



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

DIFERENTES NIVELES DE LÍPIDOS EN LA DIETA DE HEMBRAS DEL LANGOSTINO NATIVO
Macrobrachium acanthurus Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DEL HUEVO

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA:
GUADALUPE YAZMÍN HERNÁNDEZ ABAD

TUTOR PRINCIPAL
DR. LUIS HÉCTOR HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

COMITÉ TUTOR
DRA. MARTHA GABRIELA GAXIOLA CORTÉS, UMDI-SISAL
DRA. CRISANTEMA HERNÁNDEZ GONZALES, CIAD MAZATLÁN
DR. CARLOS ALFONSO ÁLVAREZ GONZÁLEZ, UJAT
DR. SERGIO RODRÍGUEZ MORALES, UMDI-SISAL

TLALNEPANTLA DE BAZ, DICIEMBRE 2016.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Este estudio fue realizado con apoyo de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM a través del Programa de Apoyo Para la Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) proyecto IN218313

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico que proporcionó durante el periodo comprendido por el programa de Maestría; al Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología por el apoyo otorgado durante el curso del programa; a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala en donde se llevó a cabo toda la parte experimental de la investigación.

A los Profesores del Laboratorio de Producción Acuícola de la FESI, Dr. Luis Héctor Hernández Hernández, por ser quien dirigió este trabajo, por sus consejos, su paciencia y por sus enseñanzas, muchas gracias Doc. Al M en C. Mario, por el apoyo en las salidas al campo, por compartir sus experiencias dentro del ámbito profesional como en la vida diaria. Al Biólogo Omar, por su apoyo durante la realización del proyecto tanto en campo como en el laboratorio, los buenos y malos momentos, y poder considerarte un amigo.

Al comité tutorial formado por la Dra. Gabriela Gaxiola, Dra. Crisantema Hernandez, Dr. Alfonso Álvarez y el Dr. Sergio Rodríguez, por sus acertados comentarios y las observaciones que ayudaron a mejorar la calidad del presente documento.

A mi novio, mis amigos y compañeros de laboratorio que se convirtieron en mi segunda familia, pues la convivencia pudo hacer que las amistades fluyeran y espero conservarlas por muchos años más, gracias por su constante apoyo y su compañía durante el proceso, haciéndolo por ratos más llevadero, divertido y confortable; Vale, Brenda, Dan, Mariana, Jaciel, Uri, Aguillon, Jessi, Lore, Leo, Ale, Alonso, Juan, Susy.

A mi gran y maravillosa familia, quienes han sido fundamentales en la construcción de una vida, aportando bases sólidas para no permitirme rendirme o renunciar en momentos no favorables; y alentarme a ser siempre fiel a mis ideales, apoyándome paso a paso para lograr mis objetivos, gracias por todo su amor incondicional; Amelia, Rebeca, Esther, Virgilio, Raquel, Ricardo, y anexos (sobrinos y cuñados jaja), los amo.

*“Y ahora él te pide que junto a él sigas luchando,
por acabar con la injusticia en este país,
porque a tus raíces ya nunca las dejes ir,
ayudes a tu hermano a no morir,
enseñes al compatriota a compartir,
y enseñes a los niños a sonreír”*

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
Descripción de la especie.....	2
Reproducción.....	4
Calidad de huevo	6
ANTECEDENTES	7
OBJETIVO GENERAL	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
Obtención de organismos	10
Mantenimiento de organismos.....	12
Formulación y elaboración de las dietas experimentales	13
Prueba de alimentación	15
Parámetros de crecimiento	16
Análisis proximales	17
Análisis estadísticos	18
RESULTADOS.....	19
Parámetros de crecimiento	19
Índices biológicos	19
Contenido de lípidos y proteína en tejidos.....	21
Calidad de huevo	25
DISCUSIÓN.....	29
CONCLUSIONES	33
REFERENCIAS.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista satelital de los sitios de coleta de los organismos del lote 1	11
Figura 2. Trampa con la que se realizó la captura de los organismos del lote 1	11
Figura 3. Vista satelital de los sitios de colecta de los organismos del lote 2	12
Figura 4. Las gráficas a, b y c muestran el contenido lipídico de los tejidos de hepatopáncreas (a) ovarios (b) y músculo (c) respectivamente	23
Figura 5. Las gráficas a, b y c muestran el contenido de proteína (base seca sin grasas) en hepatopáncreas (a), ovarios (b) y músculo (c), respectivamente.	24
Figura 6. Se muestra la cantidad de huevos obtenidos por hembras del lote 2	26
Figura 7. La gráfica muestra el tamaño de huevo (volumen) de hembras de langostino del lote 2	27
Figura 8. Concentración de proteína en huevos de langostino del lote 2	27
Figura 9. Contenido de lípidos en huevos de organismos del lote 2	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formulación de dietas experimentales	14
Tabla 2. Parámetros de crecimiento	20
Tabla 3. Se muestran los valores de <i>IH</i> y el <i>IG</i> del lote 2	21
Tabla 4. Número de huevos, tamaño y concentraciones de lípidos y proteína del lote 1	26

INTRODUCCIÓN

Los langostinos de la familia *Palaemonidae* son los crustáceos más diversos dentro del orden Decápoda; tienen una amplia distribución geográfica y batimétrica, y están representados por numerosas especies en los sistemas marinos, estuarinos y dulceacuícolas (Hernández-Sandoval, 2008). México cuenta con 104 especies de langostinos de la familia *Palaemonidae* que se distribuyen en ambos litorales: en el Atlántico bordeando todo el Golfo de México y el mar Caribe; y en el Pacífico, desde Baja California hasta el estado de Chiapas (De los Santos-Romero *et al.*, 2006; Holthuis, 1980).

A nivel mundial los langostinos constituyen el tercer grupo de crustáceos decápodos de importancia económica, después de los camarones peneidos y las langostas (FAO, 2012). En México, ocupan el cuarto lugar a nivel nacional dentro de la pesquería de crustáceos, detrás del camarón, la jaiba y la langosta, y están posicionados en segundo lugar en la producción por acuicultura después del camarón (CONAPESCA, 2010). Sin embargo, muchas poblaciones de especies nativas (*Macrobrachium carcinus*, *M. tenellum*, *M. americanum*, *M. acanthurus*) de estos organismos han disminuido o desaparecido debido a la sobrepesca: usualmente se capturan organismos de talla adulta incluyendo hembras ovígeras y en algunos casos se utilizan sustancias tóxicas para los langostinos, que sirven para facilitar la pesca (Hernández-Guzmán *et al.*, 1999).

Como una opción para la conservación de estas especies, se ha propuesto desarrollar su cultivo, lo que disminuiría la presión de pesca sobre las poblaciones y generaría fuentes de empleo para los pescadores de la zona (Dos Santos *et al.*, 2007). La información disponible para el cultivo de especies nativas de langostino se encuentra dispersa, fraccionada o cubre aspectos muy específicos (de los Santos-Romero *et al.*, 2007) y se requiere desarrollar el conocimiento en diferentes campos tales como reproducción, nutrición, desarrollo larvario, entre otros. Particularmente y considerando que el éxito de un cultivo está directamente ligado a una alimentación adecuada (Casas-Sánchez *et al.*, 1995), la investigación sobre los requerimientos nutricionales es básica para la producción de dietas

balanceadas que permitan un cultivo más eficiente y económico. La información sobre requerimientos nutricionales para los crustáceos es bien conocida en los camarones de la familia Penaeidae (Akiyama *et al.*, 1992; Teshima *et al.*, 2001; NRC, 2011) y solo existen reportes sobre este tema, en el langostino malayo *M. rosenbergii* (D´Abramo, 1998; D´Abramo y New, 2011; Teshima *et al.*, 2006), pero hasta ahora no se han desarrollado dietas comerciales para esta especie; y trabajos probando niveles de proteína, diferentes dietas, niveles de ácidos grasos en varias especies del mismo género (Cavalli *et al.*, 1999; Cavalli *et al.*, 2000; Collins, 1997; Benitez y Ponce, 2014; García *et al.*, 2004; Goda, 2008)

Descripción de la especie

El género *Macrobrachium* se distingue de otros palemónidos por los siguientes rasgos: tiene el cuerpo dividido en tres secciones principales: la cabeza, el tórax y abdomen. La cabeza y el tórax se unen para formar un cefalotórax, que contiene el rostro, los ojos, las mandíbulas, y flagelos, además de cinco pares de patas caminadoras (pereiópodos), donde el segundo par de pereiópodos se modifican en quelas. El abdomen tiene seis segmentos corporales, cinco pares de patas nadadoras o pleópodos, dos pares de urópodos y un telson.

Una característica definida de *Macrobrachium* es que el segundo par de pereiópodos es más desarrollado que el resto de los apéndices torácicos (Holthuis, 1952). Si entre estos hay igualdad en el tamaño y la forma, se dice que la especie presenta “isoquelas” (Cabrera, 1983), y cuando difieren significativamente se llaman “heteroquelas” (Mossolin y Bueno, 2003). Un ejemplo de esto sería *M. tenellum* y *M. americanum*, que presentan isoquelas, por otra parte, *M. digueti* cuenta con una quela mucho más grande que otra (heteroquelas).

Los langostinos del género *Macrobrachium* son organismos muy adaptables a diferentes ambientes, pueden localizarse tanto en ríos, arroyos, estuarios, pantanos, así como en lagunas costeras (New y Singholka, 1984; Valencia y Campos, 2007) con temperaturas mínimas anuales de 16 °C y máximas de 32 °C (Arroyo-Rentería y Magaña-Ríos, 2001). Son bentónicos (excepto sus etapas

larvarias) y suelen habitar sobre fondos arenosos, limosos, cerca de los manglares, cuevas, resquicios bajo rocas y raíces sumergidas, donde se refugian y consiguen alimento (Montoya, 2003).

Las especies del género *Macrobrachium* que habitan en aguas continentales dulceacuícolas presentan dos estrategias reproductivas en torno a su ciclo de vida (Graça-Melo y Brossi-García, 1999). Hay especies que realizan todo su ciclo de vida en ambientes dulceacuícolas (Bueno y Rodríguez, 1995), y especies dependientes de aguas salobres, ya que sus larvas necesitan de este medio para completar su desarrollo (Bueno y Rodríguez, 1995). Para esta última estrategia Ling (1962; 1969a; 1969b) fue de los primeros que describió su ciclo de vida, destacando dos aspectos importantes: desarrollo larvario con más de doce estadios y que al menos algunos de estos necesitan agua salina para sobrevivir.

