



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre  
el crecimiento y la composición química corporal de  
juveniles de langostino prieto *Macrobrachium acanthurus*  
bajo condiciones de laboratorio.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA  
P R E S E N T A :**

**SUSANA ALEJANDRA FRÍAS GÓMEZ**

Asesor:

**DR. LUIS HÉCTOR HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## DEDICATORIA

*A mi madre, Susana Marcela Gómez Vera, por ser siempre el mayor impulso para alcanzar mis sueños. Por creer en mí, por tu infinita paciencia, por ser la mejor maestra y la mujer más fuerte que he conocido; por todas las lágrimas que has enjugado, las sonrisas que hemos compartido, el apoyo que siempre me has brindado incondicionalmente y por sobre todas las cosas tu amor lleno de sabiduría, comprensión y paz.*

*Tu luz y tu alegría siempre han impregnado todo lo que te rodea, y la vida es mucho más sencilla cuando estás cerca. Agradezco tus consejos que nunca me han fallado, el inmenso esfuerzo que has hecho para sacarnos adelante y velar porque no nos falte nada; gracias por enseñarme a poner el corazón en todo lo que hago, a levantarme cuando mis propias alas me fallaban, por perdonar mis errores y sacar la mejor experiencia de éstos.*

*Te debo mucho más que la vida, te debo las ganas de vivirla y disfrutarla.*

## AGRADECIMIENTOS

A mi hermano, Kevin, por ser un gran compañero de juegos y por acompañarme la mayor parte de mi vida. A pesar de ser mi hermano pequeño, a tu manera me has apoyado y cuidado.

A mis amigos de la carrera, en especial Gaby y Humberto, han sido hermanos para mí y hemos pasado grandiosos momentos juntos. Han hecho de la carrera una aventura y agradezco inmensamente el apoyo incondicional que me han brindado.

A Ernesto, has sido el mejor compañero de vida y mi cómplice en todo. Me abriste las puertas de tu corazón y compartiste conmigo cada aspecto de tu vida, gracias a ti y a tu familia por ser mi segundo hogar y un refugio al cual volver. Gracias por impulsarme siempre a perseguir mis sueños y ayudarme a conseguirlos. Te amo.

A mis amigos del acuario, Alonso, Juan, Lupita y Dan. Gracias por sus enseñanzas y por hacer del trabajo una actividad amena y siempre divertida.

También a los que llegaron después para aportar su esfuerzo, dedicación y alegría en todo lo que hacían.

A mi asesor, el Dr. Héctor, por su paciencia y su guía, sin la cual no hubiera sido posible la realización de este trabajo. Agradezco la oportunidad de haber estado en el laboratorio y aprender tanto sobre el área de acuicultura.

A los profesores Omar y Mario, que contribuyeron y complementaron mi formación como veterinaria aportando la perspectiva de la biología. Su pasión y vocación los hacen excelentes maestros.

A mis sinodales, por sus observaciones y correcciones para pulir el trabajo final y sobre todo por la paciencia. Les agradezco sus contribuciones que aportaron para hacer de este proyecto una realidad.

Finalmente, pero no menos importante, a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y a los docentes que la componen, por las experiencias, el aprendizaje y sobre todo, por materializar un sueño que empezó hace casi 20 años.

# CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Perspectiva general de la pesca y la acuicultura .....	4
2.2 El langostino como recurso económico .....	4
2.3 Anatomía y fisiología digestiva del langostino.....	5
2.4 Nutrición del langostino .....	9
2.4.1 Lípidos.....	10
2.4.2 Carbohidratos.....	11
2.4.3 Proteínas.....	12
<b>3. ANTECEDENTES</b> .....	<b>13</b>
3.1 Requerimiento de lípidos en las dietas de crustáceos .....	13
3.2 Requerimiento de carbohidratos en las dietas de crustáceos .....	14
3.3 Composición química corporal en langostinos .....	15
<b>4. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>17</b>
<b>5. HIPÓTESIS</b> .....	<b>18</b>
<b>6. OBJETIVOS</b> .....	<b>19</b>
6.1 Objetivo general .....	19
6.2 Objetivos particulares .....	19
<b>7. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
7.1 Obtención de los organismos .....	20
7.2 Formulación de las dietas experimentales .....	21
7.3 Prueba de alimentación .....	22
7.4 Composición química corporal .....	24
7.5 Parámetros de crecimiento y supervivencia .....	25
7.6 Análisis estadístico .....	27
<b>8. RESULTADOS</b> .....	<b>28</b>
8.1 Parámetros de crecimiento y supervivencia .....	28
8.2 Composición química corporal .....	32
<b>9. DISCUSIÓN</b> .....	<b>35</b>
<i>Composición química corporal</i> .....	38
<b>10. CONCLUSIONES</b> .....	<b>41</b>
<b>11. OBSERVACIONES</b> .....	<b>42</b>
<b>12. REFERENCIAS</b> .....	<b>44</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica de los sitios de colecta de juveniles de langostino <i>M. acanthurus</i> . .....	<b>20</b>
<b>Figura 2.</b> Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre la ganancia de peso en juveniles de langostino <i>Macrobrachium acanthurus</i> . .....	<b>29</b>
<b>Figura 3.</b> Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre la tasa de crecimiento específico en juveniles de langostino <i>Macrobrachium acanthurus</i> . ....	<b>29</b>
<b>Figura 4.</b> Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre la supervivencia en juveniles de langostino <i>Macrobrachium acanthurus</i> . .....	<b>30</b>
<b>Figura 5.</b> Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre el factor de conversión alimenticia en juveniles de langostino <i>Macrobrachium acanthurus</i> . ....	<b>31</b>
<b>Figura 6.</b> Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre la tasa de eficiencia proteica en juveniles de langostino <i>Macrobrachium acanthurus</i> . .....	<b>31</b>
<b>Figura 7.</b> Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre el contenido de lípidos en hepatopáncreas de juveniles de langostino prieto <i>Macrobrachium acanthurus</i> . .....	<b>32</b>
<b>Figura 8.</b> Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre el contenido de lípidos en el tejido muscular de juveniles de langostino prieto <i>Macrobrachium acanthurus</i> . .....	<b>33</b>
<b>Figura 9.</b> Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre el contenido de proteína cruda (PC) en hepatopáncreas de juveniles de langostino prieto <i>Macrobrachium acanthurus</i> . .....	<b>33</b>
<b>Figura 10.</b> Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre el contenido de proteína cruda (PC) en muestras de tejido muscular de juveniles de langostino prieto <i>Macrobrachium acanthurus</i> . .....	<b>34</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Porcentaje de lípidos y proteínas reportados para algunas especies de la familia <i>Macrobrachium</i> por diversos autores. ....	<b>16</b>
<b>Cuadro 2.</b> Formulaciones y contenido químico proximal de las dietas utilizadas para alimentar a los juveniles de langostino prieto <i>M. acanthurus</i> . .....	<b>22</b>
<b>Cuadro 3.</b> Valores promedio $\pm$ desviación estándar de las características físico-químicas del agua por tratamiento, durante la prueba de alimentación. ....	<b>24</b>
<b>Cuadro 4.</b> Parámetros de crecimiento de juveniles de langostino prieto <i>Macrobrachium acanthurus</i> alimentados con diferentes concentraciones de lípidos y carbohidratos. ....	<b>28</b>

## RESUMEN

FRÍAS GÓMEZ SUSANA ALEJANDRA. Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre el crecimiento y composición química corporal de juveniles de langostino prieto *Macrobrachium acanthurus* bajo condiciones de laboratorio. (Bajo la dirección de: Dr. Luis Héctor Hernández Hernández).

El langostino prieto *Macrobrachium acanthurus* se distribuye en toda la costa del Golfo de México y su valor económico lo convierte en un producto comercial de alta demanda, motivo por el cual, se le ha sometido a una sobrepesca que disminuye año con año las poblaciones silvestres en su hábitat natural. Posee características biológicas que lo convierten en un candidato favorable para la acuicultura pero el desconocimiento de sus requerimientos nutricionales ha sido un obstáculo para su cultivo. Es por ello, que el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de lípidos y carbohidratos en la dieta sobre los parámetros zootécnicos y supervivencia de juveniles de langostino prieto *Macrobrachium acanthurus*.

Se diseñaron cuatro dietas isoproteicas (40%) e isocalóricas (400 kcal/100 g) variando el porcentaje de inclusión de lípidos (15%, 10%, 5% y 1%) y carbohidratos (8%, 19%, 31% y 40%). Las dietas se ofrecieron a 80 juveniles con un peso de  $0.08 \pm 0.02$  g a los que se les realizó una biometría inicial y posteriormente cada 15 días durante un periodo de 60 días para determinar el efecto en el crecimiento, supervivencia y en la composición química corporal de músculo y hepatopáncreas.

La dieta que contenía 15% de lípidos fue la que obtuvo la mejor ganancia de peso total (GP) con  $0.12 \pm 0.03$  g, tasa de crecimiento específica  $1.48 \pm 0.22$  y conversión alimenticia (CA) de 6. El contenido de lípidos y proteína en músculo y hepatopáncreas no se vio afectado significativamente ( $P < 0.05$ ) por los tratamientos. Con estos resultados se puede concluir que el langostino *Macrobrachium acanthurus* requiere 15% de lípidos en la dieta y que la inclusión de 20% de carbohidratos mejora los parámetros productivos evaluados.

# 1. INTRODUCCIÓN

Los crustáceos pertenecen al grupo de artrópodos, caracterizados por poseer extremidades articuladas y un exoesqueleto a base de quitina. Las principales especies cultivadas a nivel mundial por su valor comercial son los camarones, langostas, jaibas y langostinos.<sup>1</sup>

México cuenta con 104 especies de langostinos de la familia Palaemonidae (Crustacea, Decapoda), los cuales se distribuyen en ambos litorales en el Atlántico bordeando todo el Golfo de México y mar Caribe, y en el Pacífico, desde Baja California hasta Chiapas.<sup>2</sup> Dentro de esta familia, el género *Macrobrachium* destaca por ser el más diverso, con 17 especies registradas en el país. De éstas, por lo menos cinco, son de importancia comercial: acamaya *M. carcinus*, cauque *M. americanum*, chacal *M. tenellum*, camarón de río *M. olfersii* y langostino prieto *M. acanthurus*.<sup>3</sup>

El langostino prieto está presente a lo largo del Golfo de México y habita ríos, estuarios y lagunas costeras, de donde es extraído principalmente por pesca artesanal para el consumo local. Debido a la sobreexplotación y a los desechos urbanos e industriales que contaminan su hábitat, se estima que las poblaciones silvestres de esta especie han decaído paulatinamente a través de los años. Desde 1980 se reportó una disminución de la población de langostinos en el río Coatzacoalcos<sup>4</sup> y, más recientemente, un estudio lo clasificó como recurso sobreexplotado en la cuenca baja del río Papaloapan.<sup>5</sup> Dicho estudio indicó que

no se encontraron ejemplares en zonas donde antes estaba presente, tales como laguna de los cocos, los Planes de la Congregación Carlos A. Carillo y a la altura del municipio de Cosamaloapan.

