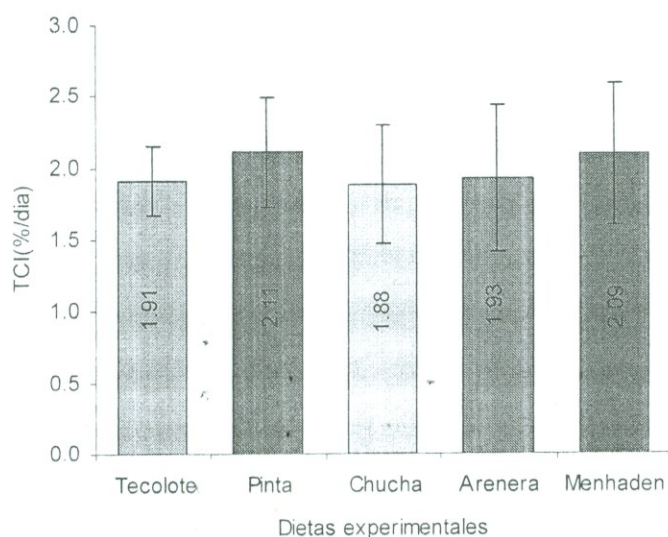


Figura 15. Tasa de crecimiento instantánea de los cinco tratamientos experimentales.

IV.II.6. Supervivencia

No hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos experimentales. El mayor y menor porcentaje de supervivencia se observó en los organismos cuyo alimento contenía aceite de raya pinta y aceite de raya arenera, con $82.81 \pm 17.60\%$ y $70.83 \pm 23.09\%$, respectivamente. El porcentaje promedio general de supervivencia de los organismos en cultivo fue de 76.53 ± 20.05 % (Figura 16).

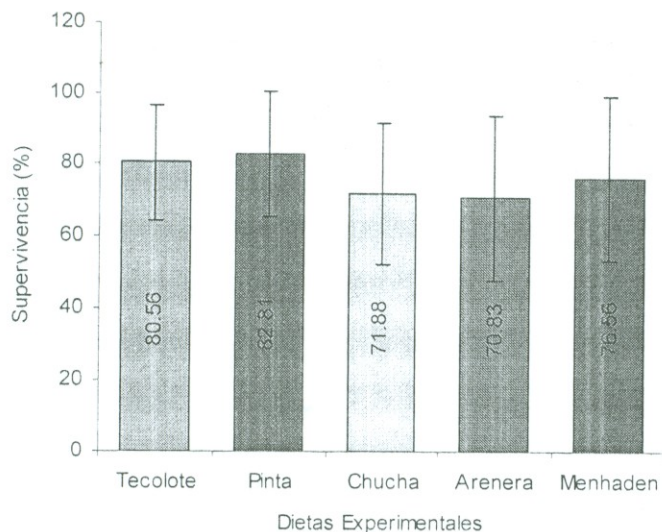


Figura 16. Porcentaje de supervivencia de los cinco tratamientos experimentales.

IV.III. Análisis de Lípidos

IV.III.1. Análisis de los Aceites de Hígado de Raya

Los aceites de hígado de todas las especies de raya estudiadas, así como el del aceite de pescado Menhaden se caracterizaron porque la suma total de ácidos grasos PUFA y HUFA representó la fracción principal, con valores que variaron de 293.73 a 375.61 mg/g de aceite (Tabla IV) (o en términos de su abundancia relativa, 48.88 a 61.51% del total de MEAG, Tabla V). La abundancia relativa de ácidos grasos monoinsaturados fue superior en el aceite de pescado Menhaden con 25.67 %, seguido por el del aceite de raya arenera con 23.93 % y raya chucha con 17.11 % (Tabla V). Con respecto a los ácidos grasos saturados identificados en el aceite de raya pinta, el ácido 16:0 (palmítico) se encontró en un alto porcentaje con 27.65 % del total de MEAG, mientras que en los otros aceites fue menor (Tabla V).

Tabla IV. Análisis de ácidos grasos (mg/g de aceite) de los cinco aceites utilizados como fuente de triglicéridos.

Ácido graso	Tratamientos				
	Tecolote	Pinta	Chucha	Arenera	Menhaden
16:0	104.00	166.16	106.98	84.76	93.33
18:0	17.44	12.15	30.46	19.39	14.94
18:1	58.38	47.70	64.72	77.57	59.76
18:2n-6	127.41	147.95	121.16	104.60	90.63
18:3n-3	8.01	21.39	7.06	8.63	13.92
20:4n-6	25.57	52.16	21.74	19.28	8.33
20:5n-3	62.87	16.82	64.67	61.53	99.64
22:6n-3	81.01	9.45	101.64	64.91	108.09
Total Saturados ²	136.18	197.86	177.95	115.56	151.17
Total Monoinsaturados ³	94.88	109.28	114.29	132.87	174.47
Total PUFA + HUFA ⁴	369.32	293.73	375.61	306.80	354.04
Total n-3 ⁵	176.24	68.40	194.03	152.47	240.89
Total n-6 ⁶	155.25	201.21	144.93	125.55	100.77

¹Saturados: 12:0, 14:0, 16:0, 18:0, 20:0, 22:0.

²Moinsaturados: 16:1, 18:1, 20:1, 22:1.

³PUFA + HUFA: 16:3, 16:4, 18:2n-6, 18:3n-3, 20:2, 20:3n-6, 20:4n-6, 20:3n-3, 20:5n-3, 22:2, 22:3, 22:4, 22:5n-3, 22:6n-3.

⁴Total n-3: 18:3n-3, 20:3n-3, 20:5n-3, 22:5n-3, 22:6n-3.

⁵Total n-6: 18:2n-6, 20:3n-6, 20:4n-6.

Tabla V. Análisis de ácidos grasos (% total MEAG) de los cinco aceites utilizados como fuente de triglicéridos.

Ácido graso	Tratamientos				
	Tecolote	Pinta	Chucha	Arenera	Menhaden
16:0	17.32	27.65	16.02	15.27	13.73
18:0	2.90	2.02	4.56	3.49	2.20
18:1	9.72	7.94	9.69	13.97	8.79
18:2n-6	21.22	24.62	18.14	18.84	13.33
18:3n-3	1.33	3.56	1.06	1.55	2.05
20:4n-6	4.26	8.68	3.26	3.47	1.23
20:5n-3	10.47	2.80	9.68	11.08	14.66
22:6n-3	13.49	1.57	15.22	11.69	15.90
Total Saturados ²	22.68	32.93	26.65	20.81	22.24
Total Monoinsaturados ³	15.80	18.19	17.11	23.93	25.67
Total PUFA + HUFA ⁴	61.51	48.88	56.24	55.26	52.09
Total n-3 ⁵	29.36	11.38	29.05	27.46	35.44
Total n-6 ⁶	25.86	33.49	21.70	22.61	14.83

¹Saturados: 12:0, 14:0, 16:0, 18:0, 20:0, 22:0.

²Moinsaturados: 16:1, 18:1, 20:1, 22:1.

³PUFA + HUFA: 16:3, 16:4, 18:2n-6, 18:3n-3, 20:2, 20:3n-6, 20:4n-6, 20:3n-3, 20:5n-3, 22:2, 22:3, 22:4, 22:5n-3, 22:6n-3.