Las hembras de *Macrobrachium* pueden desovar varias veces al año y producir miles de huevos en cada desove, que son portados bajo el abdomen durante su incubación (García-Guerrero y Hendrickx, 2009), cuya duración depende de la temperatura del agua (García-Guerrero, 2010). Las hembras se alimentan, reproducen y desovan en agua dulce, pero las larvas deben estar en el agua salina al inicio de su desarrollo (Bauer, 2011a; 2011b).

Macrobrachium acanthurus es nativo de costas del Golfo de México. En estas regiones se practica la pesca de esta especie generando buenas retribuciones entre los pescadores por la importancia comercial de la misma. Sin embargo, a partir de la década de los ochentas las poblaciones de *M. acanthurus* ha disminuido de manera sustancial, y se requiere un mayor esfuerzo de captura, lo que indica la progresiva desaparición de poblaciones de esta especie a lo largo de los ríos de la zona, principalmente en la cuenca del Coatzacoalcos (Espinosa y Rodríguez, 1986).

Reproducción

En crustáceos, las etapas de maduración sexual y reproducción son las más demandantes de energía y nutrientes. Se sabe que los nutrientes que la madre ingiere durante el desarrollo de los ovarios y hasta el desove pueden influenciar directamente en la calidad de los huevos (Rodríguez, 2006). Los lípidos contenidos en la dieta juegan un papel destacado durante esta etapa debido a su alto contenido energético y a que sirven como sustancias de reserva durante el desarrollo embrionario, otras funciones de estos compuestos se refieren a la formación de estructuras celulares de gran importancia, como las membranas celulares y el desarrollo de moléculas específicas como las hormonas (García-Ulloa, 2000). Así, la determinación de los requerimientos de lípidos en la dieta durante la maduración y reproducción de los organismos es una parte crítica en el ciclo productivo en acuicultura.

Los lípidos son compuestos orgánicos que sólo se encuentran en organismos vivos y que son solubles en disolventes no polares. Estas biomoléculas son la principal fuente de energía en la etapa de reproducción de crustáceos como *M. acanthurus*, por ello en este trabajo se evaluó el efecto que estos compuestos causan a diferentes niveles de inclusión en la dieta. Los lípidos pueden ser divididos en dos grupos: 1.- lípidos polares que incluyen a los fosfolípidos, que desempeñan roles predominantemente estructurales, y 2.- lípidos neutrales, que incluyen a los triglicéridos, cuyo rol es el de almacenamiento de energía primordialmente y también como componentes celulares. Dentro de los lípidos se pueden englobar variedades de compuestos que son importantes en la etapa de reproducción en los crustáceos entre ellos encontramos a los ácidos grasos esenciales, el colesterol, los triglicéridos y los fosfolípidos.

El ácido eicosopentanoico (EPA), y el decosahexanoico (DHA), son ácidos grasos que se consideran esenciales en las dietas para crustáceos, y aunque todos los ácidos grasos son importantes como fuente de energía celular; el DHA se considera determinante para la calidad de huevo en camarones peneidos, y lo podemos encontrar en aceites y harinas pescado y de Krill. La composición de ácidos grasos en las gónadas varía de acuerdo al nivel de maduración, por lo

general se ha observado que la concentración de ácido araquidónico (ARA), ácido eicosapentanoico y ácido deicosahexanoico aumenta en gónadas maduras; estos ácidos grasos altamente insaturados (HUFAS) son importantes en ectodermos de medios salinos, para aumentar la fluidez de la membrana celular y de los organelos; el araquidónico funciona como precursor de las prostaglandinas que se ven involucradas en el desove (Palacios, 1999). La cantidad de HUFAS contenidas en las dietas para reproductores es determinante para la buena calidad de huevos y larvas (Cahu, 1998), el nivel recomendado de ácidos grasos esenciales es del 0.4 % del total de la composición de la dieta (Villareal y Peláez, 1999).

Por su parte los triglicéridos, son considerados una fuente de energía y la mayor forma de almacenamiento de esta en organismos adultos, así como en huevos y larvas que aún se alimentan de reservas de vitelo. Los fosfolípidos y esteroides tienen funciones importantes como constituyentes de citoplasma y membranas celulares, afectando las propiedades estructurales y fisiológicas; en la mayoría de las investigaciones la fuente de fosfolípidos ha sido la lecitina de soya; los fosfolípidos son también la mayor forma de transporte de los lípidos en la hemolinfa, estos representan entre un 87 a 88% de la composición de los lípidos (Harrison, 1990). El colesterol es un nutriente esencial para crustáceos, ya que estos no son capaces de sintetizarlo, por lo tanto, el colesterol que se encuentra almacenado en el músculo, hepatopáncreas y las gónadas es derivado de la dieta (Harrison, 1990). Tanto el colesterol como los fosfolípidos están involucrados en la composición de las membranas celulares y en el transporte de otros lípidos, el colesterol además es precursor de la vitamina D y hormonas esteroidales que controlan el proceso reproductivo, si no se suministra el colesterol en la dieta o este no es bien aprovechado, puede producirse una reducción en el crecimiento, y un incremento en la mortalidad de juveniles debido a la incapacidad de completar la muda (Palacios, 1999).

El índice hepatosomático (IH) y el índice gonadosomático (IG) son herramientas comunes que se utilizan como métodos cuantitativos para verificar el desarrollo gonadal (López-Greco y Rodríguez 1999, Sokolowicz et al., 2006) y representan el

porcentaje de estos órganos al peso total del animal. Algunos autores observaron la movilización de las reservas en el hepatopáncreas durante el desarrollo de las gónadas y su posición y el IH, o incluso por las variaciones en las cantidades de los componentes de estos órganos (Kyomo 1988 Haefner y Spaargaren 1993, López-Greco y Rodríguez 1999 Yamaguchi 2001, Beatty et al., 2005, Sokolowicz et al., 2006). Además, varios estudios han demostrado que el crecimiento (proceso de muda) y el desarrollo de crustáceos decápodos están relacionados con el almacenamiento de reservas de energía en el hepatopáncreas, que se transfieren parcialmente durante el ciclo de muda (Passano 1960, Adiyodi 1969, Kyomo 1988, Yamaguchi 2001 Marcolin et al., 2008).

Calidad de huevo

Existen gran cantidad de parámetros para determinar la calidad de huevo, por ejemplo: el tamaño del huevo, la transparencia, el contenido energético, el contenido de enzimas, el volumen del huevo, el contenido de vitaminas, el peso seco y la morfología larval entre otros (De Caluwé, 1995), pero es importante la caracterización y determinación de criterios específicos para cada especie. La composición proximal es un parámetro de calidad de huevo, pues tiene una relación directa con la nutrición de reproductores y con la mayoría de los parámetros antes mencionados; se considera que la cuantificación del nivel inicial de reservas en el huevo puede determinar en gran medida la calidad larval posterior. En este trabajo se pretende establecer el efecto que tienen las diferentes inclusiones de lípidos en la dieta, sobre el crecimiento y la calidad de huevo para hembras de *M. acanthurus*, abordando también algunos otros parámetros como contenido de proteína y lípidos en los tejidos.

ANTECEDENTES

Los requerimientos nutricionales para los miembros del género *Macrobrachium* solo se han reportado para el langostino malayo *M. rosenbergii* (D´Abramo, 1998; D´Abramo & New, 2000; Teshima *et al.*, 2006). La información para langostinos nativos de México es escasa. Espinosa-Chaurand *et al.* (2011) indican que adultos de *M. tenellum* requieren de 29% de inclusión de proteína; Benítez-Mandujano & Ponce-Palafox (2014) reportaron que adultos de *M. carcinus* mostraron un mejor crecimiento y retención de proteína cuando se alimentaron con inclusiones de proteína de 40 y 45%. Recientemente, Villafuerte *et al.* (2016) reportaron que el estadio juvenil de *M. acanthurus* requiere de una inclusión mínima de 37.8% de proteína (caseína como fuente exclusiva de proteína) evaluado con el método de línea de rompimiento con ganancia en peso.

Respecto a los requerimientos nutricionales en etapa reproductiva existen trabajos para decápodos: Rodríguez (2006) reportó el efecto de diferentes niveles de proteína y lípidos sobre la calidad del huevo de la langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus* considerando niveles de proteína de 22, 27, 32 y 37 % y los niveles de lípidos de 4, 8 y 12%. Las hembras alimentadas con la dieta que contenía 32% de proteína y 8% de lípidos, presentaron mejores resultados para los índices de calidad de huevo y se sugiere que estos niveles tienen un efecto positivo el proceso reproductivo. Rodríguez *et al.* (2009), utilizaron dietas con un porcentaje constante de proteína (32%) y variando la cantidad de lípidos (4, 8, 12%) y su efecto en la calidad de los huevos producidos por hembras de la langosta *C. quadricarinatus*, el nivel óptimo de lípidos en la dieta para generar mejores índices del huevo es de aproximadamente 8.7%. Así mismo reportan que las hembras alimentadas con 12% de lípidos presentaron una fecundidad más alta que el resto. Rodríguez *et al.* (2014) reportan el efecto de 4 dietas con diferentes niveles de proteína (26 y 32%) y lípidos (8 y 105%) en el desarrollo gonadal de hembras de langosta de agua dulce *C. quadricarinatus*; los resultados indican que un exceso en estos nutrientes provoca un exceso de energía disponible, pero la restricción de proteína y lípidos en la dieta provoca un limitado desarrollo gonadal, lo que lleva como consecuencia un déficit en la reproducción; puesto que ellos

observaron que hay una relación muy estrecha entre la composición química de las gónadas, con el IG y la cantidad de nutrientes incluidos en la dieta de prueba, lo que atribuyeron a la movilización de reservas de fuentes exógenas a la gónada.