En respuesta a esta problemática el cultivo de langostino se encuentra en fase de desarrollo pues sus características biológicas le permiten tolerar un amplio rango de salinidad: 0 a 25 g/L,<sup>6</sup> se reproduce todo el año, es resistente a enfermedades y alcanza su talla comercial en 6 meses,<sup>7</sup> además llega a tener un alto precio en el mercado;<sup>8</sup> estas cualidades lo convierten en un buen candidato para la acuicultura. Sin embargo, el éxito de una producción acuícola depende de una alimentación que garantice rápido crecimiento. En este sentido, la información sobre alimentación en langostino prieto es escasa.<sup>9</sup> Por lo anterior, el presente estudio tiene como objeto evaluar el efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos en las dietas, sobre el crecimiento de *M. acanthurus* a fin de estimar sus requerimientos nutricionales en su fase juvenil.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### *2.1 Perspectiva general de la pesca y la acuicultura*

La captura por pesquería sigue aportando la mayor parte de la producción acuícola en el mundo, con 93.6 millones de toneladas en el 2015. China es el principal país productor de pescado y productos pesqueros, aportando cerca de 17.8 millones del total mundial. La acuicultura ha experimentado un dramático crecimiento en las últimas 6 décadas y hoy en día, contribuye con 106 millones de toneladas, generando una derrama económica de aproximadamente 162,974 millones de USD. De 2005 a 2015, ha duplicado su aporte a la producción total de organismos acuáticos, de un 20 hasta casi un 40%, lo que la hace el sector de producción alimenticia de mayor desarrollo.<sup>10</sup>

En México, la pesca genera un total de 1,746 millones de toneladas en productos acuícolas (peso vivo). El litoral del Pacífico suministra la mayor parte, con 1,484 millones de toneladas. En comparación con la pesca, la acuicultura aporta solo el 14% de la producción nacional total, es decir 245 mil toneladas, sin embargo participa en el 38% de la derrama económica nacional generada por actividades pesqueras. Sinaloa es el principal estado acuicultor.<sup>11</sup>

### *2.2 El langostino como recurso económico*

Desde hace cinco años, el cultivo de langostino ha incrementado su contribución tanto en cantidad como en valor económico. En el 2015, se calcula una producción

de 668,514 toneladas de langostino a nivel mundial, lo cual lo convierte en un negocio que se valúa en 3.5 billones de USD/año. Hace menos de una década, el cultivo de langostino se basaba principalmente en una sola especie: langostino malayo *M. rosenbergii*. Sin embargo, más de 350,000 toneladas de langostino oriental *M. nipponense* fueron producidas en China en el mismo año, a la par que se implementaron cultivos experimentales de langostino monzónico *M. malcomsonii* en India y Pakistan, acamaya *M. carcinus* y langostino del Amazonas *M. amazonicum* en el continente americano y langostino de río africano *M. vollehovenii* en África. Debido al interés creciente que existe por el cultivo de especies locales, la explotación de langostinos es un campo de oportunidad laboral.<sup>10, 12</sup>

En México, la pesca de langostino se calcula en 3,628 toneladas con un valor económico de 135 millones de pesos. Es el cuarto crustáceo más capturado después de camarón, jaiba y langosta. Su captura se realiza principalmente en el litoral del Golfo y el Caribe, particularmente en Veracruz. La acuicultura produce el 2.14% del volumen total de la producción nacional de langostino, principalmente por falta de infraestructura e información sobre sus requerimientos nutricionales.<sup>11</sup>

### *2.3 Anatomía y fisiología digestiva del langostino*

Es necesario entender el proceso digestivo y sus limitaciones para la formulación de dietas que cumplan con los requerimientos nutricionales, lo que obliga a revisar aspectos fisiológicos y anatómicos del sistema digestivo de los crustáceos

decápodos, el cual se divide en 3 partes: estomodeo, que contiene la boca y el esófago; mesodeo, donde se encuentra el estómago y hepatopáncreas; y el proctodeo, que se compone del intestino y ano.<sup>13</sup>

➤ Boca:

Posee apéndices prensiles especializados que sujetan y trituran el alimento: maxilípedos, maxila, maxílula y mandíbulas. Los maxilípedos participan en la sujeción del alimento y facilitan el flujo de agua a las branquias, además de poseer estructuras sensoriales llamadas setas. La maxila, maxílula y mandíbulas desmenuzan el alimento y lo empujan hacia el interior de la cavidad bucal.<sup>14</sup>

➤ Esófago:

Es corto, recto y con capacidad contráctil y conecta la boca con el estómago. En algunas especies posee pliegues quitinosos, que se presume tienen la función de impedir la regurgitación del alimento.<sup>15</sup>

➤ Estómago:

Está dividido en dos cámaras: la cardíaca y la pilórica, divididas por la válvula cardio-pilórica. La primera cámara tiene una función trituradora y posee reforzamientos quitinosos en la parte posterior, donde externamente se fijan músculos para mover sus paredes y donde también se desarrollan dientes quitinosos que forman el molino gástrico de esta cámara. Existen, en este punto, válvulas esofágicas que previenen que la comida retorne al esófago. La parte posterior del estómago cardíaco y la parte anterior del pilórico están reforzadas y soportadas por un conjunto de piezas calcáreas articuladas, las placas y los

oscículos, que son zonas de espeso revestimiento quitinoso. En la región pilórica existen pliegues en la pared y numerosas sedas y espinas filtradoras, de este modo funciona como un filtro donde solo las partículas más pequeñas pueden pasar al proceso de digestión. Las de mayor tamaño regresan a la cámara cardiaca a una segunda molienda, si aún son demasiado grandes para ingresar al hepatopáncreas, lugar en el cual se lleva a cabo la digestión, pasan al intestino para ser excretados.<sup>16, 17</sup>

➤ Hepatopáncreas:

También llamada glándula digestiva, está involucrado en diversos procesos metabólicos: síntesis y secreción de enzimas digestivas, absorción de nutrientes, almacén de reservas minerales, metabolismo de lípidos y carbohidratos y participa en la distribución de reservas energéticas para la ecdisis y la reproducción. Es el equivalente del hígado y páncreas de los vertebrados. Representa del 2 – 6% del peso vivo. Es bilobulado y cada uno de los lóbulos se abre al tracto digestivo mediante los ductos principales. Ambos lóbulos se encuentran dentro de una cápsula de tejido conectivo laminar, pero a su vez están separados por tejido conectivo intersticial que conforma un delgado septo fibroso. La unidad morfológica y funcional consiste en un túbulo subdividido en 3 porciones: distal, medio y proximal. Cada túbulo está rodeado por tejido conectivo laminar y por células mioepiteliales. Además, posee 5 tipos diferentes de células (E, F, B, R y M) distribuidas en un epitelio pseudoestratificado.<sup>18, 19, 20, 21</sup> Las células E (embrionales) son cuboidales e indiferenciadas y pasan por el proceso de división celular para dar lugar a los demás tipos celulares. Se localizan principalmente en

la zona distal de los túbulos hepatopancreáticos. Carecen de microvellosidades y reservas de glucógeno o lípidos.<sup>22</sup> Las células F (fibrilares) son de forma cilíndrica o triangular y poseen un citoplasma basófilo, además de abundante retículo endoplásmico rugoso alrededor del núcleo. Están localizadas en las zonas media y proximal de los túbulos. Son el único sitio donde se sintetizan enzimas digestivas y otras proteínas.<sup>23</sup> Las células B (“blister-like” o vacuolares) son las más grandes dentro del hepatopáncreas y poseen una vacuola de gran tamaño, rodeada por una delgada capa de citoplasma. La porción apical del citoplasma, también posee numerosas vacuolas de menor tamaño, que son liberadas de la célula por secreción apocrina. Este tipo de células son más abundantes en las zonas medial y distal de los túbulos (aunque en algunas especies se encuentran en la parte proximal) y son responsables de la digestión intracelular, concentrando los materiales absorbidos en su vacuola y secretando el contenido al finalizar el proceso digestivo. Durante este proceso la célula se desintegra.<sup>24, 25</sup> Las células R (de reabsorción o almacenamiento) son las más numerosas. Son cilíndricas y contienen vacuolas características en la zona subapical del citoplasma. Se encuentran en las zonas proximal y medial de los túbulos y se encargan también de la absorción de nutrientes, pero además almacenan lípidos, glicógeno, calcio, zinc y cobre acumulando reservas que proveen energía durante los períodos de inanición, muda y reproducción. Este tipo puede variar en número dependiendo de la fase de muda.<sup>26</sup> Las células M (“midgut” o del “intestino medio”) se encuentran en menor número. Tienen una forma triangular y son las únicas que no están en contacto directo con el lumen. Están distribuidas a todo lo largo de los túbulos y

maduran progresivamente conforme se acercan al extremo proximal, aunque los cambios en su estructura están más ligados con las fases del ciclo de muda.<sup>27</sup>

➤ Intestino y ano:

Se extiende a lo largo del abdomen, desde el estómago y termina en el ano. El lumen posee células secretoras de moco que recubren las heces para facilitar su paso a través del intestino, además de poseer una membrana acelular que separa el material ingerido del epitelio intestinal. Esta membrana contiene quitina y se cree que podría funcionar como una barrera para impedir que las bacterias penetren al intestino. En el proctodeo se encuentra el recto y el ano. El ano posee un esfínter muscular.<sup>28</sup>

## *2.4 Nutrición del langostino*

La nutrición comprende varios procesos: la ingestión, digestión y absorción, metabolismo de nutrientes y excreción de los desechos.<sup>29</sup>