⁴Total n-3: 18:3n-3, 20:3n-3, 20:5n-3, 22:5n-3, 22:6n-3.

⁵Total n-6: 18:2n-6, 20:3n-6, 20:4n-6.

IV.III.2. Contenido de lípido total en músculo de *L. vannamei*

En el análisis de lípidos totales en músculo no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Puede observarse que la variación entre los valores fue mínima (promedio global y desviación estándar de $1.11 \pm 0.20\%$ del peso húmedo, los promedios de tratamientos variaron de 1.03 a 1.37%) (Figura 17).

IV.III.3. Perfil de ácidos grasos en dieta y músculo de *L. vannamei*

El perfil de ácidos grasos en dietas experimentales se puede observar en las Tablas VI (mg/g) y VII (% del total de MEAG). Es evidente que la composición de ácidos grasos de los aceites de hígado de las diferentes rayas se vio reflejado tanto en las dietas experimentales como en el músculo de los camarones. Con excepción de los ácidos grasos 18:0, 18:1, LNA y

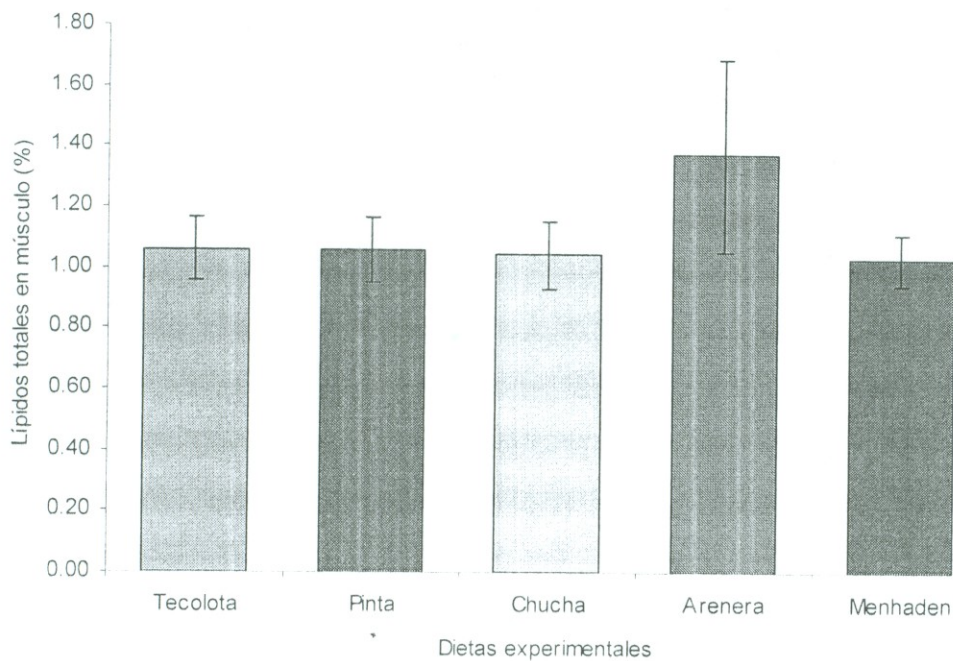


Figura 17. Contenido de lípidos totales en músculo de *L. vannamei* alimentado con diferentes aceites de hígado de raya.

de la cantidad total de ácidos grasos monoinsaturados, se observaron diferencias en el perfil de ácidos grasos cuantitativo (mg/g de peso húmedo) del resto de los ácidos grasos de músculo de *L. vannamei* reportados en la Tabla VIII. El contenido de ARA fue significativamente mayor en el músculo de organismos alimentados con aceite de hígado de raya pinta (4.11 ± 0.34 mg/g de músculo) que en el de todos los otros tratamientos. El mayor contenido de EPA y DHA se observó en músculo de organismos que recibieron la dieta con aceite de pescado Menhaden (5.93 ± 0.35 y 3.45 ± 0.20 mg/g de músculo, respectivamente), siendo significativamente mayor, en el caso del EPA, al de los organismos de los tratamientos con aceites de raya arenera, tecolote y pinta (3.47 ± 0.12 , 4.43 ± 0.49 y 4.02 ± 0.32 mg/g, respectivamente), pero no al de camarones que recibieron aceite de raya chucha (5.05 ± 1.01 mg/g). Y en el caso del DHA, significativamente mayor que en los tratamientos con aceites de raya arenera y pinta (2.01 ± 0.13 y 2.52 ± 0.26 mg/g, respectivamente) pero no mayor que los tratamientos con aceites de raya chucha ni tecolote (3.13 ± 0.68 y 2.78 ± 0.50 mg/g,

respectivamente) (Tabla VIII).

Se observó un patrón similar de diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a la abundancia relativa de los MEAG. Nuevamente, el mayor registro de ARA correspondió a los organismos alimentados con aceite de hígado de raya pinta, significativamente mayor que en el resto de los tratamientos (Tabla IX). La mayor acumulación del EPA nuevamente correspondió a los camarones alimentados con aceite de pescado Menhaden, estadísticamente superior a la observada en los tratamientos con aceites de raya arenera y pinta, pero no con aceite de rayas chucha y tecolote. En el caso del DHA, el mayor porcentaje se registró para el tratamiento con aceite de raya tecolote, seguido en orden descendiente, por los de pescado Mehhaden, raya chucha, raya pinta y raya arenera, siendo los tres primeros significativamente mayores a los dos últimos, pero no estadísticamente diferentes entre sí (Tabla IX).

Tabla VI. Perfil de ácidos grasos (mg/g de dieta) en dietas experimentales^a.

Ácido Graso	Tratamiento				
	Tecolote	Pinta	Chucha	Arenera	Menhaden
16:0	5.50 ± 1.02	9.19 ± 1.15	5.09 ± 0.45	5.55 ± 1.80	6.63 ± 0.96
18:0	1.48 ± 0.16	1.34 ± 0.13	1.62 ± 0.07	1.66 ± 0.55	1.02 ± 0.17
18:1	4.96 ± 0.84	5.28 ± 0.72	3.43 ± 0.38	4.93 ± 1.57	4.14 ± 0.61
18:2n-6	4.10 ± 0.81	3.83 ± 0.32	3.48 ± 0.28	4.20 ± 1.11	4.87 ± 0.64
18:3n-3	0.61 ± 0.25	0.46 ± 0.06	0.61 ± 0.07	0.79 ± 0.25	1.05 ± 0.11
20:4n-6	0.83 ± 0.10	1.85 ± 0.13	0.66 ± 0.03	0.82 ± 0.23	0.31 ± 0.04
20:5n-3	1.93 ± 0.28	0.38 ± 0.01	2.10 ± 0.09	2.59 ± 0.73	3.57 ± 0.56
22:6n-3	2.58 ± 0.41	0.35 ± 0.01	2.99 ± 0.12	2.56 ± 0.67	3.59 ± 0.61
Total Saturados ¹	7.44 ± 1.25	11.02 ± 1.35	7.43 ± 0.56	7.74 ± 2.54	9.15 ± 1.41
Total Monoinsaturados ²	6.44 ± 1.04	7.13 ± 0.92	4.31 ± 0.45	7.08 ± 2.15	8.35 ± 1.17
Total PUFA + HUFA ³	11.89 ± 2.10	8.40 ± 0.49	11.37 ± 0.57	12.79 ± 3.43	14.52 ± 2.17
Total n-3 ⁴	5.69 ± 1.03	1.83 ± 0.10	6.11 ± 0.19	6.58 ± 1.80	8.76 ± 1.39
Total n-6 ⁵	5.03 ± 0.91	5.75 ± 0.44	4.20 ± 0.32	5.10 ± 1.37	5.26 ± 0.69

^aLos valores son el promedio de análisis duplicado.