Respecto a trabajos con el género *Macrobrachium* en particular, Magalhães *et al.* (2012) encontraron que en el camarón de río *M. olfersii* existe una relación inversa entre las reservas energéticas en el hepatopáncreas y el desarrollo gonadal, lo que aporta datos importantes del papel que desempeña el hepatopáncreas en el desarrollo de las gónadas en los diferentes estadios y los periodos de muda. García *et al.* (2004) determinaron el efecto de dos dietas experimentales con 57 y 35% de proteína y 2.1 y 8% de lípidos respectivamente, y una dieta control con 62% de proteína y 1.8% de lípidos, sobre la calidad del huevo hembras de *M. tenellum* y *M. rosenbergii*. Sus resultados muestran un mejor tamaño en los huevos de las hembras alimentadas con la dieta control; aspecto que se observó en las dos especies de *Macrobrachium* utilizadas. Benítez y Ponce (2013) determinaron que hembras de *M. carcinus* alimentadas con dietas con 13% de lípidos y niveles altos de proteína (40 y 45%) mostraron un mejor crecimiento y mejor retención de proteína que aquellas que fueron alimentadas con 8% de lípidos y 35% de proteína. Finalmente, Villafuerte *et al.* (2016) reportaron el efecto de dietas isoproteicas e isolipídicas (40 y 16% respectivamente), pero formuladas con diferentes ingredientes, en el crecimiento y calidad de huevo de hembras de *M. acanthurus*. Se observó que las hembras alimentadas con harina y aceite de krill tuvieron un crecimiento menor, pero una mayor deposición de proteína y lípidos en los huevos producidos.

Por ello la importancia de este estudio para conocer los niveles óptimos de lípidos en la etapa de reproducción de *M. acanthurus* y así obtener los mejores resultados en la primera etapa del ciclo biológico, pues es fundamental para su cultivo a mayor proporción.

OBJETIVO GENERAL

Determinar el requerimiento cuantitativo de lípidos en la dieta de hembras del langostino nativo *Macrobrachium acanthurus* y su efecto en la calidad del huevo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el crecimiento de hembras alimentadas con diferentes niveles de lípidos en la dieta (10%, 12.5%, 15%, 17.5% y 20%)
2. Realizar el análisis proximal en ovarios, hepatopáncreas y músculo de las hembras alimentadas con diferentes niveles de lípidos en la dieta.
3. Realizar el análisis proximal en huevos de hembras alimentadas con diferentes niveles de lípidos en la dieta.
4. Determinar la cantidad y el tamaño de huevos producidos por hembra.
5. Determinar Índice Gonadosomático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos pruebas de alimentación con organismos colectados en dos diferentes localidades del estado de Veracruz (río Coatzacoalcos y río Jamapa), que fueron transportados al Laboratorio de Producción Acuícola (Acuario) de la FES Iztacala, UNAM. Después de la aclimatación, las hembras se alimentaron con dietas formuladas con diferentes niveles de inclusión de lípidos (10, 12.5, 15, 17.5 y 20%) por un periodo mínimo de 60 días, al término del cual se determinó el crecimiento y posteriormente se colocaron con machos para el cortejo y la reproducción. Una vez que las hembras estuvieron ovadas, se colectaron los huevos para determinar el tamaño y la composición químico proximal.

Obtención de organismos

Lote 1

La colecta de organismos del lote 1 se realizó en varios puntos del Río Coatzacoalcos, cercanos al ejido de Madamitas, municipio de Jesús Carranza, Veracruz (17°26'22.8" N y 94°52'17.8" O, con una altitud de 24 msnm); durante el mes de Julio de 2014. Los organismos se colectaron mediante trampas tipo nasa conteniendo una mezcla de calamar, pollo y coco como carnada. Las trampas se colocaron aproximadamente a las 18:00 h y se revisaron al día siguiente a las 08:00 h. En esta ocasión todos los organismos colectados fueron hembras; estos se colocaron en bolsas de plástico que se llenaron con oxígeno clínico para así ser transportados al Laboratorio de Producción Acuícola (Acuario) de la FES-Iztacala.



Figura 1. Vista satelital de los sitios de colecta de los organismos del lote 1, Rio Coatzacoalcos, Veracruz.



Figura 2. Trampa con la que se realizó la captura de los organismos del lote 1.

Lote 2

La colecta de organismos del lote 2 se realizó en el río Jamapa de Boca del Río, Veracruz (coordenadas, 19° 2' 33" Norte, 96° 14' 10" Oeste con una altitud de 10 msnm). En el mes de mayo de 2015, los organismos fueron colectados mediante una red de cuchara a orillas del río, por la tarde. Los organismos se colocaron en bolsas de plástico que se llenaron con oxígeno clínico para así ser transportados al Laboratorio de Producción Acuícola (Acuario) de la FES-Iztacala.



Figura 3. Vista satelital de los sitios de colecta de los organismos del lote 2, río Jamapa, Boca del Río, Veracruz.

Mantenimiento de organismos

Una vez en el laboratorio, las hembras se aclimataron en peceras de 20 L de manera individual, a una temperatura entre 26 – 27 °C, con filtros de grava y refugios. Las hembras se alimentaron con una dieta a base de harina de krill y harina de pescado con un contenido de 40% de proteína y 16 % de lípidos en dos raciones, por la mañana (10:00) y por la tarde (18:00).

Formulación y elaboración de las dietas experimentales

Se formularon cinco dietas experimentales (Tabla 1), considerando contenidos de 10, 12.5, 15, 17.5 y 20% de lípidos, usando como fuente de estos, aceites de krill (AkerBioMarine AS, Oslo, Noruega) y de hígado de bacalao (Drotasa, S.A. de C.V., México, México), lecitina de soya (Abastecedora de Productos Naturales, S.A. de C.V., Mérida, México) y colesterol (94%, Sigma-Aldrich Co., Missouri E.U.). Como fuentes de proteína se utilizaron caseína (95% proteína cruda, Hegard de México, México), harina de pescado (Vimifos S.A. de C.V., Sonora, México), y de krill (AkerBioMarine AS, Oslo, Noruega), a estos dos últimos se les extrajeron previamente los lípidos con el método de soxleth. Como carbohidratos, se utilizaron una mezcla de dextrina, almidón, glucosa y sacarosa (Sigma-Aldrich Co., Missouri E.U.) (2:3:7:13). Se utilizó gluten como aglutinante (gluten de trigo, Sigma-Aldrich Co., Missouri E.U.). La mezcla de vitaminas y de minerales se preparó de acuerdo a lo reportado por Teshima et al. (2006). Para llevar la dieta a 100% se utilizó α -celulosa (Sigma-Aldrich Co., Missouri E.U.). Las dietas se mantuvieron isoproteicas (40% proteína cruda) e isoenergéticas (400 kCal/100 g de dieta), modificando la porción de los carbohidratos.

Todos los ingredientes sólidos se pesaron, en seguida se mezclaron en una batidora (Hamilton Beach mod. 63220), se añadieron los aceites y por último se agregó 40 % de agua a la mezcla, posteriormente fue extruida en un molino para carne de la marca Torrey para la obtención de los pellets. Para secar la dieta se utilizó una estufa de secado, durante 24 horas a una temperatura constante de 60°C. Una vez seco el alimento se guardó en bolsas plásticas a una temperatura de -10°C para su conservación y su próxima utilización.

Tabla 1. Formulación de dietas experimentales.

	10%	12.5%	15%	17.5%	20%
Harina de pescado	15	15	15	15	15
Harina de krill	15	15	15	15	15
Caseína	20	20	20	20	20
Lecitina	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Colesterol	1	1	1	1	1
Mezcla de aceite de pescado: krill	10	12.5	15	17.5	20
Mezcla de carbohidratos ¹	22.6	16.9	11.1	5.3	0
Vitaminas ²	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Minerales ³	5	5	5	5	5
Glucosamina –HCl	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Citrato de sodio	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Succinato de sodio	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
BHT ⁴	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Gluten	5	5	5	5	5
Celulosa	2.5	5.7	9	12.3	15.1
Kilocalorías	400	400	400	400	400
Composición proximal					
Proteína (%)	46	43.3	41.6	42.5	43
Lípidos (%)	10.08	12.6	15.24	17.65	20.38
Humedad (%)	16.6	14.5	14.2	15.5	16.6
Cenizas (%)	5.2	4.7	5.1	6.3	5.9

¹ Dextrina: almidón: glucosa: sacarosa (2:3:7:13)

² En mg/100 g de dieta: ácido paraaminobenzoico 15.8; biotín 0.63; inositol 632; niacina 63.2; pantotenato de calcio 94.8; pirodoxina HCl 18.96; riboflavina 12.64; tiamina HCl 6.32; menadione 6.34; β caroteno 15.17; calciferol 1.9; cianocobalamina 0.13; fosfo-L ácido ascórbico 55.11; ácido fólico 1.26; clorin colina 948 (Teshima 2006).

³ En mg/100 g de dieta: K₂HPO₄, 1169; Ca₃(PO₄)₂, 1591; MgSO₄ .7H₂O, 1778.5; NaH₂PO₄. 2H₂O, 461.5 (Teshima 2006).

La energía bruta fue calculada basándose en lo siguiente: proteínas 5.65 Kcal/g, lípidos 9.45 Kcal/g, carbohidratos 4.1 Kcal/g.

Se determinó la proteína por técnica de Kjendahl con el equipo marca FOSS (Tecator digestor, SR 210 Scrubber, Kjeltec 2100-destilator) Anexo 1.

⁴ Butil hidroxitolueno.

Prueba de alimentación

La prueba de alimentación para el lote 1 se realizó en acuarios de 20 L de capacidad, con filtración y oxigenación constante mediante un filtro mecánico. Cada dieta se ofreció a tres hembras por cada tratamiento, con un peso promedio inicial de 3.5 ± 0.3 g. La porción de alimento suministrado fue de 8% de la biomasa total, repartida en dos raciones durante el día, una a las 10:00 h y la otra a las 18:00 h. Se realizaron biometrías cada 15 días y las porciones diarias se ajustaron a los nuevos pesos. La prueba tuvo una duración de 70 días. Se recolectó el alimento no consumido y se pesó con el fin de que estos datos se utilizaran para la obtención de la tasa de ingesta. Las condiciones experimentales que se mantuvieron a lo largo de la prueba fueron las siguientes: periodo de 12 h luz, 12 horas oscuridad, temperatura de 26 ± 1 °C, oxígeno disuelto de 6 ± 0.5 mg/L, dureza total de 194 mg de CaCO₃, amonio de 0.16 mg de N-NH₃, estos parámetros fueron tomados una vez por semana.