En vida libre, los juveniles de langostino son animales bentónicos, omnívoros y detritívoros. Los estudios hechos a partir de contenidos estomacales muestran que se alimentan tanto de materia animal como vegetal, entre los que se encuentran crustáceos, moluscos, nemátodos, trozos de pescado, insectos, algas, materia vegetal y detritus. El proceso de ingesta en estos organismos es una actividad constante, ya que la capacidad de su estómago es limitada. Éste apenas ocupa 2-3% del volumen total de su cuerpo.<sup>13, 30, 31, 32</sup>

Al igual que el resto de los animales, los langostinos requieren de proteínas, lípidos y carbohidratos para cubrir sus necesidades energéticas.<sup>33</sup>

#### *2.4.1 Lípidos*

Los lípidos son moléculas de naturaleza hidrofóbica solubles en disolventes orgánicos. La forma más comúnmente hallada en las reservas lipídicas de los organismos son los triglicéridos, formados por ácidos grasos unidos a un glicerol mediante enlace éster. Son componentes estructurales de membranas celulares y algunas hormonas que participan en la muda y desarrollo gonadal. Permiten la absorción de vitaminas liposolubles A, D, E y K. Este nutriente es particularmente importante para las hembras, pues la cantidad de lípidos en la dieta influye directamente sobre la fecundidad y calidad del huevo (especialmente el ácido linoleico y docosahexanoico). También se ha visto que los requerimientos varían con la edad: en su fase adulta los crustáceos toleran inclusiones más elevadas que en fase juvenil e incluso mejoran el desempeño productivo.<sup>34, 35, 36.</sup>

Los ácidos grasos poliinsaturados que requieren los crustáceos son el ácido linoleico, alfa-linolénico, ácido eicosapentanoico y el docosahexanoico. A partir del linoleico deriva el ácido araquidónico, que también es necesario para el langostino de agua dulce.<sup>37</sup> Debido a que los crustáceos no son capaces de sintetizar el colesterol a partir de fuentes precursoras, éste también debe ser proporcionado en la dieta a razón de 0.6% para la fase juvenil.<sup>38</sup> El colesterol es vital para la

formación de las membranas celulares y de ciertas hormonas esteroideas tales como la hormona de la muda, además es precursor de ácidos biliares.<sup>39</sup>

#### 2.4.2 Carbohidratos

Los carbohidratos son compuestos de carbono con grupos hidroxilo, además contienen un grupo aldehído o cetona. Son la forma biológica primaria de almacenamiento y consumo de energía.<sup>39</sup> El uso de carbohidratos en dietas para organismos acuáticos permite que un mayor porcentaje de proteína sea utilizada para el crecimiento, además de mejorar las tasas de conversión alimenticia y funcionar como aglutinante para el alimento peletizado. En experimentos con camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, se descubrió que la utilización de altos porcentajes de carbohidratos (20-25%), reducía los requerimientos de proteína y mejoraba la supervivencia.<sup>40</sup> Los crustáceos son ineficientes modulando la cantidad de glucosa en linfa, por lo que las mejores fuentes de carbohidratos para ellos son los polisacáridos como el almidón y la dextrina, pues la liberación de glucosa al sistema circulatorio se hace de forma progresiva con estos ingredientes.<sup>41</sup>

Otra de las funciones de los carbohidratos es formar la quitina durante los períodos de muda. El glucógeno almacenado en el hepatopáncreas, se combina con el amonio producido por el catabolismo de los aminoácidos y forma la glucosamina, que se almacena en la hipodermis en la fase previa a la ecdisis.<sup>30</sup>

### 2.4.3 Proteínas

Las proteínas son polímeros nitrogenados que cumplen diferentes funciones, tales como estructural, contráctil, transportadores, reguladoras, de almacenamiento, protección y catalizadoras (enzimas). Están compuestos por aminoácidos unidos por enlaces peptídicos. Existen alrededor de 20 aminoácidos que conforman la mayoría de las proteínas y 10 son indispensables en la dieta para los langostinos: arginina, metionina, valina, treonina, isoleucina, leucina, lisina, histidina, fenilalanina y triptófano.<sup>31, 39, 42</sup>

Los requerimientos para el género *Macrobrachium* varían de 30 a 40%.<sup>43, 44, 45</sup> Un estudio realizado con *M. acanthurus* sugiere que la necesidad mínima de proteína es 37.8%, obtenido mediante un análisis de línea de rompimiento.<sup>46</sup> Existe evidencia de que cuando se incrementa el aporte de carbohidratos y lípidos en la dieta, se pueden reducir ligeramente los requerimientos de proteína al evitar el catabolismo de éstas con el fin de producir energía.<sup>29</sup>

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1 *Requerimiento de lípidos en las dietas de crustáceos*

En general, se considera que los crustáceos no toleran altas inclusiones de lípidos en la dieta.<sup>47</sup> Numerosos estudios respaldan esta afirmación. Uno de ellos trabajó con una mezcla de aceite de hígado de bacalao y de soya en una proporción 1:1 y 3:1 para juveniles de camarón kuruma *Penaeus japonicus* y se obtuvo el mejor crecimiento con inclusiones de 6%;<sup>48</sup> otro señaló que el camarón tigre *Penaeus monodon* requiere de 5 hasta 10% de lípidos, pues al adicionar más de 15% se producen efectos adversos sobre la ganancia en peso. Estas dietas fueron elaboradas con una mezcla 1:1 de aceite de hígado de bacalao y soya.<sup>49</sup> También se han realizado estudios con langostinos, particularmente con *M. rosenbergii* donde se probaron siete tratamientos isoenergéticos e isoproteicos y no se obtuvieron diferencias en el crecimiento al variar el contenido de lípidos de 2-10%, suministrados a través de una combinación de aceite de hígado de bacalao y maíz. Pero, al disminuirlos por debajo de 2% se observaron efectos adversos sobre el desempeño productivo.<sup>50</sup> En contraste con los resultados anteriores, algunas especies tienen necesidades lipídicas superiores a la mayoría. Por ejemplo, la langosta espinosa *Jasus edwardsii* presenta un mejor crecimiento con alimentos que contienen 13.5% de lípidos de origen marino.<sup>51</sup> Otra especie que se desarrolla bien con inclusiones superiores a las recomendadas (8 - 17%) es el camarón rosado *P. duorarum* y se determinó al variar la concentración de lípidos (aceite de hígado de bacalao y semilla de girasol, 1:1) en 8 tratamientos que contenían de un 40 hasta un 55% de proteína y un aporte fijo de 12% de

carbohidratos.<sup>52</sup> Y para el langostino prieto *M. acanthurus* se ha visto que las inclusiones lipídicas de 20% (aceite de pescado y aceite de krill en proporciones iguales) en hembras reproductoras tienen un efecto positivo sobre el crecimiento y la ganancia de peso.<sup>53</sup> Por esta razón, las necesidades de lípidos deben ajustarse a la especie con la que se pretenda trabajar.

### 3.2 Requerimiento de carbohidratos en las dietas de crustáceos

Desde la mitad de los años 70 se sabe que los polisacáridos tienen un mejor efecto sobre el crecimiento de los crustáceos que los azúcares simples.<sup>54, 55, 56</sup> A partir de entonces, en 1978 se comprobó la presencia de carbohidrasa, celulasa y quitinasa en los langostinos, además de que la inclusión de carbohidratos podía disminuir los requerimientos de proteína.<sup>57</sup> Debido a estos resultados alentadores, los estudios posteriores se encaminaron a estimar las necesidades de carbohidratos en las dietas de los crustáceos. Así, se llegó a sugerir que con inclusiones de 10% de sacarosa se lograba la mayor supervivencia en *Penaeus monodon*, aunque no se conseguía buen desempeño en ganancia de peso.<sup>58</sup> Posteriormente, a mediados de 1980 se obtuvieron mejores resultados en crecimiento y supervivencia con un 20% de trehalosa en esta misma especie.<sup>49, 59</sup> En otras especies, como el cangrejo de río *Astacus astacus*, se descubrió que sus requerimientos rondaban el 20 – 25% de carbohidratos, aunque no se reportó la fuente de éstos.<sup>34</sup> En el 2005, un estudio encontró que las dietas más eficientes para *M. rosenbergii*, son aquellas que contienen un 37% de carbohidratos proporcionados a través de harina de tapioca.<sup>60</sup> En el 2014, otro experimento

determinó que una inclusión de 20% de almidón favorecía la ganancia en peso de *Litopenaeus vannamei*.<sup>61</sup> Algunas especies del género *Macrobrachium* no toleran aportes tan altos de este nutriente en la alimentación, como es el caso de *M. nipponense*, cuyas necesidades oscilan del 5-15%. Concentraciones superiores al 20% suprimen el crecimiento.<sup>62</sup> Con lo anterior se ha llegado a sugerir que los alimentos formulados para crustáceos deben contener entre 20 y 30% de carbohidratos, proporcionados en forma de polisacáridos como almidón, dextrina o sacarosa.<sup>30</sup>

### 3.3 Composición química corporal en langostinos

Es claro que el alimento proporcionado a un organismo afecta su composición química corporal. En adultos y juveniles de langostinos *Macrobrachium* se ha visto que conforme se aumenta el contenido de proteína y lípidos en la dieta, la retención de estos nutrientes en los tejidos también se incrementa. Esto se ha comprobado en varias especies de langostino, como *M. carcinus*, *M. americanum* y *M. nipponense*.<sup>44, 63, 64</sup>

Otros estudios han tenido como objetivo analizar la composición química corporal de *M. rosenbergii* bajo diferentes condiciones de colecta (salvajes, de mercados locales y de una granja de cultivo) y se concluyó que aquellos que provenían de granjas acuícolas contenían el mayor porcentaje de proteína y lípidos en comparación a los capturados en vida silvestre. Esto se atribuyó a que el alimento

proporcionado en condiciones de cultivo tenía un mejor aporte de estos nutrientes.<sup>65</sup>

Finalmente, es interesante resaltar que a pesar de las ligeras variaciones en la composición química corporal dadas por el aporte nutricional en la dieta, los langostinos del género *Macrobrachium* tienen un alto contenido proteico y son ricos en ácidos grasos esenciales (tales como linolénico y linoleico), por lo que son considerados un excelente alimento para el consumo humano.<sup>66</sup> La comparación entre algunas especies se resume en el **Cuadro 1**.

**Cuadro 1.** Porcentaje de lípidos y proteínas reportados para algunas especies de la familia *Macrobrachium* por diversos autores.