¹Saturados: 12:0, 14:0, 16:0, 18:0, 20:0, 22:0.

²Moinsaturados: 16:1, 18:1, 20:1, 22:1.

³PUFA + HUFA: 16:3, 16:4, 18:2n-6, 18:3n-3, 20:2, 20:3n-6, 20:4n-6, 20:3n-3, 20:5n-3, 22:2, 22:3, 22:4, 22:5n-3, 22:6n-3.

⁴Total n-3: 18:3n-3, 20:3n-3, 20:5n-3, 22:5n-3, 22:6n-3.

⁵Total n-6: 18:2n-6, 20:3n-6, 20:4n-6.

Tabla VII. Perfil de ácidos grasos (% total MEAG) en dietas experimentales^a.

Ácido Graso	Tratamientos								
	Tecolote ^c	Pinta ^c	Chucha ^c	Arenera ^c	Menhaden ^c	Coco ^b	Soya ^b	Linaza ^b	Cacahuete ^b
12:0						28.96	0.12	0.05	0.04
14:0	1.20 ± 0.06	1.84 ± 0.10	2.06 ± 0.01	1.19 ± 0.10	0.86 ± 0.02	10.88	0.53	0.47	0.43
16:0	21.30 ± 0.33	34.58 ± 0.72	22.00 ± 0.47	19.99 ± 0.65	20.71 ± 0.07	11.23	12.26	9.29	12.15
18:0	5.76 ± 0.37	5.05 ± 0.04	7.01 ± 0.19	5.99 ± 0.22	3.20 ± 0.05	3.45	4.38	4.04	0.49
18:1	19.27 ± 0.04	19.85 ± 0.64	14.83 ± 0.63	17.77 ± 0.46	12.92 ± 0.01	13.53	22.85	20.73	39.04
18:2n-6	15.88 ± 0.44	14.45 ± 0.28	15.05 ± 0.19	15.26 ± 0.46	15.22 ± 0.26	20.86	50.11	29.17	38.77
18:3n-3	2.31 ± 0.56	1.74 ± 0.03	2.64 ± 0.13	2.83 ± 0.07	3.30 ± 0.15	2.52	6.64	32.85	3.28
20:4n-6	3.23 ± 0.17	6.98 ± 0.25	2.87 ± 0.05	2.96 ± 0.03	0.97 ± 0.01	0.08	— ^c	0.04	0.005
20:5n-3	7.52 ± 0.20	1.45 ± 0.10	9.09 ± 0.22	9.39 ± 0.13	11.15 ± 0.08	0.74	0.71	0.79	1.77
22:6n-3	10.01 ± 0.12	1.34 ± 0.19	12.94 ± 0.38	9.30 ± 0.30	11.20 ± 0.24	0.45	0.56	0.43	0.47
Total Saturados ¹	28.88 ± 0.06	41.47 ± 0.78	32.15 ± 0.22	27.87 ± 0.99	28.55 ± 0.17	60.40	17.47	14.07	13.37
Total					26.10 ± 0.22	14.50	24.02	21.97	40.82
Monoinsaturados ²	25.03 ± 0.24	26.81 ± 0.68	18.63 ± 0.66	25.62 ± 0.25	45.34 ± 0.05	25.10	58.52	63.96	45.80
Total PUFA y HUFA ³	46.10 ± 0.30			46.51 ± 1.24	27.33 ± 0.29	3.88	8.12	34.37	6.48
Total n-3 ⁴	22.06 ± 0.22	6.92 ± 0.35	26.47 ± 0.97	23.90 ± 0.52	16.46 ± 0.28	20.94	50.11	29.28	38.90
Total n-6 ⁵	19.51 ± 0.19	21.68 ± 0.61	18.16 ± 0.13	18.55 ± 0.48					

^aLos valores son el promedio de análisis duplicado.

^bTomado de González-Félix *et al.* (2002)

^c— = 0.0, no detectado.

¹Total saturados: 12:0, 14:0, 16:0, 18:0, 20:0, 22:0.

²Total monoinsaturados: 16:1, 18:1, 20:1, 22:1.

³Total PUFA + HUFA: 16:3, 16:4, 18:2n-6, 18:3n-3, 20:2, 20:3n-6, 20:3n-6, 20:4n-6, 20:3n-3, 20:5n-3, 22:2, 22:3, 22:4, 22:5n-3, 22:6n-3.

⁴Total n-3: 18:3n-3, 20:3n-3, 20:5n-3, 22:5n-3, 22:6n-3.

⁵Total n-6: 18:2n-6, 20:3n-6, 20:4n-6.

Tabla VIII. Perfil de ácidos grasos (mg/g) en músculo de *L. vannamei*^a.

Ácido graso	Tratamientos				
	Tecolote	Pinta	Chucha	Arenera	Menhaden
16:0	5.87 ± 0.39 ^a	7.81 ± 0.77 ^b	7.38 ± 1.14 ^b	9.46 ± 0.27 ^c	7.70 ± 0.31 ^b
18:0	2.51 ± 0.46	3.03 ± 0.07	3.01 ± 0.45	2.70 ± 0.22	2.54 ± 0.16
18:1	5.12 ± 0.32	6.04 ± 0.56	5.31 ± 0.51	5.70 ± 0.31	5.91 ± 0.76
18:2n-6	3.83 ± 0.59 ^{ab}	4.82 ± 0.40 ^{bc}	4.13 ± 0.76 ^{abc}	3.45 ± 0.88 ^a	5.17 ± 0.16 ^c
18:3n-3	0.32 ± 0.12	0.36 ± 0.09	0.30 ± 0.06	0.25 ± 0.05	0.46 ± 0.01
20:4n-6	2.19 ± 0.20 ^b	4.11 ± 0.34 ^c	2.22 ± 0.44 ^b	1.54 ± 0.04 ^a	1.40 ± 0.07 ^a
20:5n-3	4.43 ± 0.49 ^{ab}	4.02 ± 0.32 ^{ab}	5.05 ± 1.01 ^{bc}	3.47 ± 0.12 ^a	5.93 ± 0.35 ^c
22:6n-3	2.78 ± 0.50 ^{abc}	2.52 ± 0.26 ^{ab}	3.13 ± 0.68 ^{bc}	2.01 ± 0.13 ^a	3.45 ± 0.20 ^c
Total Saturados ¹	7.61 ± 2.23 ^a	11.10 ± 0.81 ^b	10.70 ± 1.53 ^b	12.47 ± 0.26 ^b	10.56 ± 0.46 ^b
Total Monoinsaturados ²	5.68 ± 0.39	6.96 ± 0.68	6.23 ± 0.48	6.59 ± 0.26	7.08 ± 0.90
Total PUFA + HUFA ³	14.29 ± 1.90 ^b	16.89 ± 1.37 ^b	15.49 ± 3.04 ^b	10.61 ± 0.47 ^a	17.15 ± 0.79 ^b
Total n-3 ⁴	7.68 ± 1.11 ^{ab}	7.31 ± 0.63 ^{ab}	8.59 ± 1.70 ^{bc}	5.75 ± 0.26 ^a	9.98 ± 0.52 ^c
Total n-6 ⁵	6.02 ± 0.72 ^b	8.93 ± 0.73 ^c	6.36 ± 1.19 ^b	4.49 ± 0.22 ^a	6.57 ± 0.23 ^b

^a Los valores son promedios de tres muestras. Los promedios en cada renglón con diferente superíndice son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

¹ Saturados: 12:0, 14:0, 16:0, 18:0, 20:0, 22:0.