La prueba de alimentación para el lote 2 se realizó en acuarios de 20 L de capacidad, con filtración y oxigenación constante mediante un filtro mecánico. Cada dieta se ofreció a 6 hembras por cada tratamiento, con un peso promedio de $0.4 \text{ g} \pm 0.1\text{g}$. La porción de alimento suministrado fue de 8% de la biomasa total, ofrecida en una sola ración a las 18:00 h; el régimen de alimentación se decide cambiar debido a lo observado en el primer experimento, ya que así el alimento permanece disponible por más tiempo para los organismos. Se realizaron biometrías cada 15 días y las porciones diarias se ajustaron a los nuevos pesos. La prueba de alimentación tuvo una duración de 60 días. Las condiciones experimentales que se mantuvieron a lo largo de la prueba fueron las siguientes: periodo de 12 h luz, 12 horas oscuridad, temperatura de 27 ± 1 °C, oxígeno disuelto de 7 ± 1 mg/L, dureza total de 194 mg de CaCO₃, amonio de 0.16 mg de N-NH₃, estos parámetros fueron tomados una vez por semana.

Una vez terminada la prueba de alimentación del lote 2 se colocó a las hembras de cada tratamiento junto con un macho en acuarios de 80 litros, con la finalidad de que se llevase a cabo el cortejo y el apareamiento; se revisaron diariamente, cuando se observó que las hembras estaban ovadas fueron extraídas de las

peceras y anestesiadas para facilitar la extracción de los huevos del abdomen, seguido a esto los huevos fueron contados y medidos (ancho y largo), y se almacenaron para después proceder a la determinación de proteína y lípidos.

Después de obtener las muestras de huevo, las hembras fueron sacrificadas para poder extraer muestras de músculo, hepatopáncreas y ovarios, a los cuales se les determinó de igual manera que los huevos, el porcentaje de proteína y de lípidos.

Parámetros de crecimiento

Con los datos obtenidos de las biometrías realizadas a lo largo de las pruebas de alimentación se calcularon los siguientes parámetros de crecimiento.

Ganancia en peso (GP %)= (peso final-peso inicial)/peso inicial)*100

Tasa de crecimiento específico (TCE %)= ((ln peso final – ln peso inicial)/días de alimentación)*100

Tasa de ingesta (TI)= alimento consumido en materia seca en g/organismo/día

Tasa de eficiencia de la dieta (TED)= GP en g/alimento consumido en base seca

Índices biológicos

Los organismos fueron sacrificados y diseccionados, así fue como se obtuvieron las muestras de hepatopáncreas y ovarios, después fueron pesados para poder calcular los índices.

IG = (Peso total del organismo – Peso de la gónada)* 100

IH = (Peso total del organismo - Peso del Hepatopáncreas)*100

Análisis proximales

Se realizaron únicamente con las hembras del lote 2 puesto que del lote 1 no se logró obtener la cantidad de muestra necesaria.

A las muestras de hepatopáncreas, ovarios, músculo y huevo se les extrajo y cuantifico el contenido de lípidos, mediante la técnica de **Determinación de lípidos totales por el método de Blight y Dyer (1959)**; en donde se tomó una muestra de 30 a 50 mg, y está se colocó en un tubo de ensaye, en seguida se agregaron 3 ml de metanol y 1.5 ml de cloroformo, después se homogeneizó durante dos minutos, colocando el tubo de ensaye en un recipiente con hielo; una vez transcurridos los dos minutos se agregó 1.5 ml de cloroformo, para que se tuviera una proporción final de los solventes (1:1) y se homogeneizó nuevamente por dos minutos. Se filtró la muestra con un equipo Millipore (bomba de vacío), se lavó la muestra con una solución de cloroformo-metanol (1:1), seguido a esto se colocó el volumen filtrado en los embudos de separación, se agregó de 0.8 a 1.5 ml de agua destilada para la formación de dos fases (capas), las cuales adoptaron una apariencia traslucida, indicando que la fase de separación esta lista. La cantidad de agua depende del tipo de muestra y la supuesta cantidad de lípidos presentes en la misma. La fase (capa) inferior es en la que están presentes los lípidos extraídos y la que se separó; se colocó la muestra en un vial previamente pesado y se puso a secar, con aireación, cuando la muestra estuvo seca se pesó el vial. La concentración de lípidos se obtuvo mediante diferencia de peso y se expresó en porcentaje. Se usa esta técnica debido a la facilidad de manejar muestras pequeñas y la cuantificación de los lípidos totales que es el objetivo principal de este proyecto.

El contenido de proteína en huevos se obtuvo de acuerdo a la **Técnica de Micro Lowry con la modificación de Peterson (Peterson 1977), utilizando un kit (Sigma Diagnostics, MO, EUA) “Protein kit, Micro Lowry, Peterson’s Modifications”**. Se colocó un tamaño de muestra de 30 a 50 mg en tubos de ensaye, después se agregó 1 ml de agua destilada y se homogenizó durante dos minutos, en seguida se agregó 1 ml de Lowry reagent y se dejó reposar la reacción durante 20 minutos. Transcurrido el tiempo se agregó 0.5 ml de Folin-

Ciocalteu's phenol reagent y se dejó reposar la reacción durante 30 minutos. Después se aforó a 10 ml con agua destilada; se filtró la muestra con un equipo Millipore (bomba de vacío), para evitar la presencia de partículas que interfieran y alteren la lectura de la absorbancia. La muestra procesada se leyó a 540 nm en un espectrofotómetro de la marca Hach.

Para la determinación de proteína en tejidos (músculo, hepatopáncreas y ovarios) se siguió la **Técnica para la cuantificación de Nitrógeno/Proteína empleando el método de combustión y cromatografía de gases**. La muestra fue previamente desgrasada y molida en un mortero, luego se almacenó en un congelador a -10°C , para después utilizarla. Se tomó de 2 a 10 mg de muestra y se colocó en capsulas de estaño, las cuales se sellaron para el análisis. La muestra automáticamente es introducida al equipo en donde inmediatamente se lleva a cabo la combustión con ayuda de la inyección de oxígeno, los gases provocados por la combustión, son acarreados por helio a un reactor en el cual se lleva a cabo una oxidación, generando N_2 , CO_2 , y H_2O , el mismo helio acarrea los gases a una columna cromatográfica, en donde se lleva a cabo la separación de los diferentes elementos, para posteriormente ser acarreados hacia el detector de conductividad térmica TCD. El software Eager Xperience proporciona los porcentajes de Nitrógeno, Carbono e Hidrógeno. Posteriormente se realizan los cálculos correspondientes para poder obtener los resultados en porcentaje.

Análisis estadísticos

Los datos obtenidos se sometieron a una prueba de normalidad y los resultados de cada criterio fueron procesados estadísticamente con un ANDEVA de una variable y las diferencias significativas se evaluaron con una prueba de Tukey, considerando un error del 5% ($P < 0.05$) para cada grupo de comparación. Las pruebas de ANDEVA y diferencias significativas se realizaron con el software Stat Plus, Analysis Soft Inc., v5.9.92.

RESULTADOS

Parámetros de crecimiento

Los valores de ganancia en peso se muestran en la Tabla 2, en donde al terminar la prueba de 70 días de alimentación del lote 1 se muestra una tendencia de aumento en la dieta con el 20% de inclusión de lípidos, comparada con las demás, sin embargo, al realizar la prueba estadística esta no muestra diferencias significativas en la comparación de los datos sobre este parámetro; para el lote 2 se muestra el mayor nivel de GP en la dieta con una inclusión del 15% de lípidos pero al igual que el lote 1 no hay diferencias estadísticas entre los tratamientos. El crecimiento de los organismos en porcentaje por día, en el cual, al igual que en la GP se observa la tendencia del tratamiento 5 (20%) de mayor crecimiento diario para el lote 1, y para el lote 2 se muestra el mayor crecimiento para las hembras alimentadas con la dieta de 15% de inclusión de lípidos, para la prueba de alimentación que duró 60 días. La tasa de ingesta no presenta diferencias estadísticas entre tratamientos del lote 1 y 2, pero se observa que los organismos alimentados con la dieta de 12.5% de inclusión de lípidos del lote 1 son los que consumieron mayor cantidad de alimento diariamente; y para el lote 2 la TI es mayor para los organismos alimentados con la dieta de 15% de inclusión de lípidos, sin encontrar diferencias estadísticas. Por último encontramos el resultado de la tasa de eficiencia de la dieta, el análisis estadístico para este parámetro no expresa alguna diferencia significativa, para los dos lotes, sin embargo, se tiene un mayor valor en la dieta con una inclusión del 20% de lípidos para ambos lotes, es mayor el valor en la dieta con una inclusión del 15%.

Índices biológicos

La tabla 3 muestra los valores de los IH e IG del lote 2, donde el valor más alto de IH lo tienen las hembras alimentadas con la dieta de 10%, y para el IG corresponden las hembras de la dieta de 17.5 % de inclusión de lípidos, sin haber diferencias estadísticas entre los tratamientos para ambos índices.

Tabla 2. Parámetros de crecimiento de hembras alimentadas con diferentes niveles de lípidos, de los dos lotes. Los datos son las medias \pm desviación estándar.

Parámetros de crecimiento

	Inclusión de lípidos (%)	GP ¹ (%)	TCE ² (%/día)	TI ³ (g/org./día)	TED ⁴	
Lote 1	10	16.4 \pm 7	0.2 \pm 0.10	0.2 \pm 0.061	0.56 \pm 0.22	\pm
	12.5	18.4 \pm 8	0.2 \pm 0.10	0.3 \pm 0.01	0.46 \pm 0.21	\pm
	15	18.2 \pm 4.6	0.2 \pm 0.05	0.2 \pm 0.04	0.69 \pm 0.13	\pm
	17.5	18.4 \pm 6	0.2 \pm 0.10	0.2 \pm 0.01	0.6 \pm 0.32	
	20	22.6 \pm 5	0.3 \pm 0.10	0.2 \pm 0.07	0.9 \pm 0.31	
Lote 2	10	100 \pm 32.7	1.1 \pm 0.3	0.04 \pm 0.01	0.19 \pm 0.04	\pm
	12.5	111.7 \pm 37.9	1.2 \pm 0.3	0.04 \pm 0.01	0.17 \pm 0.02	\pm
	15	156.7 \pm 51.6	1.5 \pm 0.4	0.07 \pm 0.01	0.22 \pm 0.06	\pm
	17.5	114.6 \pm 30.9	1.3 \pm 0.2	0.06 \pm 0.005	0.17 \pm 0.05	\pm
	20	133.3 \pm 41.6	1.4 \pm 0.3	0.05 \pm 0.01	0.17 \pm 0.03	\pm

¹ GP= ganancia en peso, ² TCE= tasa de crecimiento específico, ³ TI= tasa de ingesta, ⁴ TED= tasa de eficiencia de la dieta