Especie	Proteína (%)	Lípidos (%)	Autores
Langostino malayo <i>M. rosenbergii</i>	68.3±0.2*	8.4±0.1*	Ferdose & Hossain (2011) <sup>65</sup>
Langostino monzónico <i>M. malcolmsonii</i>	29.4±1.1	3.4±0.39	Rangappa <i>et. al.</i> , (2012) <sup>66</sup>
Acamaya <i>M. carcinus</i>	20.3±0.5	3.7±0.1	Benítez & Ponce (2014) <sup>44</sup>
Langostino oriental <i>M. nipponense</i>	67.3±0.9*	12.9±1.3*	Zhang <i>et. al.</i> , (2016) <sup>63</sup>
Cauque <i>M. americanum</i>	19.2±0.4	1.6±0.1	Méndez <i>et. al.</i> , (2016) <sup>64</sup>

\*Estos resultados se reportaron en base seca (BS).

En *M. acanthurus* no se han reportado estudios sobre composición química corporal, por lo cual en la presente investigación se evaluó el efecto de diferentes concentraciones de lípidos y carbohidratos en la dieta sobre el contenido de proteína y lípidos en músculo y hepatopáncreas de juveniles de *M. acanthurus*. Se requiere analizar la composición química corporal en organismos capturados en vida libre a fin de realizar estudios comparativos en futuras investigaciones.

## 4. JUSTIFICACIÓN

El cultivo de langostino ha tenido un crecimiento rápido y sostenido desde los últimos diez años, y dadas las ventajas que posee sobre los camarones<sup>67</sup> como no depender de agua marina por lo que pueden establecerse lejos de la costa, son compatibles con policultivos tanto con especies animales como vegetales, menor impacto biológico porque no necesitan salinidad en su fase adulta por lo que las propiedades del suelo donde se cultivan en estanques naturales no se ven afectadas, se proyecta que su producción siga aumentando. Las investigaciones más recientes se centran en especies locales que por sus características biológicas, son susceptibles de integrarse a producciones acuícolas, como el langostino prieto. Debido a la sobrepesca, se plantea como alternativa la implementación de un sistema de cultivo, con el fin de disminuir el impacto ejercido por la actividad humana sobre las poblaciones silvestres. Para el éxito de una producción, uno de los aspectos más importantes es la alimentación, cuyo fin es elaborar dietas que garanticen un buen desempeño productivo; es por esto que el siguiente trabajo tiene como objeto determinar el efecto en el crecimiento y la composición química corporal de diferentes concentraciones de lípidos y carbohidratos en la dieta del langostino *M. acanthurus*.

## 5. HIPÓTESIS

Debido a que los juveniles del langostino prieto *Macrobrachium acanthurus* utilizan de forma diferencial la energía proveniente de lípidos, carbohidratos y proteínas. El crecimiento y la composición química corporal serán influenciados por diferentes concentraciones de lípidos y carbohidratos en la dieta.

## 6. OBJETIVOS

### 6.1 *Objetivo general*

Evaluar el efecto de dietas con diferentes concentraciones de lípidos y carbohidratos sobre el crecimiento y la composición química corporal en los juveniles de langostino prieto *Macrobrachium acanthurus*.

### 6.2 *Objetivos particulares*

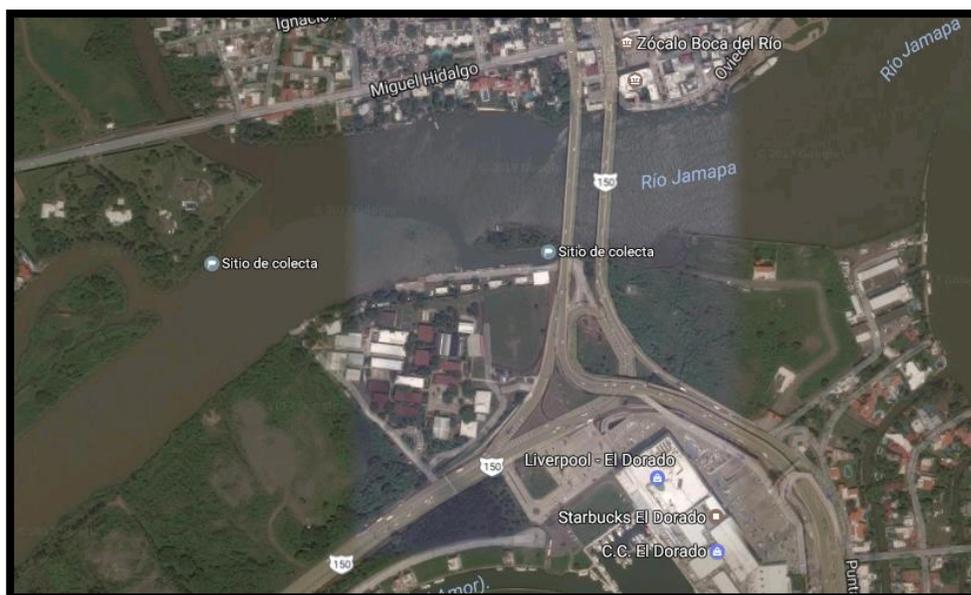
- Determinar el efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos en la dieta sobre el crecimiento de juveniles de langostino prieto *Macrobrachium acanthurus* mediante el registro de parámetros: ganancia de peso total, tasa de crecimiento específico, supervivencia, conversión alimenticia y tasa de eficiencia de la proteína.
- Evaluar el efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos en la dieta sobre composición química corporal en juveniles de langostino prieto.

## 7. MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Producción Acuícola de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM ubicada en Avenida de los Barrios Número 1, Colonia Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla de Baz, Estado de México a una altitud aproximada de 2,260 msnm.

### 7.1 Obtención de los organismos

Los organismos fueron colectados en el río Jamapa ubicado en el municipio de Boca del Río, Veracruz (**Figura 1**) trasladados por vía terrestre al laboratorio en bolsas de poliuretano de 60 x 90 cm, llenadas a aproximadamente 1/3 de su capacidad con agua del río y a otro 1/3 con oxígeno clínico. Las bolsas se acomodaron en contenedores de plástico durante el trayecto.



**Figura 1.** Ubicación geográfica de los sitios de colecta de juveniles de langostino

*M. acanthurus*.

Posteriormente los organismos se aclimataron al sistema experimental y manejo durante 2 semanas, manteniéndolos en contenedores de vidrio de 100 L acondicionados con filtros mecánicos de grava y calentadores con termostato Aqua-Krill® de 150 W, para mantener una temperatura de 28°C. Durante ese tiempo se alimentaron a saciedad aparente dos veces al día (a las 10:00 y a las 18:00 h) con una dieta elaborada en el Laboratorio de Producción Acuícola a base de harina de pescado y krill, y que contenía 40% de proteína cruda (PC), 16% de lípidos y 10% de carbohidratos.

## *7.2 Formulación de las dietas experimentales*

Se formularon 4 dietas experimentales isoproteicas e isocalóricas (400 kcal/100 g) con distintas concentraciones de lípidos y carbohidratos, de acuerdo al **Cuadro 2**. El contenido de energía se calculó con base en los valores reportados por Teshima *et al.*<sup>43</sup>

Las dietas se prepararon de acuerdo a Hernández *et al.* (2004),<sup>68</sup> los ingredientes se pesaron en una balanza digital (marca Denver Instrument, modelo TP-6101), posteriormente se homogenizaron en una mezcladora Kitchen Aid (modelo Pro 450) y se agregó agua purificada hasta formar una masa que se pasó por un molino de carne Tor Rey (modelo M-12-F5) con un cedazo de 0.5 mm de diámetro. El secado se realizó en un horno Prendo (modelo HSCF-46) a una temperatura de 60°C durante 24 h. Las dietas una vez secas se guardaron en bolsas herméticas de plástico y se almacenaron en un congelador comercial Criotec (modelo CTC-05) a -24 °C hasta su uso.

**Cuadro 2.** Formulaciones y contenido químico proximal de las dietas utilizadas para alimentar a los juveniles de langostino prieto *M. acanthurus*.

Ingredientes (g/100g)	L15-C8	L10-C19	L5-C31	L1-C40
Caseína	45	45	45	45
Aceite de pescado:krill (1:1)	14	9	4	0
Colesterol	1	1	1	1
Mezcla de carbohidratos <sup>1</sup>	<b>8</b>	<b>19.5</b>	<b>31</b>	<b>40.2</b>
Mezcla de vitaminas	1.9	1.9	1.9	1.9
Mezcla de minerales	5	5	5	5
Glucosamina-HCL	0.8	0.8	0.8	0.8
Na Citrato	0.3	0.3	0.3	0.3
Na Succinato	0.3	0.3	0.3	0.3
BHT (Butilhidroxitolueno)	0.1	0.1	0.1	0.1
Gluten de trigo	5	5	5	5
Celulosa	18.6	12.1	5.6	0.4
<b>Análisis químico proximal</b>				
Proteína cruda (%) <sup>2</sup>	41.5	41.9	42.3	42.3
Lípidos (%) <sup>2</sup>	14.3	9.7	4.5	1
Cenizas (%) <sup>2</sup>	5	5.4	5.9	5.2
Humedad (%)	5.8	10.1	13.8	13.1
Energía calculada (kcal/100 g) <sup>3</sup>	400.8	400.7	400.6	400.5

<sup>1</sup> Dextrina:almidón:glucosa:sacarosa (2:3:7:13)  
<sup>2</sup> Los porcentajes se reportaron en materia seca.  
<sup>3</sup> La energía calculada con base en: proteína, 5.65 kcal/g; lípidos, 9.45kcal/g; carbohidratos, 4.10 kcal/g<sup>36,69</sup>.

### 7.3 Prueba de alimentación

El modelo experimental se diseñó de manera aleatoria con cuatro tratamientos y dos réplicas por tratamiento. Para ello se seleccionaron 80 organismos con un peso inicial de  $0.08 \pm 0.02$  g. La unidad experimental consistió en un grupo de 10 langostinos mantenidos en un contenedor de vidrio de 20 L de capacidad. Las 8 unidades experimentales se instalaron dentro del laboratorio y cada una contaba con un sistema de aireación alimentado por un blower Regenair® modelo R4110-2 y control de temperatura utilizando calentadores con termostato de 150 W posicionados de manera horizontal. Los organismos se mantuvieron a un

fotoperiodo de 14:10 (luz:oscuridad). Para evitar el canibalismo se colocaron refugios elaborados con tubos de PVC.

Los organismos fueron alimentados al 10% de su biomasa, dividido en dos tomas al día (a las 10:00 y a las 18:00 h), ajustando la ración cada 15 días con los valores obtenidos en las biometrías.