² Monoinsaturados: 16:1, 18:1, 20:1, 22:1.

³ PUFA + HUFA: 16:3, 16:4, 18:2n-6, 18:3n-3, 20:2, 20:3n-6, 20:4n-6, 20:3n-3, 20:5n-3, 22:2, 22:3, 22:4, 22:5n-3, 22:6n-3.

⁴ Total n-3: 18:3n-3, 20:3n-3, 20:5n-3, 22:5n-3, 22:6n-3.

⁵ Total n-6: 18:2n-6, 20:3n-6, 20:4n-6.

Tabla IX. Perfil de ácidos grasos (% total MEAG) en músculo de *L. vannamei*^a.

Ácido Graso	Tratamientos					
	Tecolote	Pinta	Chucha	Arenera	Menhaden	
16:0	19.93 ± 1.01 ^a	22.32 ± 0.49 ^b	24.30 ± 1.40 ^d	31.81 ± 0.75 ^c	22.17 ± 0.70 ^b	
18:0	9.08 ± 0.44 ^b	8.70 ± 0.74 ^b	9.27 ± 0.25 ^b	8.88 ± 0.42 ^b	7.31 ± 0.04 ^a	
18:1	17.65 ± 0.68	17.26 ± 0.46	16.50 ± 1.72	18.78 ± 0.51	17.70 ± 0.38	
18:2n-6	13.89 ± 0.58 ^b	13.78 ± 0.10 ^b	12.72 ± 0.87 ^{ab}	11.33 ± 2.50 ^a	14.88 ± 0.46 ^b	
18:3n-3	1.12 ± 0.32	1.03 ± 0.19	0.95 ± 0.25	0.81 ± 0.17	1.31 ± 0.05	
20:4n-6	7.48 ± 0.09 ^d	11.76 ± 0.31 ^e	6.82 ± 0.46 ^c	5.19 ± 0.16 ^b	4.03 ± 0.04 ^a	
20:5n-3	15.33 ± 0.37 ^a	11.50 ± 0.23 ^b	15.49 ± 1.04 ^a	11.68 ± 0.44 ^b	17.05 ± 0.20 ^a	
22:6n-3	10.13 ± 1.41 ^c	7.22 ± 0.30 ^a	9.57 ± 0.84 ^{bc}	6.62 ± 0.28 ^a	9.93 ± 0.65 ^{bc}	
Total Saturados ²	30.09 ± 1.17 ^a	31.78 ± 0.25 ^a	33.08 ± 2.89 ^a	41.96 ± 0.68 ^b	30.36 ± 0.60 ^a	
Total Monoinsaturados ³	20.78 ± 2.04	19.90 ± 0.64	19.38 ± 2.04	21.75 ± 1.26	20.31 ± 1.63	
Total PUFA + HUFA ⁴	51.99 ± 3.25 ^a	48.32 ± 0.52 ^a	47.54 ± 3.16 ^a	35.70 ± 1.73 ^b	49.32 ± 1.04 ^a	
Total n-3 ⁵	27.94 ± 2.58 ^b	20.89 ± 0.14 ^a	26.36 ± 1.71 ^b	19.35 ± 0.95 ^a	28.70 ± 0.83 ^b	
Total n-6 ⁶	21.91 ± 0.69 ^d	25.54 ± 0.40 ^e	19.54 ± 1.29 ^c	15.10 ± 0.82 ^a	18.90 ± 0.48 ^{bc}	

^aLos valores son promedios de tres muestras. Los promedios en cada renglón con diferente superíndice son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

¹Saturados: 12:0, 14:0, 16:0, 18:0, 20:0, 22:0.

²Moinsaturados: 16:1, 18:1, 20:1, 22:1.

³PUFA + HUFA: 16:3, 16:4, 18:2n-6, 18:3n-3, 20:2, 20:3n-6, 20:4n-6, 20:3n-3, 20:5n-3, 22:2, 22:3, 22:4, 22:5n-3, 22:6n-3.

⁴Total n-3: 18:3n-3, 20:3n-3, 20:5n-3, 22:5n-3, 22:6n-3.

⁵Total n-6: 18:2n-6, 20:3n-6, 20:4n-6.

V. DISCUSIÓN

V.I. Parámetros de Calidad de Agua

Puede considerarse que la calidad del agua de cultivo fue adecuada a lo largo de todo el experimento, ya que los valores registrados de oxígeno disuelto, temperatura y salinidad fueron sumamente estables y se encontraron dentro de los límites óptimos para cultivo de camarón (Auro y Ocampo, 2006). Así mismo, los desechos nitrogenados en el agua de cultivo no representaron riesgo alguno para los organismos, ya que los promedios de la concentraciones nitrógeno amoniacal total (0.12 mg NH₄-N/L), nitritos (0.04 mg NO₂-N/L) y nitratos (3.16 mg NO₃-N/L) fueron prácticamente despreciables, estando muy lejanas de los valores considerados tóxicos para camarones peneidos en agua de mar (niveles máximos críticos de 2.60-3.95, 25.7 y 232 mg/L para nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos, respectivamente) (Jiang *et al.* 1999; Lin y Chen, 2001; Tsai y Chen, 2002; Lin y Chen, 2003).

V.II. Parámetros de Producción

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para ninguno de los parámetros de producción evaluados (peso final, peso ganado, porcentaje de peso ganado, TCI y supervivencia). Esta carencia de diferencias significativas es importante, ya que implica que los aceites de las cuatro especies de raya evaluados brindaron una calidad nutricional para *L. vannamei* comparable a la del aceite de pescado Menhaden, en términos de su efecto sobre el crecimiento y supervivencia, lo que para fines prácticos es criterio suficiente para utilizar este recurso hasta ahora desperdiciado. El aprovechamiento del hígado como subproducto de la pesquería de raya tendría implicaciones no solo en el fortalecimiento de la economía de los pescadores, sino que también mitigaría el posible impacto ambiental causado por el hecho de que, una vez separadas las aletas pectorales del organismo, el resto del cuerpo que contiene la cabeza, el abdomen con la totalidad de las vísceras, etc., comúnmente es arrojado al mar. A este respecto, es de interés explorar el uso de la totalidad de dichos subproductos, cuya aplicación en acuicultura también es factible. En cuanto al aceite de hígado, es importante resaltar que la evaluación realizada en el presente trabajo representa una de las múltiples aplicaciones que este producto puede tener, en vista de que, como se verá más adelante, con base en su perfil de ácidos grasos, se trata en general de

aceites de alta calidad, siendo precisamente ésta la razón que explica el adecuado desempeño biológico observado en los organismos en este estudio.