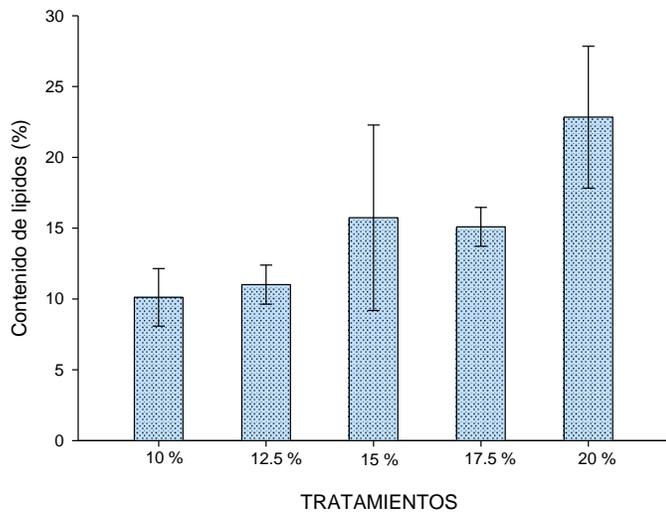
Tabla 3. Se muestran los valores de IH y el IG del lote 2, de hembras de *M. acanthurus* alimentadas con diferentes niveles de inclusión de lípidos en la dieta. Los datos son las medias \pm desviación estándar

Dieta	Índice hepatopancreatico	Índice gonadosomatico
10 %	5.4 \pm 0.33	4.3 \pm 0.31
12.5 %	4.4 \pm 0.89	3.9 \pm 0.79
15 %	4.5 \pm 1.9	4.5 \pm 1.2
17.5 %	5.0 \pm 1.3	4.9 \pm 2.2
20 %	3.3 \pm 0.41	4.8 \pm 0.16

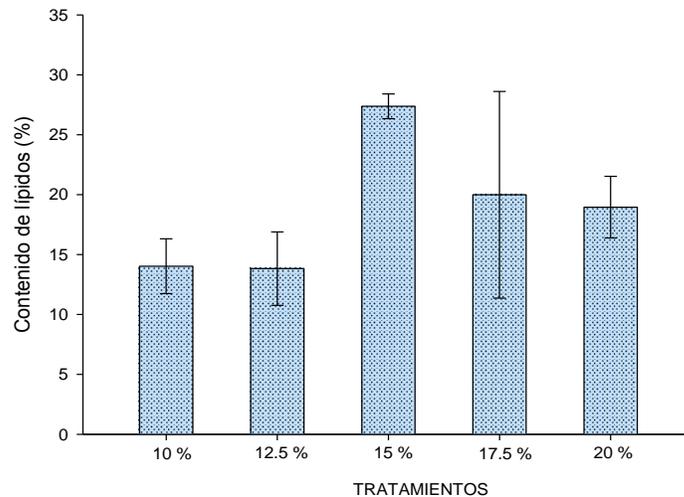
Contenido de lípidos y proteína en tejidos

En la Figura 1, se muestra el contenido de lípidos en hepatopáncreas, ovarios y músculo (a, b y c) del lote 2; los resultados de los análisis revelan que la concentración de lípidos en hepatopáncreas es proporcional al contenido de lípidos en la dieta, teniendo mayores concentraciones en las hembras alimentadas con la dieta con 20% de lípidos, sin embargo, no existen diferencias estadísticas; en el caso de los ovarios los resultados que se obtienen muestran que la mayor concentración de lípidos la tienen las hembras alimentadas con la dieta que contiene 15 % pero al igual que en el hepatopáncreas no hay estadísticamente diferencias; y en músculo se observa una tendencia a aumentar el contenido de lípidos a medida de que la inclusión aumenta en la dieta, sin embargo, los valores son menores para este tejido que para los dos anteriores, y al realizar el análisis estadístico no se obtienen diferencias significativas. En la Figura 2 se presentan

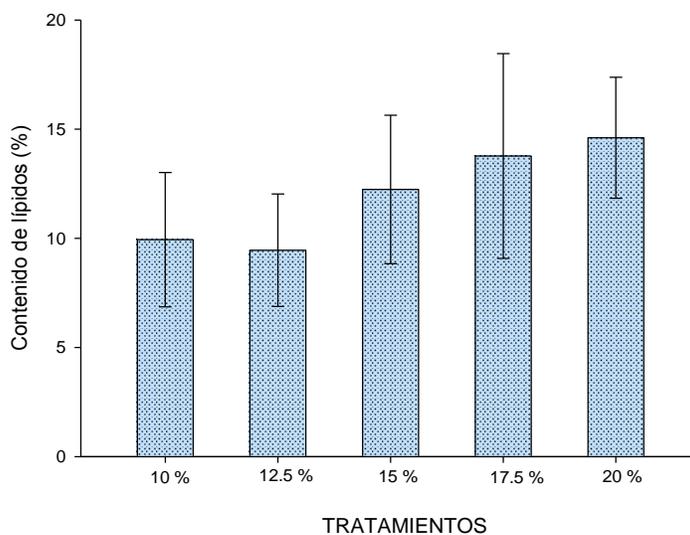
las gráficas que muestran el contenido de proteína, para hepatopáncreas, ovarios y músculo, de hembras del lote 2 alimentadas con las dietas experimentales; en estas se observa una tendencia a disminuir los valores en contenido de proteína de acuerdo a como la inclusión de lípidos en la dieta aumenta, teniendo mayores concentraciones en los ovarios, seguido por el hepatopáncreas y después el músculo. Aunque debe mencionarse que estos resultados son preliminares, puesto que al realizar la técnica se tuvieron varias complicaciones, debido a que las muestras se perdieron durante el proceso y por la cantidad de muestra recolectada no fue posible repetir la prueba.



a) Hepatopáncreas

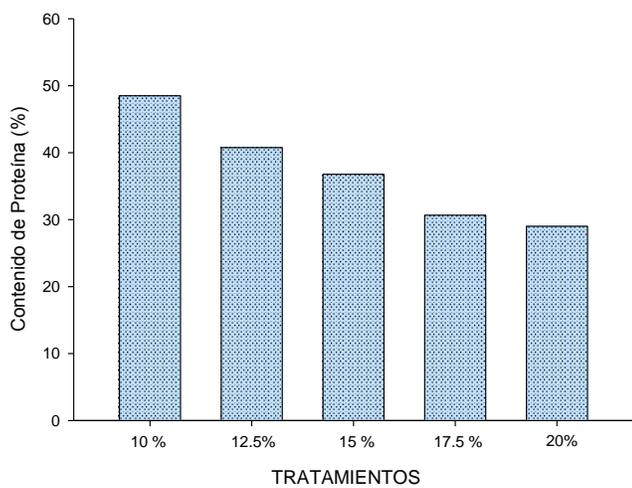


b) Ovarios

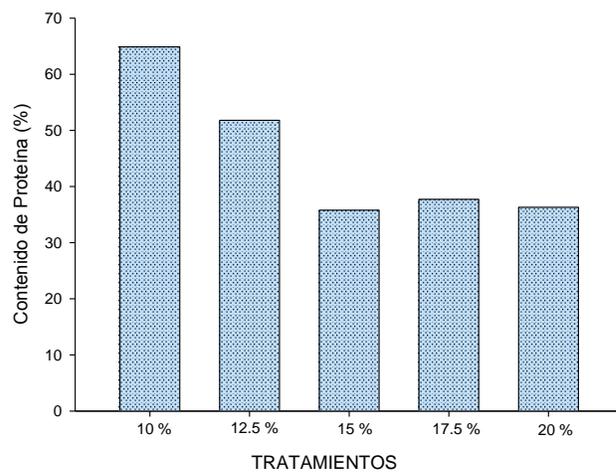


c) Músculo

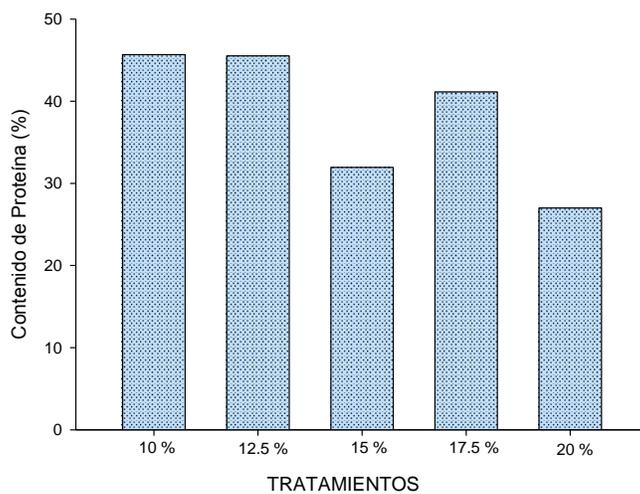
Figura 4. Las graficas a, b y c muestran el contenido lipídico de los tejidos de hepatopáncreas (a) ovarios (b) y músculo (c) respectivamente. Las barras son las medias \pm la desviación estándar.



a) Hepatopáncreas



b) Ovarios



c) Músculo

Figura 5. Las gráficas a, b y c muestran el contenido de proteína (base seca sin grasas) en hepatopáncreas (a), ovarios (b) y músculo (c), respectivamente.

Calidad de huevo

Los resultados que se lograron obtener para el lote 1 solo comparan la dieta de 20% de inclusión con la muestra cero (Tabla 4), se observa que el número de huevos es mayor para la dieta con 20%, sin haber diferencias estadísticas, el tamaño de huevo y la concentración de proteína son más elevados para la muestra cero con 38mm³ y 24.2%, respectivamente; pero para la concentración de lípidos en huevo, esta resulta ser mayor en la dieta experimental.

Los valores para la cantidad de huevos obtenidos para hembras del lote 2 (Figura 3), donde se muestra el valor más alto para las hembras alimentadas con la dieta con un 20% de inclusión de lípidos; el resultado del análisis estadístico muestra que la dieta antes mencionada es significativamente mayor a la muestra 0 y las dietas con 10 y 12.5% de inclusión de lípidos; con 776 huevos en promedio por hembra, sobre 196, 262 y 295 huevos respectivamente; pero no es estadísticamente diferente a la dieta con 15 y 17.5 % de inclusión de lípidos.

El tamaño de huevo expresado en volumen (mm³) se muestra en la Figura 4 en donde los valores para el tamaño de huevo son similares entre si variando entre 0.30 y 0.32 mm³, sin encontrar diferencias estadísticas.