Diariamente se sifoneó la materia orgánica del fondo del contenedor, y se hicieron recambios de agua del 30% para mantener la calidad del agua.

Se realizó un registro diario de las variables físico químicas: oxígeno disuelto (OD, mg/L), temperatura (°C) y pH, determinados con un medidor multiparamétrico marca YSI, modelo 556 MPS. Cada 5 días se midió el nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) de acuerdo a las técnicas de Nessler (método 8083, reactivos Hach, Hach CO., Colorado, USA), utilizando un espectrofotómetro (modelo DR 2800, Hach CO., Colorado, USA). Los valores obtenidos de dichas mediciones se presentan en el **Cuadro 3**.

El peso de los organismos se tomó al inicio y cada 15 días para ajustar la ración alimenticia y registrar el incremento de peso. Se hicieron conteos diarios para determinar la supervivencia.

La prueba de alimentación tuvo una duración de 60 días, al término de la cual, todos los organismos fueron eutanasiados por el método de congelación<sup>69</sup> para obtener las muestras de músculo y hepatopáncreas necesarias para las pruebas de composición química corporal.

**Cuadro 3.** Valores promedio  $\pm$  desviación estándar de las características físico-químicas del agua por tratamiento, durante la prueba de alimentación.

	<b>L15-C8<sup>1</sup></b>	<b>L10-C19<sup>2</sup></b>	<b>L5-C31<sup>3</sup></b>	<b>L1-C40<sup>4</sup></b>	<b>Valor de referencia</b>
<b>Oxígeno disuelto (mg/L)</b>	3.73 $\pm$ 0.22 a	3.63 $\pm$ 0.27 a	3.79 $\pm$ 0.25 a	3.70 $\pm$ 0.24 a	3.0 – 7.0 (Boyd & Zimmerman) <sup>71</sup>
<b>Temperatura (°C)</b>	28.0 $\pm$ 0.82 a	29.1 $\pm$ 1.46 a	29.5 $\pm$ 1.35 a	28.5 $\pm$ 0.74 a	28 – 31 (FAO) <sup>72</sup>
<b>pH</b>	7.9 $\pm$ 0.2 a	7.7 $\pm$ 0.1 a	8.0 $\pm$ 0.1 a	8.1 $\pm$ 0.3 a	7.0 – 8.5 (Chen & Chen) <sup>73</sup>
<b>N-NH<sub>3</sub> (mg/L)</b>	0.15 $\pm$ 0.1 a	0.14 $\pm$ 0.09 a	0.19 $\pm$ 0.1 a	0.13 $\pm$ 0.08 a	> 0.5 (Mallasen & Valenti) <sup>74</sup>

<sup>1</sup> Lípidos 15% - Carbohidratos 8%  
<sup>2</sup> Lípidos 10% - Carbohidratos 19%  
<sup>3</sup> Lípidos 5% - Carbohidratos 31%  
<sup>4</sup> Lípidos 1% - Carbohidratos 40%

#### *7.4 Composición química corporal*

Para los análisis químico proximales se siguieron los métodos de humedad y cenizas según la FAO.<sup>75</sup> En la determinación de proteína cruda (PC), se utilizó la técnica de Kjeldahl (método 2001.11);<sup>76</sup> y para conocer el contenido de lípidos se realizó el método de extracción con cloroformo y metanol descrito por Bligh y Dyer.<sup>77</sup>

En el hepatopáncreas se utilizó la técnica de micro-Lowry con la modificación de Peterson, utilizando un kit (Sigma Diagnostics, MO, EUA) “Protein Kit, Micro Lowry, Peterson’s Modifications”<sup>78</sup> para determinar el contenido de PC. En la masa muscular, al igual que en las dietas, se realizó el método Kjeldahl y ambos tejidos se sometieron a la extracción de lípidos mediante cloroformo y metanol. La

composición química corporal se evaluó al inicio y al finalizar la prueba de alimentación.

### *7.5 Parámetros de crecimiento y supervivencia*

Con el fin de evaluar el desempeño productivo, se analizaron los datos recabados en las biometrías y el conteo diario de los organismos para obtener los siguientes parámetros:

**Ganancia de peso,<sup>79</sup> GP (%)**= Es el incremento de masa de un organismo en un período de tiempo con relación al peso inicial y se reporta como porcentaje.

$$\frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

**Ganancia de peso absoluto,<sup>79</sup> GP (g)** = Es el incremento de masa de un organismo expresado en gramos.

$$\text{Peso promedio final (g)} - \text{Peso promedio inicial(g)}$$

**Tasa de crecimiento específico,<sup>79</sup> TCE** = Es el incremento de masa de un organismo expresado en porcentaje por día.

$$\frac{\ln \text{Peso final} - \ln \text{Peso inicial}}{\text{tiempo (días)}} \times 100$$

- ln = logaritmo natural

**Supervivencia**<sup>80</sup> = Organismos vivos al finalizar un período de tiempo, expresado en porcentaje.

$$\frac{\text{Número final de organismos}}{\text{Número inicial de organismos}} \times 100$$

**Conversión alimenticia**,<sup>81</sup> **CA** = Es la cantidad de alimento (en gramos) que requiere un organismo para aumentar 1 gramo de biomasa.

$$\frac{\text{Alimento total consumido (g en base seca)}}{\text{Incremento de peso corregido(g)}}$$

El incremento de peso se corrige en función de la mortalidad y se calcula del siguiente modo, de acuerdo a Kitabayashi:<sup>82</sup>

**Incremento de peso corregido, IPC =**

$$\text{Biomasa final} + \left( \frac{\text{Peso promedio final} + \text{Peso promedio inicial}}{2} * \text{No. de muertos} \right) - \text{Biomasa inicial}$$

**Tasa de eficiencia proteica**,<sup>83</sup> **TEP** = Es la relación entre el incremento de masa de un organismo y los gramos de proteína consumida.

$$\frac{\text{Incremento de peso corregido (g)}}{\text{Proteína suministrada (g)}}$$

## *7.6 Análisis estadístico*

El modelo experimental se diseñó de manera aleatoria con cuatro tratamientos y dos réplicas. Los datos se sometieron a una prueba de normalidad y homoscedasticidad antes de ser analizados con ANOVA. Los valores porcentuales fueron transformados al arcoseno de la variable para su interpretación.<sup>84</sup>

El análisis estadístico se realizó mediante el procedimiento de Análisis de Varianza de una variable y la comparación múltiple de medias mediante la prueba post hoc LSD de Fisher, utilizando el programa estadístico Stat Plus.<sup>85</sup>

## 8. RESULTADOS

### 8.1 Parámetros de crecimiento y supervivencia

Los parámetros de crecimiento se muestran en el **Cuadro 4**. En general se puede observar que la dieta con mayor contenido lipídico (L15-C8) incrementó significativamente ( $P < 0.05$ ) el crecimiento, obteniendo un peso final promedio por organismo de  $0.19 \pm 0.02$ , lo que representa un incremento de  $143.78\% \pm 32.74$  con respecto al peso inicial; conforme disminuye el aporte de lípidos en la dieta el crecimiento se ve afectado, por lo que el menor desempeño se observa con el tratamiento que contenía la menor proporción de lípidos (L1-C40).

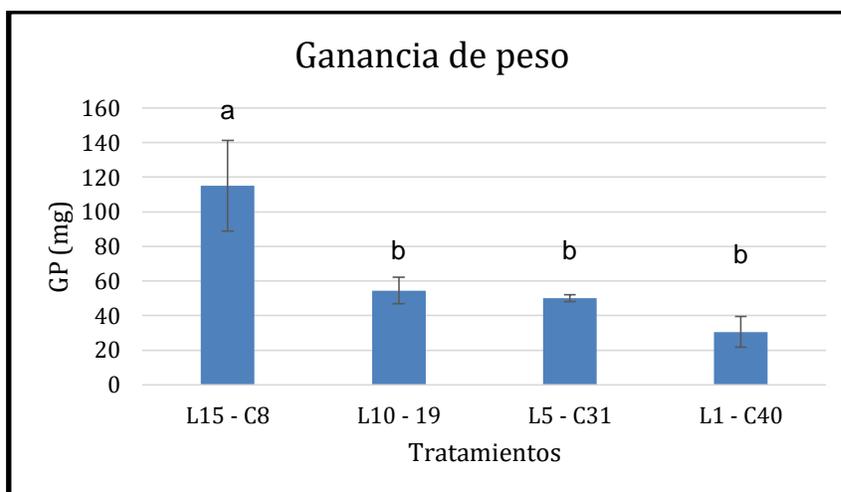
**Cuadro 4.** Parámetros de crecimiento de juveniles de langostino prieto *Macrobrachium acanthurus* alimentados con diferentes concentraciones de lípidos y carbohidratos.

	L15 – C8	L10 – C19	L5 – C31	L1 – C40
PI (g)	$0.08 \pm 0.02$ a	$0.08 \pm 0.02$ a	$0.08 \pm 0.02$ a	$0.08 \pm 0.02$ a
PF (g)	$0.19 \pm 0.02$ a	$0.13 \pm 0.01$ b	$0.13 \pm 0.002$ b	$0.12 \pm 0.01$ b
GP (mg)	$115.03 \pm 26.2$ a	$54.48 \pm 7.74$ b	$50.12 \pm 2.07$ b	$30.52 \pm 8.86$ b
GP (%)	$143.78 \pm 32.74$ a	$68.09 \pm 9.68$ b	$62.65 \pm 2.58$ b	$38.16 \pm 11.07$ b
TCE (%/día)	$1.48 \pm 0.22$ a	$0.86 \pm 0.1$ b	$0.81 \pm 0.03$ b	$0.54 \pm 0.13$ b
Supervivencia (%)	$50 \pm 14.1$ a	$80 \pm 28.3$ a	$80 \pm 14.1$ a	$75 \pm 7.1$ a
CA	$6.03 \pm 0.24$ a	$11.68 \pm 2.39$ b	$14.75 \pm 0.21$ b	$20.87 \pm 2.81$ c
TEP	$0.38 \pm 0.02$ a	$0.19 \pm 0.04$ b	$0.14 \pm 0.002$ b	$0.1 \pm 0.01$ c

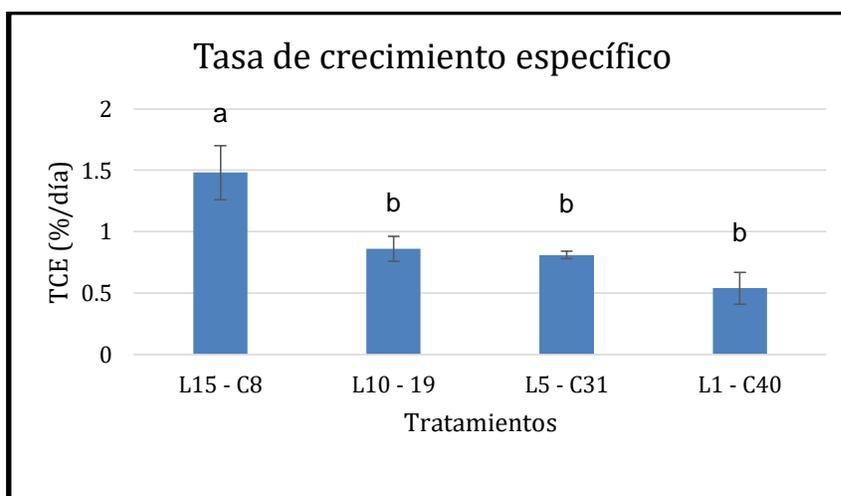
PI= Peso inicial, PF= Peso final, GP= Ganancia de peso, TCE= Tasa de Crecimiento Específico, CA= Conversión alimenticia, TEP= Tasa de eficiencia proteica.