V.III. Análisis de Lípidos

V.III.1. Análisis del Aceite de Hígados de Raya

Al igual que el aceite de pescado Menhaden, utilizado como referencia o control, sin duda el aspecto más sobresaliente del perfil de ácidos grasos de todos los aceites de hígado raya evaluados es su rico contenido de HUFA de las familias n-3 y n-6. Incluso, todos los aceites de hígado de raya tuvieron un mayor contenido de ARA (19.28-52.16 mg de ARA/g de aceite) que el aceite de pescado Menhaden (8.33 mg de ARA/g de aceite) (Tabla IV). Así mismo, en los aceites de hígado de raya pueden apreciarse altos niveles de EPA y DHA, con excepción del aceite de hígado de raya pinta, el cual presentó niveles moderados. Sin embargo, su contenido de ARA fue particularmente alto (52.16 mg de ARA/g de aceite), siendo más del doble que el de los otros aceites (Tabla IV). En su conjunto, el adecuado perfil de ácidos grasos de los aceites de hígado de raya evaluados explica los favorables resultados de desempeño biológico observados y es consistente con la noción de que los aceites animales de origen marino, ricos en HUFA de las familias n-3 y n-6, tienen un gran valor nutricional para los camarones peneidos. De este modo, tomando en cuenta que *L. vannamei* parece tener un requerimiento nutricional de HUFA, sin importar si pertenecen a las familias n-3 o n-6, y no un requerimiento nutricional de PUFA, (González-Félix *et al.*, 2003a, b), es aparente que todos los aceites de hígado de raya evaluados pueden satisfacer con creces los requerimientos de ácidos grasos de esta especie.

Es pertinente reiterar que el presente estudio representa tan solo una de las múltiples aplicaciones que los aceites de hígado de raya utilizados pueden tener. Por su alta calidad nutricional, comparable e incluso en algunos casos con niveles superiores de HUFA específicos con respecto al aceite de pescado Menhaden, es concebible que los usos de este último sean extensibles a los aceites de raya evaluados. Entre dichos usos destaca la preparación de los denominados suplementos alimenticios ricos en ácidos grasos n-3, muy populares en la actualidad y de alto valor comercial. También pueden mencionarse la preparación de productos horneados (pasteles, panes, galletas), yogurt, productos de queso,

productos lácteos congelados (postres), productos cárnicos (res, pescado), salsas, aderezos y bocadillos, entre otros (U.S. Food and Drug Administration, 2002). Por lo anterior, el aceite de hígado de raya puede tener un potencial de aprovechamiento muy promisorio.

V.III.2. Contenido de lípido total en dietas y músculo de *L. vannamei*

La cuantificación de lípido total indicó valores similares en las distintas dietas experimentales, con un valor promedio de 7.04% e intervalo de variación de 6.56 a 7.66%. Lo mismo puede afirmarse acerca de la composición proximal de proteína, ceniza y humedad (Tabla II). Dichos análisis confirmaron el carácter isolipídico e isoproteico de las dietas experimentales, y por consiguiente, su adecuada preparación.

Los valores de lípido total en músculo variaron de 1.03 a 1.37% del peso húmedo, lo que concuerda bien con valores reportados anteriormente para músculo de juveniles de esta especie (intervalo de 0.71-2.10% del peso húmedo) (González-Félix *et al.*, 2002a, b; Quintero-Alvarez, 2006). La literatura indica también que el nivel de lípido de la dieta es capaz de influenciar el nivel de lípido total depositado en músculo, tal y como lo demuestran las diferencias significativas encontradas por González Félix *et al.* (2002c) entre organismos de esta misma especie alimentados con un nivel de lípido total de 3% (nivel en músculo de 1.91 % del peso húmedo), en comparación con camarones que recibieron un nivel de lípido dietético de 9% (nivel en músculo de 2.15 % del peso húmedo). A este respecto, la ausencia de diferencias significativas entre el contenido de lípido total en músculo de los diversos tratamientos en este estudio es explicable precisamente a partir de la naturaleza isolipídica de las dietas experimentales.

V.III.3. Perfil de ácidos grasos en dieta y músculo de *L. vannamei*

Como podría esperarse, el perfil de ácidos grasos de los aceites utilizados se reflejó en sus dietas experimentales respectivas. Por ejemplo, el mayor nivel de ARA, registrado para el aceite de raya pinta (5.16 mg de ARA/g de aceite, Tabla IV) correspondió con lo mayores niveles del mismo en la dieta experimental a la que se adicionó este aceite (1.85 mg de ARA/g de dieta, Tabla VI). De igual forma, el menor contenido de los ácidos grasos EPA y DHA correspondieron tanto a este aceite (16.82 y 9.45 mg de EPA y DHA/g de aceite,

respectivamente, Tabla IV) como a la dieta experimental a la que se le adicionó (0.38 y 0.35 mg de EPA y DHA/g de dieta, respectivamente, Tabla VI).

Es pertinente resaltar también que del perfil de ácidos grasos, en términos del porcentaje del total de MEAG identificados, las proporciones de algunos ácidos grasos como el LOA, ARA, EPA, 22:5n-3 y DHA fueron siempre mayores para los aceites que para las dietas respectivas (Tablas V y VII). El caso contrario puede observarse para una variedad de ácidos grasos como el 16:0, 18:0, 18:1 y 18:3n-3 (Tablas V y VII). Estas diferencias obedecen, en el primer caso, simplemente a que los aceites fueron la fuente prácticamente exclusiva de dichos ácidos grasos (HUFA). Y en el segundo, a que los demás ingredientes de la dieta basal (e.g., la lecitina de soya que fue incluida a un nivel de 2% de la dieta) contribuyeron significativamente a la abundancia relativa de los ácidos grasos en cuestión (16:0, 18:0, 18:1, 18:2n-6 y 18:3n-3).

Por otra parte, la composición de ácidos grasos de los aceites no solamente influyó aquella de las dietas, sino que la de éstas, a su vez, se vio reflejada claramente en el perfil de ácidos grasos depositados en músculo. Por ejemplo, los mayores contenidos de ARA correspondieron tanto a la dieta con aceite de raya pinta como al músculo de organismos alimentados con la misma (1.85 mg/g de dieta y 4.11 mg/g de tejido húmedo, respectivamente, Figura 18. Del mismo modo, las mayores concentraciones de EPA y DHA se registraron para la dieta con aceite de pescado Menhaden (3.57 y 3.59 mg/g de dieta, respectivamente) y para el músculo de los organismos que recibieron este alimento (5.93 y 3.45 mg/g de tejido, respectivamente) (Figuras 19 y 20. Esta influencia de los ácidos grasos dietéticos sobre la composición de ácidos grasos de tejidos de camarones peneidos ha sido descrita ampliamente (Colvin, 1976; Guary *et al.*, 1976; Deering *et al.*, 1997; Kayama *et al.*, 1980; Millamena, 1989; González-Félix *et al.*, 2002a, b, c; Quintero-Alvarez, 2006). En casos particulares de algunos ácidos grasos, no pareció haber una correspondencia directa entre el nivel dietético y el nivel encontrado en músculo, e.g., el mayor nivel del ácido graso 16:0 correspondió a la dieta con aceite de raya pinta (9.19 mg/g de dieta, Tabla VI), pero el mayor nivel en músculo fue para los organismos alimentados con aceite de raya arenera (9.46 mg/g de tejido, Tabla VIII, cuya dieta contenía solo 5.55 mg/g de dieta, Tabla VI). Esto puede deberse ya sea a retención selectiva o síntesis activa de los mismos, como ha sido sugerido