La concentración de proteína en huevos (Figura 5), donde se observa que los huevos con una mayor concentración de proteína son los de las dietas con 15 y 17.5 % de inclusión de lípidos, solo un poco por arriba de la muestra 0, sin embargo, al realizar el análisis estadístico no se encuentra diferencia. Para la concentración de lípidos en huevo, la Figura 6 muestra la tendencia de aumento en la concentración conforme aumenta la inclusión en las dietas excepto en la dieta con un 20%, pues esta tiene valores mayores a los de la muestra cero pero menores a los de la dieta con 17.5%, siendo esta la que tiene el mayor contenido de lípidos en huevo, pero no se observa una diferencia estadística entre los tratamientos.

Tabla 4. Número de huevos, tamaño y concentraciones de lípidos y proteína del lote 1.

	No. De huevos	Tamaño De huevo (mm ³)	Lípidos (%)	Proteína (%)
Muestra 0	3361 ± 1478.3	0.38 ± 0.11	9.4 ± 3.7	24.2 ± 4.2
20%	8296 ± 2695.5	0.30 ± 0.03	11.4 ± 2.4	21.9 ± 1.3

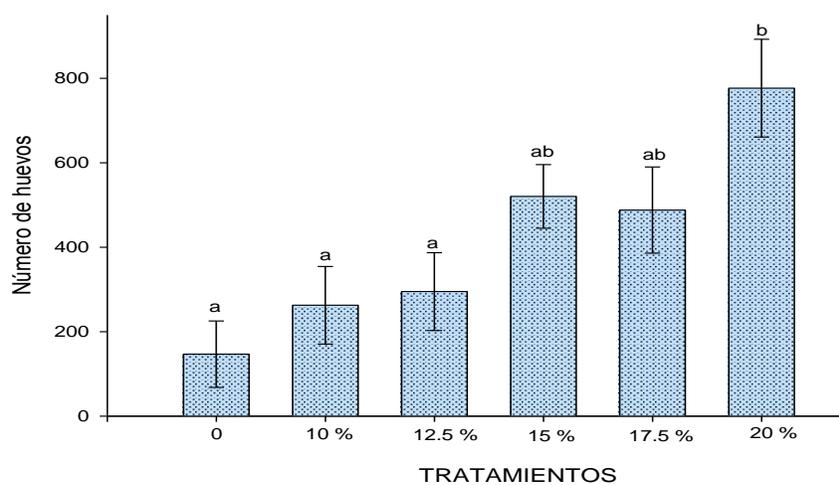


Figura 6. Se muestra la cantidad de huevos obtenidos por hembras del lote 2 alimentadas con diferentes niveles de inclusión de lípidos. Las barras son las medias ± la desviación estándar.

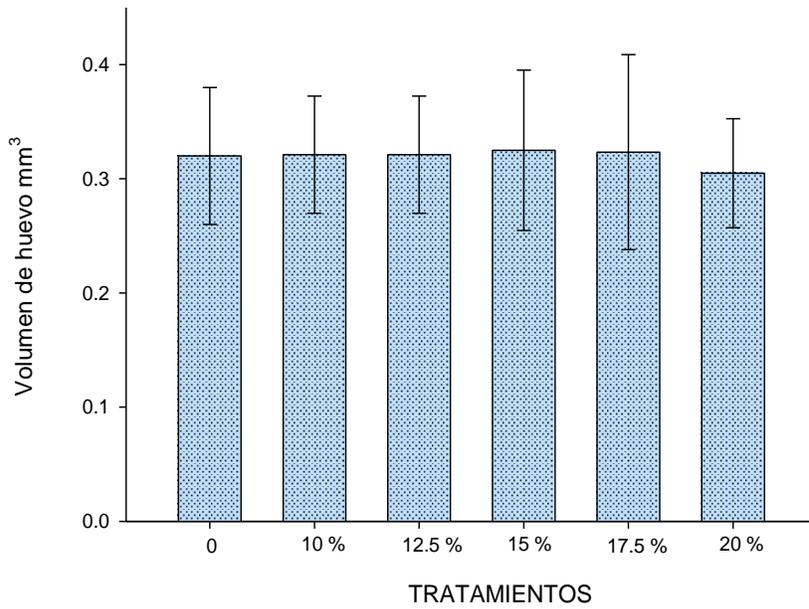


Figura 7. La grafica muestra el tamaño de huevo (volumen) de hembras de langostino del lote 2 alimentadas con diferentes niveles de inclusión de lípidos. Las barras son las medias \pm la desviación estándar.

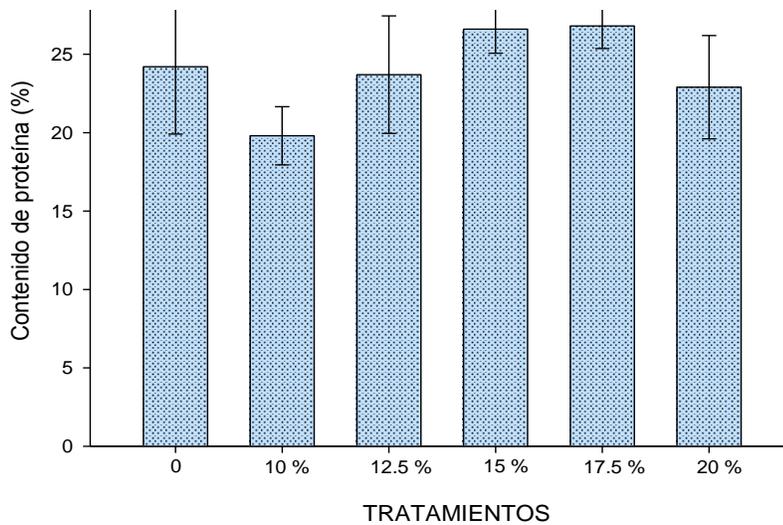


Figura 8. Concentración de proteína en huevos de hembras de langostino del lote 2 alimentadas con diferentes niveles de lípidos. Las barras son las medias \pm la desviación estándar.

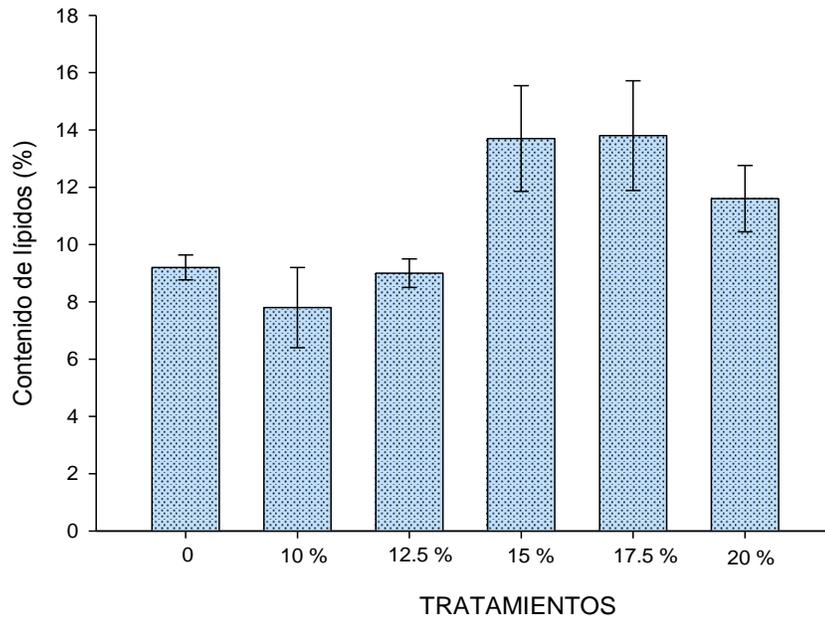


Figura 9. Se muestra el contenido de lípidos en huevos de organismos del lote 2, alimentados con diferentes niveles de lípidos en la dieta. Las barras son las medias \pm la desviación estándar.

DISCUSIÓN

En general, los resultados obtenidos en las pruebas de alimentación muestran una relación directa entre el incremento de los lípidos y el crecimiento. Los organismos que fueron alimentados con un mayor porcentaje de lípidos destinaron una parte de estos nutrientes al crecimiento, aunque es claro que otras partes se destinan al desarrollo reproductivo. Los valores de GP y TCE observados en las hembras de *M. acanthurus* son menores en comparación con otras especies de crustáceos, como *Marsupenaeus japonicus* (Teshima *et al.*, 2001), *Cherax quadricarinatus* (Hernández-Vergara *et al.*, 2003) o *Macrobrachium rosenbergii* (Teshima *et al.*, 2006). Benitez y Ponce (2013) reportaron que reproductores de *M. carcinus* mostraron un patrón similar de mayor crecimiento cuando se alimentan con altos niveles de inclusión de lípidos. Por otra parte, Villafuerte *et al.* (2016) observaron que una dieta con harina, aceite de krill y HUFAs generó menor crecimiento en hembras de *M. acanthurus*, comparado con los resultados de este estudio. La inclusión de niveles altos de lípidos derivados del aceite de krill y pescado ejercieron un efecto positivo en el crecimiento de las hembras durante las etapas de reproducción, lo cual también ayuda a mejorar la deposición de proteína y lípidos en los tejidos.

Los nutrientes aportados en las dietas balanceadas para organismos en etapas reproductivas forman una parte importante en el desarrollo de los mismos, la deposición de estos nutrientes en diferentes tejidos de las hembras nos dan una idea de cómo están siendo aprovechados. Los parámetros de crecimiento están estrechamente relacionados con las concentraciones de lípidos en los tejidos, lo cual indica que el almacenamiento en el músculo puede influir sobre la GP de las hembras de *M. acanthurus* alimentadas con mayor cantidad de lípidos. Estos datos coinciden con los reportados con Rodríguez (2006) que en *C. quadricarinatus* la deposición lipídica aumenta en el músculo cuando es mayor el nivel de lípidos en las dietas.