Los datos están expresados como la media de los grupos por duplicado  $\pm$  desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

Para la ganancia de peso (**Figura 2**) y tasa de crecimiento específico (**Figura 3**), los mejores resultados se obtuvieron con 15% de lípidos y 8% de carbohidratos (L15-C8).

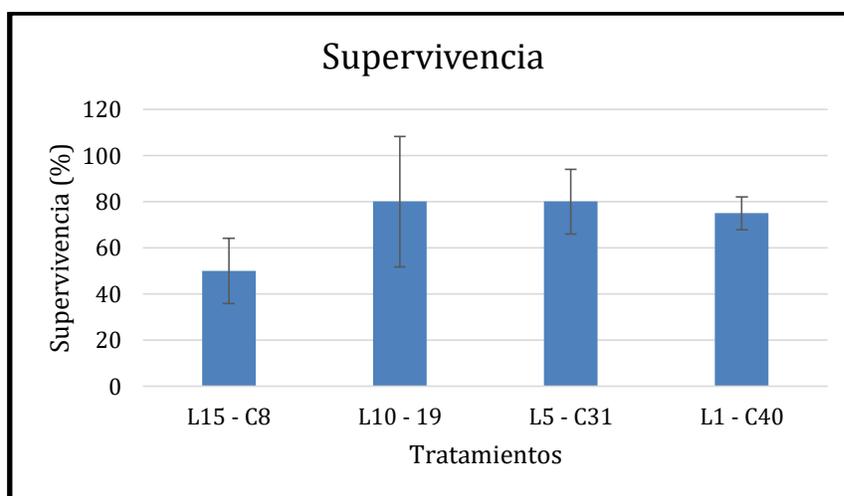


**Figura 2.** Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre la ganancia de peso en juveniles de langostino *Macrobrachium acanthurus*. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).



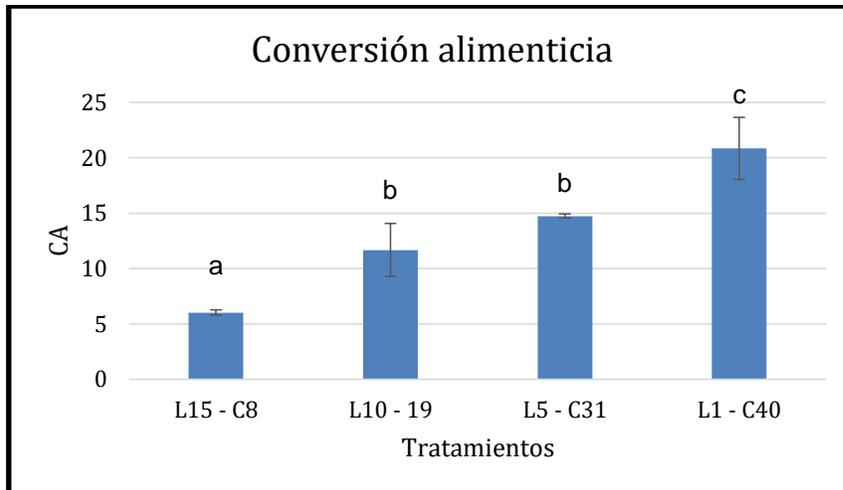
**Figura 3.** Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre la tasa de crecimiento específico en juveniles de langostino *Macrobrachium acanthurus*. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

La supervivencia (**Figura 4**) no presentó diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) para ningún tratamiento, aunque la más baja se observó con el tratamiento L15-C8 (un promedio de 50%), posiblemente debido a un aumento en el canibalismo de estos organismos. Para el resto, fue superior al 70%.

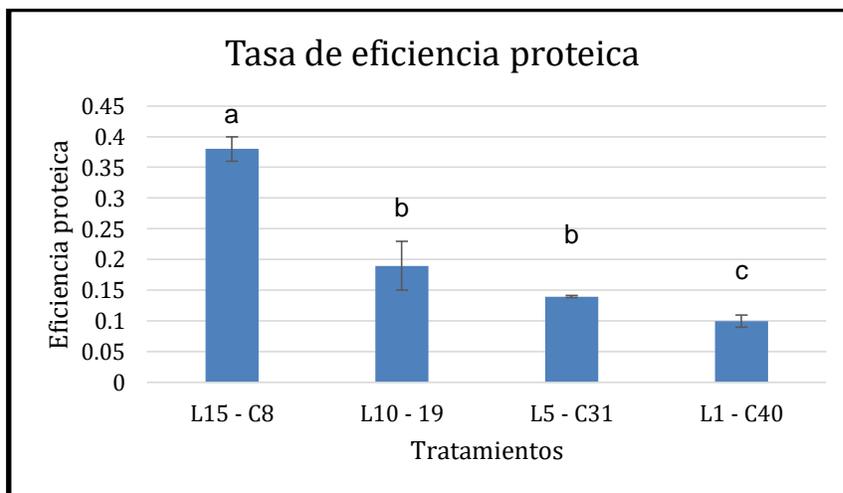


**Figura 4.** Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre la supervivencia en juveniles de langostino *Macrobrachium acanthurus*.

La dieta con 1% de lípidos y más carbohidratos (L1-C40) afectó significativamente ( $P < 0.05$ ) las tasas de conversión alimenticia (**Figura 5**) y eficiencia proteica (**Figura 6**), produciendo a los organismos más pequeños (peso final de  $0.12 \pm 0.01$  g). Las dietas L10-C19 y L5-C31 presentaron diferencias en conversión alimenticia y eficiencia proteica ( $P < 0.05$ ) con respecto a L1-C40, y el tratamiento L15-C8 fue significativamente mayor que los demás ( $P < 0.05$ ). Con lo anterior, se puede deducir que los lípidos en la dieta son metabolizados para cubrir los requerimientos energéticos del organismo y de esta manera, la proteína ingerida se destine al crecimiento.



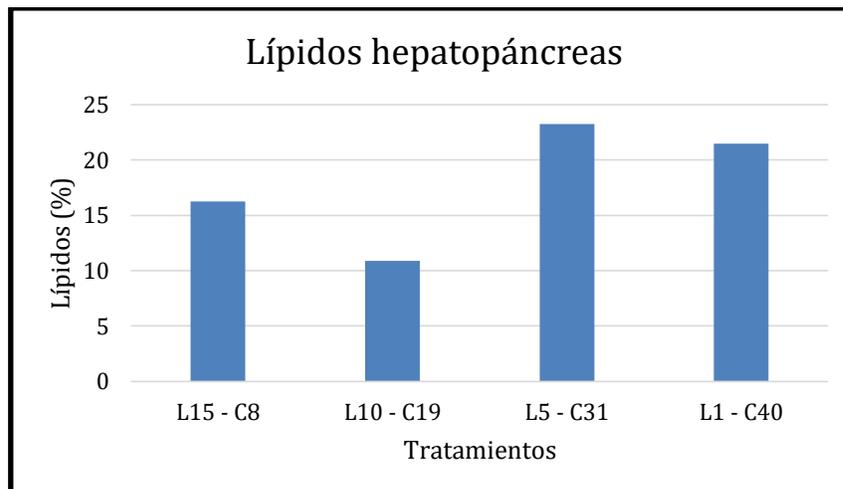
**Figura 5.** Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre el factor de conversión alimenticia en juveniles de langostino *Macrobrachium acanthurus*. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).



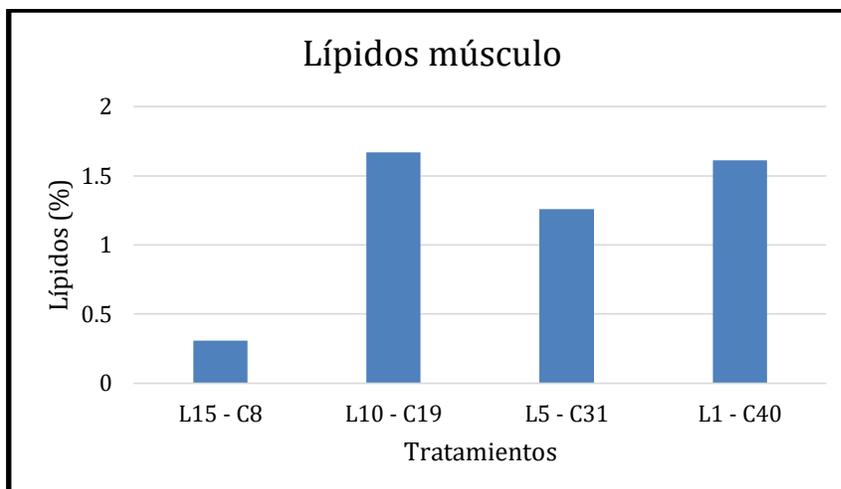
**Figura 6.** Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre la tasa de eficiencia proteica en juveniles de langostino *Macrobrachium acanthurus*. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

## 8.2 Composición química corporal

En la composición lipídica no se pudieron realizar repeticiones por falta de muestra. En el hepatopáncreas se encontró mayor acumulación de lípidos con las dietas L5-C31 y L1-C40 que contenían 23.2% y 21.4% respectivamente (**Figura 7**), mientras que en la dieta L15-C8 disminuyó ligeramente (16.2%) y fue menor en L10-C19 (10.8%). Esto parece indicar que el exceso de carbohidratos se convierte en lípidos y se almacena en el hepatopáncreas, mientras que los lípidos son metabolizados para producción de energía o movilizados a otros órganos. En el músculo, los tratamientos L10-C19 y L1-C40 obtuvieron la mayor deposición lipídica con 1.6% (**Figura 8**), seguidos de L5-C31 (1.2%) y L15-C8 (0.3%).