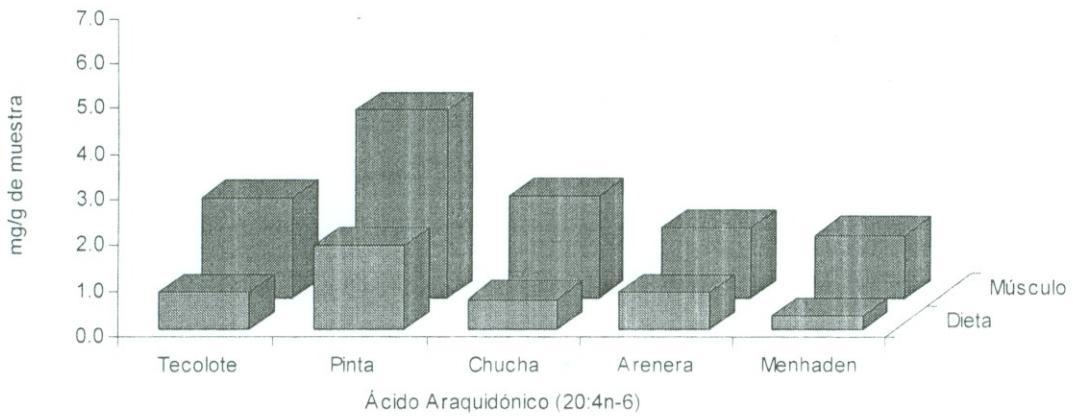


Figura 18. Concentración de ácido araquidónico en dietas experimentales y su efecto sobre el músculo de *L. vannamei*.

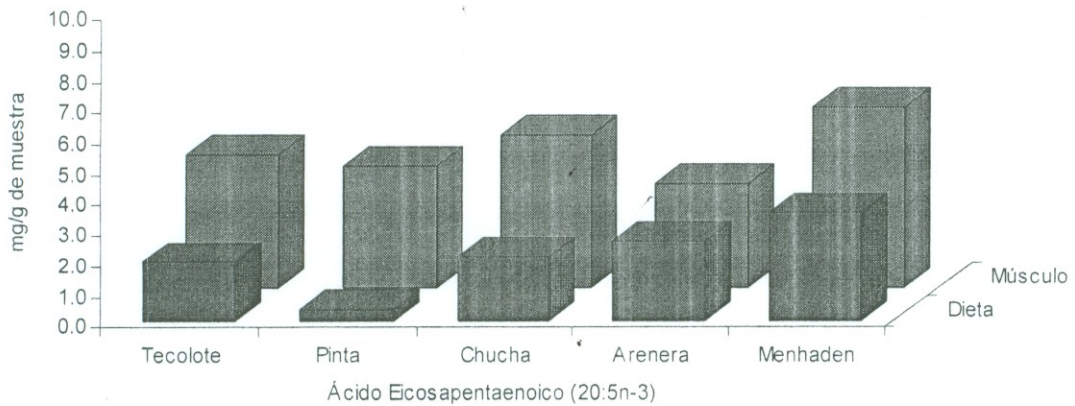


Figura 19. Concentración de ácido eicosapentaenoico en dietas experimentales y su efecto sobre el músculo de *L. vannamei*.

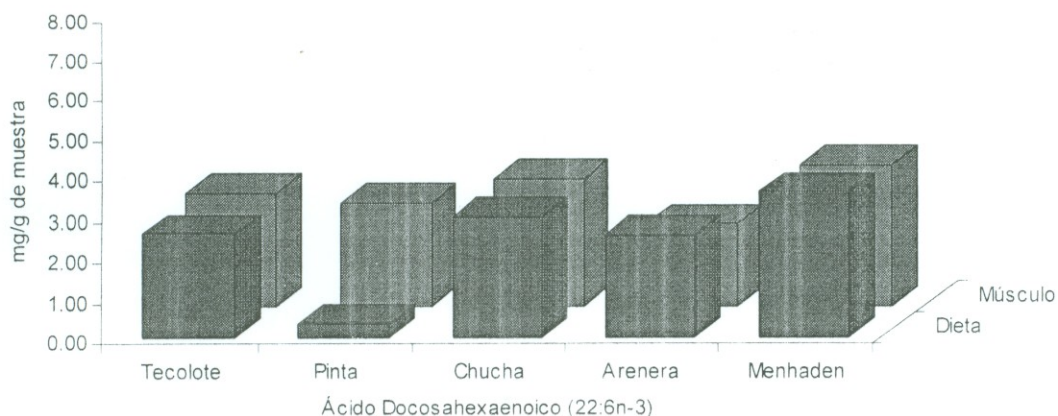


Figura 20. Concentración de ácido docosahexaenoico en dietas experimentales y su efecto sobre el músculo de *L. vannamei*.

para otras especies de camarones penidos (Xu *et al.*, 1994).

Como se ha señalado anteriormente, los resultados de desempeño biológico de los organismos alimentados con los aceites de raya, similares a los de aquellos que recibieron aceite de pescado Menhaden, ponen de manifiesto el adecuado perfil de ácidos grasos que poseen. Lo anterior no es sorprendente si se considera que se trata de productos animales de origen marino, los que generalmente han demostrado tener un valor nutricional superior en comparación con aceites derivados de plantas terrestres. A este respecto, Lim *et al.* (1997) evaluaron el crecimiento de *L. vannamei* alimentado con dietas que contenían 6.5% de alguno de los siguientes aceites, encontrando los mejores resultados, de mayor a menor: pescado Menhaden, linaza, soya, maíz, coco, ácido esteárico puro y aceite de cártamo. De este modo, dichos resultados concuerdan con un valor nutricional superior del aceite de pescado Menhaden, rico en HUFA de las familias n-3 y n-6. Utilizando la misma especie, González-Félix *et al.* (2002a) evaluaron el valor nutricional de los aceites de coco, soya, linaza, cacahuate y pescado Menhaden, incorporándolos a un nivel de 5% de la dieta. Nuevamente, el aceite de pescado Menhaden demostró tener mayor valor nutricional que cualquiera de los aceites de origen vegetal. En este caso, la razón de las diferencias encontradas fue ilustrada claramente por el perfil de ácidos grasos resultante de las dietas experimentales, en el que destacan los altos niveles de ARA, EPA y DHA del aceite de pescado Menhaden. En contraste, los ácidos grasos mencionados fueron muy poco abundantes en los aceites