La maduración sexual implica severos procesos, que incluyen la gonadogénesis (el desarrollo del tejido gonadal), gametogénesis (producción de ovocitos o espermatozoides) y en hembras la primera y segunda vitelogénesis (producción

endógena y exógena de proteína del huevo) (Harrison, 1990). El índice gonadosomático (IG) es una herramienta que se utiliza como método cuantitativo para verificar el desarrollo de las gónadas (López-Greco y Rodríguez, 1999; Sokolowicz *et al.*, 2006). Por otra parte, el hepatopáncreas juega un papel muy importante en el metabolismo de los crustáceos, relacionado con la síntesis y secreción de enzimas digestivas para la absorción de nutrientes (McLaughlin, 1983). Es el centro de reserva de los lípidos y se encarga de su metabolismo (García *et al.*, 2002). Algunos autores observaron la movilización de las reservas en el hepatopáncreas durante el desarrollo de las gónadas a través de variaciones en el IG, o incluso por las variaciones en las cantidades de los componentes nutricionales de estos órganos (Kyomo, 1988; Haefner y Spaargaren, 1993; López-Greco y Rodríguez, 1999; Yamaguchi, 2001; Beatty *et al.*, 2005; Sokolowicz *et al.*, 2006). En el presente estudio el contenido de lípidos en hepatopáncreas y en ovarios mantienen una relación inversa, en las hembras alimentadas con altos niveles de lípidos, dado que cuando la concentración de lípidos es mayor en hepatopáncreas, este nutriente es menor en ovarios y viceversa. Una relación similar se ha observado en la langosta *C. quadricarinatus*, los cambios en la cantidad de lípidos en el hepatopáncreas y las gónadas durante la maduración sugieren una movilización de los lípidos (Rodríguez, 2006; Rodríguez *et al.*, 2014). Esto puede deberse a que los lípidos de la dieta son procesados rápidamente en el hepatopáncreas para luego ser transportado a los ovarios, provocando la relación inversa entre hepatopáncreas y gónadas, cuando el IG es alto (Galois, 1984).

Calidad de huevo

Existen gran cantidad de parámetros para determinar calidad de huevo: el tamaño del huevo, la transparencia, el contenido energético, el volumen del huevo, el contenido de vitaminas, el peso seco (De Caluwé, 1995), pero es importante la caracterización y determinación de criterios específicos para cada especie. La composición proximal es un parámetro de calidad de huevo, pues tiene una

relación directa con la nutrición de reproductores y con la mayoría de los parámetros antes mencionados; se considera que la cuantificación del nivel inicial de reservas en el huevo puede determinar en gran medida la calidad larval. Diversos estudios reportan que variaciones en la composición de la dieta se ven reflejados en la cantidad de desoves, fecundidad (Cahu, 1998; Wouters *et al.*, 2000) y la talla del huevo (Bromage *et al.*, 1991; Izquierdo *et al.*, 2001; Wouters *et al.*, 2001).

La cantidad de huevos producidos por desove es un buen índice reproductivo (Harrison, 1990). En esta investigación, el número de huevos se incrementó conforme aumentó la cantidad de lípidos en la dieta. Así mismo, el volumen de huevos para las dietas y la muestra cero fue similar, teniendo solo una pequeña reducción de tamaño en los huevos de hembras alimentadas con la dieta que contenía mayor cantidad de lípidos. Estos datos concuerdan con lo observado en hembras de *M. tenellum* (García *et al.*, 2004) que presentaron mayor cantidad de huevos cuando los niveles de lípidos en la dieta fueron altos. Con los valores obtenidos para estos parámetros podemos asumir que el contenido de lípidos afecta positivamente el número de huevos que cada hembra es capaz de producir.

Se sabe que los nutrientes que la madre ingiere durante el desarrollo de los ovarios y hasta el desove influyen directamente en la calidad de los huevos (Rodríguez, 2006). La composición bioquímica, y los niveles de nutrientes específicos, son considerados generalmente como buenos indicadores de la calidad de huevo (García-Ulloa *et al.*, 2004). Por ello, la relevancia en hacer análisis para determinar el contenido de proteína y lípidos para los huevos de hembras alimentadas con diferentes niveles de lípidos. La concentración de proteína y lípidos fue mayor para los huevos de las dietas con altos niveles de lípidos; estas condiciones nos indican que dichas dietas, cubrieron los requerimientos nutricionales necesarios para la reproducción, ya que se logró una mayor producción de huevos con deposición suficiente de nutrientes para dar paso al buen desarrollo embrionario, como lo menciona Villafuerte *et al.* (2016) para *M. acanthurus* y Rodríguez (2006) para *C. quadricarinatus*; que en sus trabajos reportan niveles de proteína y lípidos en huevos, ligeramente más altos en las

dietas con mayor contenido de lípidos y proteína, teniendo una considerable producción de huevos. Se ha documentado que, durante la vitelogénesis, los crustáceos producen un complejo de lipoproteínas (vitelinas) las cuales sirven de sustrato y aporte energético durante el desarrollo embrionario (Subramoniam, 2011); lo que explicaría porque el contenido de lípidos y proteína es elevado, ya que estos servirán para la fabricación de las lipoproteínas, que serán la fuente de energía para los embriones.

CONCLUSIONES

La dieta con una inclusión de 20% de lípidos tuvo un efecto positivo sobre los parámetros de crecimiento, y mejora significativamente la producción de huevos en hembras de *M. acanthurus*.

Una inclusión de 20% de lípidos en la dieta tuvo un efecto positivo en la composición proximal de los huevos producidos, incrementando el contenido de proteína y lípidos, aspecto que podría tener un efecto en el desarrollo embrionario.

Una inclusión de más de 15% de lípidos en las dietas para hembras de *M. acanthurus* es adecuada para el crecimiento, producción de huevos y composición proximal del huevo.

REFERENCIAS

- Arroyo-Renteria, G. y L. 2001. Magaña-Ríos, Contribución al conocimiento de las especies de *Macrobrachium* y *Atya* con especial referencia a los langostinos en el cauce del río baluarte, tesis de licenciatura en biología pesquera, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Sinaloa.
- Bauer, R. 2011. Amphidromy and migrations of freshwater shrimps. I. Costs, benefits evolutionary origins and an unusual case of amphidromy. En A. Asakura (ed.), *New frontiers in crustacean biology*, Proceedings of The Crustacean Society summer meeting, 20-24 September 2009, Brill, Leiden, Tokyo, pp. 145-156.
- Bauer, R. 2011a. Amphidromy and migrations of freshwater shrimps. II. Delivery of hatching larvae to the sea, return of juvenile upstream migration and human impacts. En A. Asakura (ed.), *New frontiers in crustacean biology*. Proceedings of The Crustacean Society summer meeting, 20-24 September 2009, Brill, Leiden, Tokyo, pp. 157-168.
- Beatty S, Morgan D, Gill H. 2005. Life history and reproductive biology of the gilgie, *Cherax quinquecarinatus*, a freshwater crayfish endemic to southwestern Australia. *J Crust Biol* 2: 251-262.
- Benítez M.M., Ponce P. J. T. 2013. Effects of different dietary of protein and lipid levels on the growth of freshwater prawns (*M. carcinus*) broodstock. *Rev. MVZ Córdoba* 19 (1) :3921-3929.
- Bromage, N. R., Shields, R., Young, C., Bruce, M., Basavaraja, N., Dye, J., Smith, P., Gillespie, M., Gamble, J., and K. Rana. 1991. Egg quality determinants in finfish with special reference to the timing of stripping and methods of fertilization in the Atlantic halibut (*Hippoplossus hippoplossus*). Abstract pp. 201-202, in: LARVI'91. European Aquaculture Society, special publication No. 15, Gent, Belgium.

- Bueno, S. L. S. y S. A. Rodríguez.1995. Abbreviated larval development of the freshwater prawn *Macrobrachium iheringi* (Ortmann, 1897) (Decapoda: Palaemonidae), reared in the laboratory. *Crustaceana*, 68, pp. 665-686.
- Cabrera, P. J. 1983. Carácter práctico para la diferenciación de sexos en *Macrobrachium tenellum* (Crustacea: Decapoda: Natantia. *Revista de Biología Tropical*, 31. pp. 159-160.
- Cahu C. Guillaume J.C., Stephan G., Chim L.1994. Influence of phospholipid and highly unsaturated fatty acids on spawning rate and egg and tissue composition in *Penaeus vannamei* fed semi-purified. *Aquaculture* 159-170.
- Cahu C. 1998. Diets for shrimp broodstock and their effect on larval quality. En: IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Noviembre 15-18, La Paz, B.C.S., México.
- Casas-Sánchez R., Vaillard-Nava Y. & Re-Araujo A.D. 1995. Nutrición de juveniles de langostino *Macrobrachium carcinus* (Crustacea:Decapoda) con dietas de residuos vegetales y marinos. *Revista de Biología Tropical* 43, 251-256.
- Cavalli R. O., Lavens P., Sorgeloos P. 1999. Performance of *Macrobrachium rosenbergii* broodstock fed diets with different fatty acid composition. *Aquaculture* 387–402.
- Cavalli R. O., Menschaert G., Lavens P., Sorgeloos P. 2000. Maturation performance, offspring quality and lipid composition of *Macrobrachium rosenbergii* females fed increasing levels of dietary phospholipids. *Aquaculture International* 8: 41–58.
- Collins P. 1997. Cultivo del camaron *Macrobrachium borellii* (crustacea: decapoda: palmonidae) con dietas artificiales. *Natura Neotropicallis* 28: 39:45.
- CONAPESCA 2010. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2010.
- D´Abramo L.R. 1998. Nutritional requirements of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*: comparisions with species of penaeid shrimp. *Reviews in Fisheries Science* 6,153-163.

- D'Abrahamo L.R. & New M.B. 2000. Nutrition, feeds and feeding. In: Freshwater prawn culture, the farming of *Macrobrachium rosenbergii* (ed. by New M.B. & Valenti W.C.), pp. 203-220. Blackwell Science, Oxford.
- De Calawe, J. 1995. Egg quality of *Macrobrachium rosenbergii*. Notas técnicas. Curso de Reproducción. Universidad de Gante Belgica.
- de los Santos-Romero R., Silva-Rivera M.E. & Ruiz-Vega J. 2006. Distribución, producción biológica y aprovechamiento de especies de la familia Palaemonidae en los humedales de Colotepec, Oaxaca, México. *Naturaleza y Desarrollo* 4, 5-18.
- Dos Santos E.P., Gonçalves L.A.L., Morales Da Silva P.M. & De Souza C.E. 2007. Influência de diferentes dietas na sobrevivência larval do camarão de água doce *Macrobrachium carcinus* (Linnaeus, 1758). *Acta Scientiarum Biological Science* 29, 121-124.
- Espinosa, J. L., Rodriguez A. 1986. El langostino: un alimento en peligro. Serie medio ambiente en Coatzacoalcos, Vol. 10. Centro de Ecodesarrollo. México, D.F. 180 p.
- FAO 2012. The estate of the world fisheries and aquaculture (SOFIA) Roma, Italy.
- Galois, R. G. 1984. Variations de la composition lipidique tissulaire au cours de la vitellogenese chez la crevette *Peneus indicus* Milne Edward. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 84:155-166.
- Garcia, F., González-Baró, M. & Pollero, R. 2002. Transfer of lipids between hemolymph and hepatopancreas in the shrimp *Macrobrachium borellii*. *Lipids*, 37(6): 581-585
- García-Guerrero, M., M. 2010. Effect of Temperature on Consumption Rate of Main Yolk Components during Embryo Development of the Prawn *Macrobrachium americanum* (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae)», *Journal of the World Aquaculture Society*, 41, pp. 84-92.
- García-Guerrero, M., M. Hendrickx. 2009. External description of the embryonic development of the prawn *Macrobrachium americanum* based on the staging method. *Crustaceana*, 82, pp. 1413-1422.