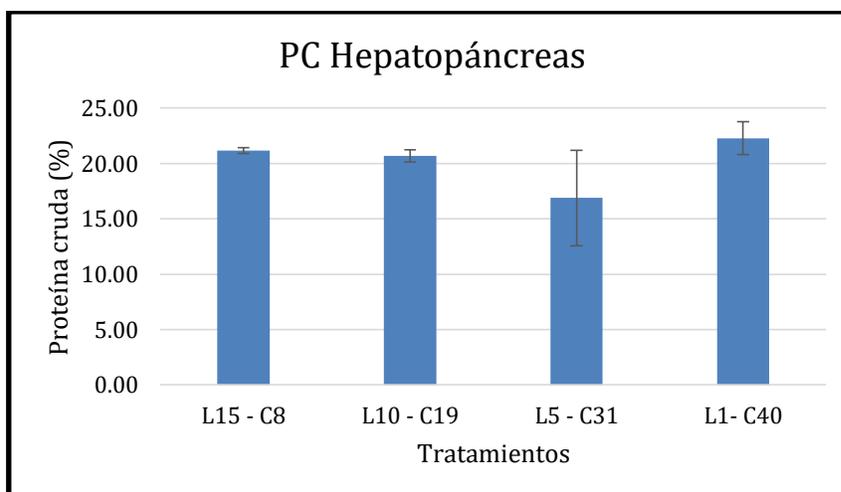


**Figura 7.** Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre el contenido de lípidos en hepatopáncreas de juveniles de langostino prieto *Macrobrachium acanthurus*. Los resultados se reportan en base húmeda.

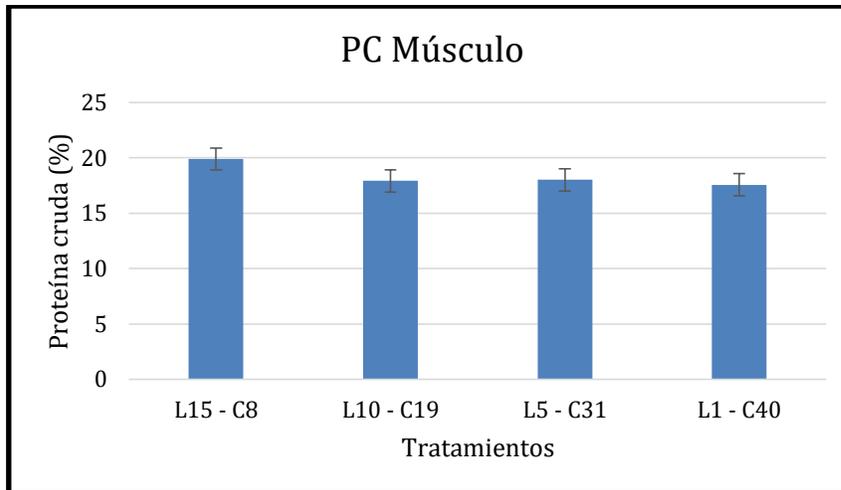


**Figura 8.** Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre el contenido de lípidos en el tejido muscular de juveniles de langostino prieto *Macrobrachium acanthurus*. Los resultados se reportan en base húmeda.

El contenido proteico fue similar entre los tratamientos. En el hepatopáncreas la menor acumulación se encontró en L5-C31 (**Figura 9**), mientras que en el músculo la deposición de proteína fue mayor en la dieta L15-C8 y disminuyó levemente conforme los lípidos se reducían (**Figura 10**).



**Figura 9.** Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre el contenido de proteína cruda (PC) en hepatopáncreas de juveniles de langostino prieto *Macrobrachium acanthurus*. Los resultados se reportan en base húmeda.



**Figura 10.** Efecto de la concentración de lípidos y carbohidratos sobre el contenido de proteína cruda (PC) en muestras de tejido muscular de juveniles de langostino prieto *Macrobrachium acanthurus*. Los resultados se reportan en base húmeda.

## 9. DISCUSIÓN

Lugert *et. al.*,<sup>79</sup> mencionan que uno de los factores más importantes relacionados con el crecimiento es la alimentación. El crecimiento en acuicultura típicamente es reportado mediante la ganancia de peso y la tasa de crecimiento específica, que sirven para expresar el incremento en las dimensiones corporales durante un periodo de estudio. La conversión alimenticia y la tasa de eficiencia proteica son indicadores de la eficiencia y del valor biológico de la dieta, y son utilizados frecuentemente como referencia en pruebas de alimentación para comparar las respuestas fisiológicas de los organismos ante diferentes tratamientos.<sup>86</sup> La supervivencia también depende de la alimentación, pero otros factores también pueden afectarla, tales como la calidad del agua, densidad de siembra y el comportamiento social de los langostinos, que suelen mostrar canibalismo hacia sus congéneres.<sup>87</sup>

Hernández,<sup>56</sup> en el 2016, realizó uno de los pocos estudios que reportan el crecimiento de langostino prieto *M. acantuhurus* bajo condiciones de laboratorio y variando la cantidad de lípidos en la dieta. Trabajó con hembras juveniles que tenían un peso inicial de 0.4 g a las que alimentó con aportes crecientes de lípidos en la dieta (de 10 a 20%, con incrementos de 2.5%). El mayor porcentaje de ganancia en peso (156.7%) y tasa de crecimiento específica (1.5%) la obtuvo con el tratamiento que contenía 15% de lípidos, lo que coincide con los resultados de este experimento, en el que se encontró una ganancia de 143.8% y una tasa de crecimiento específica de 1.4 con la dieta que contenía 15% de aporte lipídico.

Johnston *et. al.*,<sup>51</sup>, en el 2003, trabajó con langostas *Jasus edwardsii* y reportó que el mejor crecimiento se obtuvo con dietas que contenían un elevado aporte de lípidos (13.5% y 18%), en cambio aquellos que fueron sometidos a tratamientos con una proporción muy alta de carbohidratos (50.5%) y baja de lípidos (2.9%) mostraron el peor desempeño. En esta especie, al igual que en *M. acanthurus*, se aprecia que el crecimiento es afectado conforme el nivel de lípidos disminuye y se aumenta el de los carbohidratos. Ambos se benefician con concentraciones altas (superiores al 10%) de lípidos en la dieta.

De igual forma, Shyn-Shin y Sheng-Wei<sup>88</sup> al trabajar con cangrejo *Scylla serrata*, determinaron que sus requerimientos lipídicos se encontraban entre un 5.3 y 13.8%. Gaxiola<sup>52</sup> reportó que el camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* toleraba inclusiones de hasta 17% de lípidos en la dieta. Benítez *et al.*,<sup>44</sup> probó 3 inclusiones de proteína (30%, 35% y 40%) en combinación con 8% y 13% de lípidos en acamaya *M. carcinus* y encontraron que con 13% mejoraba la ganancia de peso y conversión alimenticia en comparación a 8%. Con lo anterior se puede sugerir que el langostino prieto se comporta de manera similar a estas especies de crustáceos, que son eficientes procesando energía a partir de altas inclusiones de lípidos en la dieta.

Young-Chul *et al.*,<sup>89</sup> y Goda<sup>90</sup> mencionan que el langostino *M. rosenbergii*, en cambio, tiene requerimientos más moderados de lípidos. Con sus investigaciones determinaron que inclusiones de 9.5% y 10% respectivamente potenciaban el

crecimiento en los juveniles de esta especie. Estos autores también sugieren que cuando existen fuentes alternativas de energía, como los lípidos, la proteína que ingieren los organismos se ocupa para el crecimiento y deposición muscular, mientras que las reservas de lípidos se utilizan para funciones metabólicas. Sus resultados contrastan con los del presente estudio, donde la inclusión de 15% de lípidos en la dieta mostró el mejor rendimiento en la mayoría de los parámetros zootécnicos evaluados.

D'Abramo<sup>38</sup> y Ahamad-Ali<sup>91</sup> determinaron que los langostinos y camarones tienen una habilidad limitada para sintetizar ácidos grasos poliinsaturados como ácido linoleico (18:2 $\omega$ 6), ácido linolénico (18:3 $\omega$ 3), ácido eicosapentanoico (20:5 $\omega$ 3) y el docosahexanoico (22:6 $\omega$ 3), por lo que es necesario suplementarlos en la dieta. Dichos hallazgos concuerdan con lo encontrado en la presente investigación, donde la dieta con 1% de lípidos (L1-C40) obtuvo la menor ganancia de peso, tasa de crecimiento específico, conversión alimenticia y tasa de eficiencia proteica.

De acuerdo a Wang<sup>40</sup>, los crustáceos requieren entre 20 – 30% de carbohidratos. A esta proporción, se consigue que la proteína se destine al crecimiento en vez de ser catabolizada para la producción de energía. Sin embargo se ha visto que existe una correlación negativa entre el aumento de carbohidratos en la dieta y la digestibilidad,<sup>92,93</sup> lo cual se atribuye a que el exceso de sustrato sobrecarga el sistema enzimático y los carbohidratos son desechados por el cuerpo. Este fenómeno se ha reportado en gran variedad de especies, como en trucha, camarón, bacalao y salmón<sup>94</sup> y parece estar involucrado también en el menor

crecimiento de los organismos que se alimentaron con la dieta L1-C40. Las dietas que contenían un aporte moderado de carbohidratos (L10-C19 y L5-C31) mostraron diferencias ( $P < 0.05$ ) con respecto a L1-C40 en la tasa de eficiencia proteica y la conversión alimenticia, lo cual pudiese indicar una buena asimilación a inclusiones de entre 19 y 31%.

Gómez-Díaz y Nakagawa<sup>95</sup> encontraron en su estudio con langostino malayo *M. rosenbergii* que la menor supervivencia se encontró en los organismos alimentados con la dieta que reportó los mejores valores en crecimiento y lo asociaron a una mayor actividad de los organismos con respecto a las dietas menos eficientes. Esto se traduce en un aumento en el canibalismo, a pesar de la colocación de refugios. En el presente estudio se encontró un fenómeno similar, ya que la dieta que produjo a los langostinos más grandes aumentaron la mortalidad. Se consideró poco probable un efecto patológico por las dietas altas en lípidos debido a que la mejor supervivencia se obtuvo con el tratamiento L10-C19.