vegetales, los cuales se caracterizaron por poseer una proporción importante de ácidos grasos saturados de cadena corta, o bien, ácidos grasos de cadena menor a 20 átomos de carbono. Por ejemplo, al aceite de coco tuvo una proporción importante del ácido graso 12:0, en tanto que los aceites de soya, linaza y cacahuate se caracterizaron por tener altas abundancias relativas de los ácidos grasos 18:2n-6, 18:3n-3 y 18:1, respectivamente (Tabla VII), todos ellos de menor valor nutricional para *L. vannamei*. Por su parte, Deering *et al.* (1997) alimentaron juveniles de camarón tigre *Penaeus monodon* con siete dietas experimentales que contenían 4% de las siguientes fuentes de aceites: 1) linaza, 2) canola, 3) soya, 4) hígado de bacalao, 5) manteca de cerdo, 6) aceite de triglicéridos de cadena media (TCM), y 7) 2% de TCM + 2% hígado de bacalao. De forma contrastante a lo observado con *L. vannamei*, el crecimiento fue significativamente mayor para los camarones que recibieron aceites de linaza, canola, soya y la mezcla de TCM + hígado de bacalao, en comparación con los alimentados con hígado de bacalao y manteca de cerdo. El crecimiento de los organismos que recibieron TCM fue significativamente inferior al de todos los otros tratamientos. Más recientemente y trabajando también con *P. monodon*, Vasagam *et al.* (2005) realizaron una evaluación nutricional de los aceites de sardina, cacahuate, palma y semilla de girasol (incluidos a un nivel de 7% de la dieta), encontrando crecimiento significativamente mayor para los organismos alimentados con aceite de sardina, en comparación con el resto de los tratamientos, resultados que están más acorde con los hallazgos de un valor nutricional superior de los aceites animales de origen marino para camarones peneidos, en comparación con aceites vegetales. En este contexto, por su origen y características, el presente estudio pone de manifiesto el favorable valor nutricional de los aceites de raya evaluados, y al mismo tiempo, abre amplias posibilidades de aplicación para lo mismos.

VI. CONCLUSIONES

- Los parámetros de calidad de agua fueron mantenidos en niveles óptimos para cultivo de *L. vannamei*, en tanto que las concentraciones de desechos nitrogenados fueron mantenidas en niveles prácticamente despreciables, muy por debajo de niveles considerados tóxicos.
- Se observaron valores homogéneos de la composición proximal de las dietas experimentales, resaltando su carácter isolipídico e isoproteico, lo que confirmó su adecuada preparación.
- Se observó que los aceites de hígado de las rayas pinta (*A. narinari*), chucha (*R. bonasus*), arenera (*D. brevis*) y tecolote (*R. steindachneri*) fueron tan eficientes como el de aceite de pescado Menhaden para promover el crecimiento y supervivencia de *L. vannamei* bajo estas condiciones de cultivo. Estos resultados demuestran de manera inequívoca la factibilidad de inclusión de los aceites de raya evaluados en alimentos balanceados para camarón.
- Los aceites de las cuatro especies de raya evaluados se caracterizaron por poseer una alta calidad, en términos de su perfil de ácidos grasos, particularmente HUFA de la familia n-3 y n-6.
- No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para el porcentaje de lípidos totales de músculo de *L. vannamei*, lo que probablemente obedeció al carácter isolipídico de las dietas experimentales.
- La composición de ácidos grasos de los aceites empleados se vio reflejada tanto en el perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales como en el de los ácidos grasos depositados en músculo.

VII. RECOMENDACIONES

- Por su alta calidad, la inclusión de los aceites de hígado de raya empleados en alimentos balanceados para otras especies acuícolas es altamente factible y debe ser evaluada.
- Así mismo, los aceites evaluados tienen amplias posibilidades de aplicación en otras industrias tales como la producción de suplementos alimenticios para consumo humano ricos en ácidos grasos n-3, la preparación de productos horneados, yogurt, productos de queso, productos cárnicos, salsas, aderezos y muchos otros.
- Es deseable incluir el resto de especies de raya explotadas comercialmente en nuestro país en futuros estudios de evaluación nutricional del aceite de hígado de estos organismos.
- Tomando en cuenta que tras su captura y una vez separadas las aletas pectorales de la rayas, el resto del cuerpo, incluyendo la cabeza y el abdomen con la totalidad de las vísceras, comúnmente es arrojado al mar, es de gran interés explorar el uso de la totalidad de dichos subproductos y no solamente del hígado, cuya aplicación en acuicultura también es factible.

VIII. LITERATURA CITADA

- Anuario Estadístico de Pesca. 2003. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (Conapesca).
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1999. Official methods of analysis. Sixteenth edition. Gaithersburg, Maryland, USA.
- Auró, A. y L. Ocampo. 2006. El libro del camarón. 1era edición. Laboratorio Avi-Mex, S.A. de C.V. México. 83-87 p.
- Boyd, C.E. 2001. Prácticas de manejo para reducir el impacto ambiental del cultivo de camarón. Department of Fisheries and Allied Aquacultures Auburn University, Alabama 36849, USA.
- Brett, M.T. y D.C. Müller-Navarra. 1997. The role of highly unsaturated fatty acids in aquatic foodweb processes. *Freshwater Biology*, 38:483-499.
- Colvin, P.M. 1976. The effect of selected seed oils on the fatty acid composition and growth of *Penaeus indicus*. *Aquaculture*, 8:81-89.
- Cruz-Suárez, L.E., D. Ricque-Marie y V.P. Domínguez-Jiménez. 1999. Utilización de la lecitina en la nutrición acuícola: Crustáceos. En: R. Mendoza-Alfaro, L.E., Cruz-Suárez y D. Ricque-Marie (Eds.), *Memorias del Segundo Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. Monterrey, Nuevo León, México. 45-79 p.
- Davis, D.A, T.M. Samocha y C.E. Boyd. 2004. Acclimating Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in inland, low-salinity water. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 2600.
- Deering, M.J., D.R. Fielder y D.R. Hewitt. 1997. Growth and fatty acid composition of juvenile leader prawns, *Penaeus monodon*, fed different lipids. *Aquaculture*, 151:131-141.
- FAO 2006. El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2006. Departamento y Acuicultura de la FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, p. 21.

- Folch, J., M. Lees y C.H. Sloane-Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226: 477-509.
- Glencross, B.D., D.M. Smith, M.R. Thomas y K.C. Williams. 2002. Optimizing the essential fatty acids in the diet for weight gain of the prawn, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 204:85-99.
- Glencross, B.D. y D.M. Smith. 2001. Optimizing the essential fatty acids, eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid, in the diet of the prawn, *Penaeus monodon*. *Aquaculture Nutrition*, 7 (2):101-112.
- González-Félix, M., D.M. Gatlin III, A.L. Lawrence y M. Perez-Velazquez. 2002c. Effect of various dietary lipid levels on quantitative essential fatty acid requirements of juvenile pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture society*, 33 (3):330-340.
- González-Félix, M.L., A.L. Lawrence, D.M. Gatlin III y M. Perez-Velazquez. 2002a. Growth, survival and fatty acid composition of juvenile *Litopenaeus vannamei* fed different oils in the presence and absence of phospholipids. *Aquaculture*, 205:325-343.
- González-Félix, M.L., A.L. Lawrence, D.M. Gatlin III y M. Perez-Velazquez. 2004. The role of essential fatty acids and phospholipids in shrimp nutrition. *Aquatunities, Technical Bulletin*, 2(1).
- González-Félix, M.L., A.L. Lawrence, D.M. Gatlin III y M. Perez-Velazquez. 2003a. Nutricional evaluation of fatty acids for the open thelycum shrimp, *Litopenaeus vannamei*: I. Effect of dietary linoleic and linolenic acids at different concentrations and ratios on juvenile shrimp growth, survival and fatty acid composition. *Aquaculture Nutrition*, 9: 107-113.
- González-Félix, M.L., D.M. Gatlin, III, A.L. Lawrence y M. Perez-Velazquez. 2002b. Effect of dietary phospholipid on essential fatty acid requirements and tissue lipid composition of *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Aquaculture*, 207:151-167.
- González-Félix, M.L., D.M. Gatlin III, A.L. Lawrence y M. Perez-Velazquez. 2003b. Nutricional evaluation of fatty acids for the open thelycum shrimp, *Litopenaeus vannamei*: II. Effect of dietary n-3 and n-6 polyunsaturated and highly unsaturated