- García-Ulloa, G.M. 2000. Fundamentos de nutrición acuícola. Editorial Folia Universitaria. Universidad Autónoma de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. 221 pp.
- García, U.M., Rodríguez, H. & Ogua, T. 2004. Calidad del huevecillo en dos especies de langostino (Palmonidae) del género *Macrobrachium* (*M. rosenbergii*, de Mann 1879 y *M. tenellum*, Smith, 1871) variando la dieta. Avances en Investigación Agropecuaria. 8 (002): 1-9.
- Goda A. M. A-S. 2008. Effect of dietary protein and lipid levels and protein–energy ratio on growth indices, feed utilization and body composition of freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man 1879) post larvae. Aquaculture Research, 39: 891-901.
- Graça-Melo, S. y A. L. Brossi-García. 1999. Desenvolvimento larval de *Macrobrachium birai* Lobão, Melo & Fernandes (Crustacea, Decapoda, Caridea, Palaemonidae) em laboratorio», Revista Brasileira de Zoología, 22 (1), pp. 131-152.
- Hafner, P. A. Jr. Y D.H. Spaargaren. 1993. Interactions of ovary and hepatopáncreas during the reproductive cycle of *Crangon crangon* (L): weight and volume relationships. Journal of Crustaceans Biology 13:523-531.
- Harrison K. E. 1990. The role of nutrition in maturation, reproduction and embryonic development of decapod crustaceans: a review. Journal of shellfish research, vol.9, No. 1.1-28.
- Hernández-Guzmán M.A., Cruz-Hernández J., Mejía-Ortíz L.M., Ortega P. & Viccon-Pale J.A. 1999. Relative abundance and growth of *Macrobrachium heterochirus* between 1983-84 and 1996-97, Huitzilapan river basin, Veracruz, Mexico. In: The biodiversity crisis and Crustacea, Proceedings of the Fourth International Crustacean Congress (ed. by Schram. F. R. & Von Vaupel Klein J. C.), pp. 739-749.
- Hernández-Sandoval, P. 2008. Efecto de la temperatura en el crecimiento y sobrevivencia del langostino *Macrobrachium occidentale* y del acocil *Cherax quadricarinatus*, tesis de maestría en ciencias (recursos naturales y medio ambiente), Departamento de Acuicultura, Centro Interdisciplinario de

Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Sinaloa.

- Hernández-Vergara, M. P., D. B. Rouse, M.A. Olvera-Novoa & D.A. Davis. 2003. Effects of dietary lipid level and source on growth and proximate composition of juveniles redclaw (*Cherax quadricarinatus*) reared under semi-intensive culture conditions. *Aquaculture* 223: 107-115.
- Holthuis, L. B. 1952. A general revision of the Palaemonidae (Crustacea: Decapoda: Natatia) of the Americas. II. The subfamily Palaemonidae. Allan Hancock Foundation Occasional Papers, 12, pp. 11-132.
- Holthuis, L. B. FAO. 1980. Species Catalogue, Vol. 1- Shrimps and Prawns of the World, An, Annotated Catalogue of Species of Interest to Fisheries, FAO Fisheries Synopsis, 125 (1).
- Izquierdo, M. S., H. Fernandez-Palacios and A. G. J. Tacon. 2001. Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish, *Aquaculture*, vol. 197, no. 1-4, pp. 25-42.
- Juaneda, P. and Roquelin, G., 1985. Rapid and convenient separation of phospholipids and non phosphorus lipids from rat heart using silica cartridges. *Lipids*, 20: 40-41.
- Kyomo, J. 1988. Analysis of the relationship between gonads and hepatopancreas in males and females of the crab *Sesarma intermedia*, with reference to resource use and reproduction. *Marine Biology* 97: 87- 93.
- Ling, S. W. 1962. Studies on the rearing of larvae and juveniles and culturing of adults of *Macrobrachium rosenbergii* (de Man), Reprinted from IPFC, Current Affairs, Bull.
- Ling, S. W. 1969. Methods of rearing and culturing *Macrobrachium rosenbergii* (de Man)», *FAO Fisheries Report*, 57 (3), pp. 607-619.
- Ling, S. W. 1969a The general biology and development of *Macrobrachium rosenbergii* (de Man)», *FAO Fisheries Report*, 57 (3), pp. 589-606.
- López-Greco, L. S. & Rodríguez, E. M. 1999. Annual reproduction and growth of adult crabs *Chasmagnathus granulata* (Crustacea, Brachyura, Grapsidae). *Cahiers De Biologie Marine*, 40(2): 155-164.

- Magalhães, T. Mossolin E.C. & Mantelatto, F.L. 2012. Gonadosomatic and Hepatosomatic indexes of the freshwater shrimp *Macrobrachium olfersii* (Decapoda, Palaemonidae) from São Sebastião Island, Southeastern Brazil. Pan-American Journal of Aquatic Sciences, 7(1):1-9.
- McLaughlin, P. A. 1983. Internal anatomy. Pp. 1-52. In: Bliss, D. E. & Mantel, T. H. (Eds.). The Biology of Crustacea. Academic Press, New York, Vol. 5, 479 p.
- Mejía, O.L.M., Álvarez, F. 2010. Seasonal patterns in the distribution of three species of freshwater shrimp, *Macrobrachium spp.*, along an altitudinal river gradient. Crustaceana. 83 (4): 385-397.
- Montoya, J. 2003. Freshwater shrimps of the genus *Macrobrachium* associated with roots of *Eichhornia crassipes* (Water Hyacinth) in the Orinoco Delta (Venezuela). Caribbean Journal Science, 39, pp. 155-159.
- Mossolin, E. C. y S. L. S. Bueno. 2003. Relative growth of the second pereopod in *Macrobrachium olfersi* (Wiegmann, 186) (Decapoda, Palaemonidae). Crustaceana, 76, pp. 363-376.
- New, M. B. y S. Singholka. 1984. Cultivo del camarón de agua dulce: manual para el cultivo de *Macrobrachium rosenbergii*, FAO, Italia.
- NRC 2011. Nutrient requirements of fish and shrimps. The National Academic Press. Washington DC, USA. 376 p.
- Palacios, E., 1999. Caracterización fisiológica del agotamiento reproductivo y optimización de la reproducción del camarón blanco del pacífico *Peneus vanamei*. Tesis Doctoral, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.S., México. 193 pp.
- Rodríguez G.H. 2006. Efecto del nivel de inclusión de proteínas y lípidos en la dieta para reproductores de langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus*, en relación a la calidad de huevo y en juveniles. Tesis de Doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Rodríguez G. H., Villareal H., García U. M., Hernández L. A. 2009. Dietary lipid requirements for optimal egg quality of Redclaw Crayfish, *Cherax quadricarinatus*. Journal of the world aquaculture society Vol. 40, No. 4.

- Serrano-Pinto, V., Vazquez-Boucard, C., Villarreal-Colmenares, H. 2003. Yolk proteins during ovary and eggs development of mature female freshwater crayfish (*Cherax quadricarinatus*). *Comp. Bioch. Physiol.* 134A, 33-43.
- Sokolowicz, C. C., Bond-Buckup, G. & Buckup, L. 2006. Dynamics of gonadal development of *Aegla platensis* Schmitt (Decapoda, Anomura, Aegliidae). *Revista Brasileira de Zoologia*, 23(4): 1153-1158.
- Subramoniam, T. 2011. Mechanism and control of vitellogenesis in crustaceans. *Fish. Sci.* 77:1-21.
- Teshima S., S. Koshio, M. Ishikawa, and A. Kanazawa. 2001. Protein requirement of the prawn *Marsupenaeus japonicus* estimated by a factorial method. *Hydrobiologia* 449:293–300.
- Teshima S.I., Koshio S., Ishikawa M., Alam M.S., Hernandez H.L.H. 2006. Protein requirements of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* evaluated by the factorial method. *Journal of the World Aquaculture Society* 31, 145-153.
- Valencia, D. y M. Campos. 2007. Freshwater prawns of the genus *Macrobrachium* Bate, 1868 (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae) of Colombia. *Zootaxa*, 1456, pp. 1-44.
- Villafuerte M.A., Hernández H. L. H., Fernández A. M. A., Ángeles L. O. 2016. Contribución al conocimiento de los requerimientos nutricionales del langostino nativo *Macrobrachium acanthurus*. Tlalnepantla Edo. De México, México. *Hidrobiológica*, 26 (1): 15:23.
- Villareal, T., Pelaez, J. 1999. Biología y cultivo de langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste y acuacultivos Santo Domingo, La Paz, B. C. S., México.
- Wouters, R., Zambrano, B., Mendoza, S., Espín, M. y P. Laves. 2000. Ensayos con una dieta artificial de maduración basada en harina de *Artemia*. *Mundo Acuícola* 6 (1), 17-20.
- Wouters, R., Molina, C., Lavens, P., Calderón, J. 2001. Lipid composition and vitamin content of wild female *Litopeneus vannamei* in different stage of sexual maturation. *Aquaculture* 1998, 307-323.

- Xu X.L. Ji W. J., Castell J.D., O'Dor R.K. 1994. Influence of dietary lipid source fecundity, egg hatchability and fatty acid composition of Chinese prawn (*Peneus chinensis*) broodstock. *Aquaculture*, 119, 359-370.
- Yamaguchi, T. 2001. Seasonal change of the hepatopancreas index in the males of the fiddler crab, *Uca lactea*. *Crustaceana*, 74(7): 627-634.
- Yeh, H. S., Rouse, D. B., 1994. Indoor spawning and egg development of the red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *J. World Aquacult. Soc.* 25, 297-301.