- fatty acids on juvenile shrimp growth, survival and fatty acid composition. *Aquaculture Nutrition*, 9: 115-112.
- Guary, J.C., M. Kayama, Y. Murakami y H.J. Ceccaldi. 1976. The effects of a fat-free diet and compounded diets supplemented with various oils on molt, growth and fatty acid composition of prawn, *Penaeus japonicus* Bate. *Aquaculture*, 7:245-254.
- Jiang, D.H., A.L. Lawrence, W.H. Neill, W.H. Grant y H. Gong. 1999. Lethal effect of ammonia to postlarval *Penaeus vannamei* at two temperatures, 25 and 30°C. Book of Abstracts, American Aquaculture Society Annual Conference, Tampa, Florida, USA, January 27-30, p. 77.
- Jory, D. y T. Cabrera. 2003. Marine Shrimp. p: 382-419. En: J. S. Lucas y P.C Southgate (eds.), *Aquaculture Farming Aquatic Animals and plants*. Blackwell Publishing Ltd. Iowa, USA.
- Kayama, M., M. Hirata, A. Kanazawa, S.Tokiwa y M. Saito. 1980. Essential fatty acids in the diet of prawn: III. Lipid metabolism and fatty acid composition. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 46:483- 488.
- Lehninger, A. 1986. *Short course in Biochemistry*. Eleventh printing, Worth Publishers, Inc. New York. 107-110p.
- Lehninger, A. 1995. *Bioquímica, bases moleculares de la estructura y función celular*. 2da. Edición, Omega. Barcelona. 285-291 p.
- Lim, C., H. Ako, C.L. Brown y K. Hahn. 1997. Growth response and fatty acid composition of juvenile *Penaeus vannamei* fed different sources of dietary lipid. *Aquaculture*, 151:143-153.
- Lin, Y.C. y Chen, J.C. 2001. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 259 (1):109-119.
- Lin, Y.C., Chen, J.C. 2003. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. *Aquaculture*, 224 (1-4):193-201.
- Mathews, K., K.E.Christopher, K. Van Hólde y G. Ahern.2002. *Bioquímica*. 3era. Edición. Pearson educación, Madrid, España. 353-362 p.

- Merican, O.Z. y K.F. Shim. 1996. Qualitative requirements of essential fatty acids for juvenile *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 147:275-291.
- Millamena, O.M., 1989. Effect of fatty acid composition of broodstock diet on tissue fatty acid patterns and egg fertilization and hatching in pond reared *Penaeus monodon*. *Asian Fish. Sci.*, 2:127-134.
- Mullen, J.D. y J.P. Riley. 1955. The spectrophotometric determination of nitrate in natural waters, with particular referente to sea-water. *Anal. Chim. Acta* 12:464-480.
- Navarro-García, G., L. Bringas-Alvarado, R. Pacheco-Aguilar y J. Ortega-García. 2004b. Characterization of the lipid composition and natural antioxidants in the liver oil of *Dasyatis brevis* and *Gymnura marmorata* rays. *Food Chemistry*, 87: 89-96.
- Navarro-García, G., L. Bringas-Alvarado, R. Pacheco-Aguilar y J. Ortega-García. 2004a. Oxidative resistance, carotenes, tocopherols and lipid profile of liver oil of the ray *Rhinoptera steindechneri*. *Journal of food composition and analysis*, 17:699-706.
- Páez-Osuna, F. 2001. Camaronicultura y Medio Ambiente. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Estación Mazatlán, UNAM, Programa Universitario de Alimentos y el Colegio de Sinaloa. México, D.F. 451 p.
- Quintero-Álvarez, J.M. 2006. Efecto de diferentes niveles dietarios de los ácidos araquidónico y docosahexaenoico y diferentes proporciones de n-3/n-6, sobre el desempeño biológico de juveniles de camarón blanco del Pacífico, *Litopenaeus vannamei*, cultivado en baja salinidad. Tesis de Maestría. Universidad de Sonora. Departamento de Investigaciones Científicas y tecnológicas. Hermosillo, Sonora, México. 57 p.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2005.
- Sargent, J.R., D.R. Tocher y J.G. Bell. 2002. The lipids. En: J.E. Halver y R.W. Hardy (Editores). *Fish Nutrition*. Elsevier Science, San Diego CA. USA. pp. 181-257.
- Solarzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by phenolhypochlorite method. *Limnology and Oceanography*, 14:799-801.
- Spotte, S. 1979a. *Fish and invertebrate culture: water management in closed systems*. 2nd. edition. Wiley, New York, USA. pp: 179.
- Spotte, S. 1979b. *Seawater aquariums: the captive environment*. Wiley, New York, 413pp.

- Strickland, J.D.H. y T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis, 2nd.ª edition. Bull. 167, Fish. Res. Board Can., Ottawa, 310 pp.
- Tacon, A.G.J., M.R. Hasan y R.P. Subasinghe. 2006. Use of fishery resources as feed input for aquaculture development: trends and policy implications. FAO Fisheries Circular No. 1018, Roma, Italia.
- Tsai, S.J. y J.C. Chen. 2002. Acute toxicity of nitrate on *Penaeus monodon* juveniles at different salinity levels. *Aquaculture*, 213:163-170.
- U.S. Food and Drug Administration. 2002. Center for food safety and applied nutrition. Office of food additive safety. Agency response letter. GRAS notice No. GRN 000109, December 04, 2002.
- Vasagam, K.K.P., S. Ramesh y T. Balasubramanian. 2005. Dietary value of different vegetable oil in black tiger shrimp *Penaeus monodon* in the presence and absence of soy lecithin supplementation: effect on growth, nutrient digestibility and body composition. *Aquaculture*, 250:317-327.
- Xu, X., J. Wenjuan, J.D. Castell y R. O'Dor. 1994. Essential fatty acid requirement of the Chinese prawn, *Penaeus chinensis*. *Aquaculture*, 127:29-40.
- Zaldívar-Larrain, F. J. 2002. Las harinas y aceites de pescado en la alimentación acuícola. En: L. E. Cruz-Suárez, D. Ricque-Marie, M. Tapia-Salazar, M.G. Gaxiola-Cortés, N. Simoes (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México.