### *Composición química corporal*

La deposición de los nutrientes en los tejidos de un organismo muestra cómo son aprovechados a partir de los alimentos que ingiere y son indicativo de la condición fisiológica, además pueden evidenciar posibles procesos patológicos. Por ejemplo, Bautista<sup>49</sup> describe daños celulares en el hepatopáncreas, como la congestión de los túbulos hepatopancreáticos, debido al exceso de lípidos en dicho órgano.

D'Abramo<sup>96</sup> compara esta patología al hígado graso que se presenta en vertebrados. Esta acumulación de lípidos se ha observado anteriormente en dietas que contienen un elevado aporte de carbohidratos. Gutiérrez *et al.*,<sup>97</sup> explica este fenómeno, reportando la existencia de un péptido parecido a la insulina que en los crustáceos transforma la glucosa excedente en reservas de glucógeno y lípidos para posteriormente depositarse en branquias y hepatopáncreas. En la presente investigación, se observó que la mayor concentración de lípidos en hepatopáncreas ocurrió con las dietas que contenían 31% y 40% de carbohidratos (L5-C31 y L1-C40). Sería aconsejable investigar un posible efecto patológico sobre dicho órgano mediante técnicas histológicas.

Brauge *et al.*,<sup>98</sup> y Habashy<sup>99</sup> al trabajar con trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* y *M. rosenbergii*, respectivamente, notaron que al incrementar el aporte de almidón en la dieta, el músculo almacenaba mayor porcentaje de lípidos. Este fenómeno podría deberse a la incapacidad de los organismos para aprovechar un aporte elevado de carbohidratos. Con el excedente se sintetizan lípidos y éstos se almacenan en los tejidos, principalmente en el músculo y el hepatopáncreas.<sup>100</sup> En el presente trabajo, los tratamientos con un aporte de al menos 19% de carbohidratos y superior (L10-C19, L5-C31 y L1-C40), pudo observarse la mayor acumulación de lípidos en tejido muscular. Sin embargo, estos resultados deben considerarse como preliminares puesto que no fue posible realizar repeticiones.

Con respecto al contenido de proteína en músculo y hepatopáncreas no se observó un efecto estadísticamente significativo sobre la deposición de dicho

nutriente en ambos órganos, posiblemente porque las dietas fueron isoproteicas. Sin embargo, se aprecia que el tratamiento con mayor inclusión lipídica mejora ligeramente la asimilación de proteína muscular. Esta información parece reforzar la teoría de que los lípidos permiten que la proteína sea destinada al crecimiento en vez de utilizarse para cubrir los requerimientos energéticos del animal.<sup>101</sup>

Finalmente es importante enfatizar que para determinar los requerimientos nutricionales de una especie, es necesario realizar numerosos ensayos y comparar dichos resultados. García-Guerrero *et al.*,<sup>102</sup> resalta la escasez de información existente sobre langostinos nativos de América Latina, en particular sobre temas de nutrición y composición bioquímica que representan solo el 5% de los estudios publicados sobre estos organismos.

Con base en los hallazgos del presente trabajo, se sugiere que los juveniles de langostino prieto *M. acanthurus* tienen una demanda de lípidos alrededor de 15% y de carbohidratos entre 20-40%.

## 10. CONCLUSIONES

La dieta con 15% de lípidos presentó la mejor ganancia de peso, tasa de crecimiento específica, conversión alimenticia y tasa de eficiencia proteica. La mejor supervivencia se obtuvo con la dieta que contenía 10% de lípidos. Estos resultados se asocian a que los lípidos son un nutriente esencial para los langostinos *M. acanthurus*, sin los cuales, el crecimiento es afectado negativamente. Conforme su inclusión en la dieta aumenta, el crecimiento y la supervivencia mejoran.

Las dietas con 20 y 30% de carbohidratos (L10-C19 y L5-C31) presentaron mejor conversión alimenticia y tasa de eficiencia proteica que la dieta con 40% de carbohidratos.

La variación de lípidos y carbohidratos en los tratamientos no afectó significativamente la deposición de proteína en músculo ni hepatopáncreas.

Con base en los resultados de este experimento y bajo las condiciones mencionadas en la presente investigación, se concluye que la dieta que presentó el mejor crecimiento para juveniles de *M. acanthurus* contenía 40% de proteína, 15% de lípidos y 8% de carbohidratos.

## 11. OBSERVACIONES

Con base en la experiencia obtenida en la presente investigación, se sugieren algunos puntos para ampliar el conocimiento sobre los requerimientos nutricionales de esta especie e implementar su cultivo en un futuro:

- Es necesario estudiar el contenido estomacal de juveniles de langostino prieto capturados en medio silvestre mediante un análisis microscópico y composición química proximal con el fin de elaborar dietas que cubran sus requerimientos nutricionales. Se puede utilizar la técnica de Lowry para proteína y extracción de cloroformo-metanol (descrita por Bligh y Dyer) para los lípidos si la cantidad de muestra es pequeña (<1 g).
- Es preciso realizar un perfil de ácidos grasos poliinsaturados: ácido linoleico (18:2 $\omega$ 6), ácido linolénico (18:3 $\omega$ 3), ácido eicosapentanoico (20:5 $\omega$ 3) y docosahexanoico (22:6 $\omega$ 3) en el hepatopáncreas y el músculo para determinar en qué cantidad deben ser aportados en la dieta de juveniles de langostino prieto para un óptimo crecimiento.
- Criar poslarvas de *M. acanthurus* bajo condiciones de laboratorio permitiría obtener resultados más confiables y con menor variación en la respuesta a dietas con diferente composición nutricional.
- El mejoramiento en la calidad de los refugios, utilizando toda la columna de agua y elementos como malla plástica o red además de colocar tubos de PVC en el fondo de los estanques, para reducir el canibalismo y la agresión en esta especie, mejorando la tasa de supervivencia.

- Considerar una población mayor de organismos o extender el tiempo de experimentación para obtener organismos más grandes con el objeto de reunir cantidad suficiente de muestra y realizar repeticiones (por lo menos duplicados) en los análisis de composición química corporal.

## 12. REFERENCIAS

1. Cifuentes L JL, Torres-García MDP, Frías MM. El cultivo de los crustáceos. In: El océano y sus recursos Vol. XI Acuicultura. México: FCE; 1997.
2. De los Santos RR, Silva RME, Ruiz VJ. Distribución, producción biológica y aprovechamiento de especies de la familia Palaemonidae en los humedales de Colotepec, Oaxaca, México. *Nat. y Desarro.* 2006;4(1):5-18.
3. Vega VF, García GMU, Cortés JE, Yamasaki GS, Montoya MCE, Vargas CMA *et. al.* Los camarones de agua dulce del género *Macrobrachium*: biología, ecología y explotación. In: Cifuentes L JL, Cupul MFG, ed. Temas sobre investigaciones costeras. México: Universidad de Guadalajara; 2014. p. 273-315.
4. Espinosa JL. El langostino: un alimento en peligro. Veracruz (México): Centro de Ecodesarrollo; 1986.
5. Lorán NRM. Aspectos poblacionales del langostino *Macrobrachium acanthurus* (Wiegmann, 1836) en algunos lugares de la cuenca baja del río Papaloapan, Veracruz, México [tesis de maestría]. Ciudad de México (MX): Universidad Nacional Autónoma de México; 2013.
6. Signoret G, Brailovsky P, Galera ES. Comportamiento osmorregulador de *Macrobrachium tenellum* y *Macrobrachium acanthurus* (Decapoda:Palaemonidae) en diferentes salinidades. *Rev Biol Trop.* 1997;45:1085–1091.
7. Díaz F, Sierra E, Denisse RA, Rodríguez L. Behavioural thermoregulation and critical thermal limits of *Macrobrachium acanthurus* (Wiegman). *J Therm Biol.* 2002;27:423–428.
8. PROFECO, 2016. Brújula de compra: Precios de alimentos en cuaresma. Ciudad de México, México. [Actualizado: 1 Mar 2016]
9. García GM, Becerril MF, Vega VF, Espinosa CLD. Los langostinos del género *Macrobrachium* con importancia económica y pesquera en América Latina: conocimiento actual, rol ecológico y conservación. *Lat Am J Aquat Res.* 2013;41:651–675.
10. FAO, 2017. Paneles de consulta en línea. Global Production Statistics 1950-2015. [Consultado el: 17-May-2017].
11. CONAPESCA, 2013. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2013. SAGARPA, México. [Consultado el: 09-Feb-2017]
12. Marques HLA, New MB, Villar BM, Pereira BH, Mallasen M, Valenti WC. Integrated freshwater prawn farming: state of the art and future potential. *Rev Fish Sci Aquac.* 2016;24(3):264-293.
13. NRC. Nutrient requirements for fish and shrimp. Washington DC (USA): National Academies Press; 2011.

14. Ceccaldi HJ. Anatomy and physiology of digestive tract of Crustaceans Decapods reared in aquaculture. *Aquac* 1989;9:243–259.
15. Felgenhauer BE. Internal Anatomy of the Decapoda: an overview. In: Harrison FW, Humes AG, ed. *Microscopic Anatomy of Invertebrates*. Vol. 10. New York (USA): Wiley-Liss, Inc; 1992. p. 45-75.
16. Bayer RC, Lee GM, Leavitt DF, Rittenburg JH. A radiographic study of the lobster (*Homarus americanus*) alimentary canal. *Proced World Maricul Soc*. 1979;10:561-564.
17. Davie PJF, Guinot D, Ng PKL. Anatomy and functional morphology of Brachyura. In: Castro P, Davie PJF, Guinot D, Schram FR, von Vaupel KJC, ed. *Treatise on zoology – Anatomy, taxonomy, biology. The Crustacea*. Vol. 9, Part C. Louisiana (USA): Brill; 2012. p. 11-165.
18. Vogt G. Differentiation of B-cells in the hepatopáncreas of the prawn *Penaeus monodon*. *Acta Zool*. 1993;74(1):51-60.
19. Rosas C, Bolongaro CA, Sánchez A, Gaxiola G, Soto L, Escobar E. Role of digestive gland in the energetic metabolism of *Penaeus setiferus*. *Biol Bull*. 1995;189:168-174
20. Saravana BP, Geraldine P. Histopathology of the hepatopancreas and gills of the prawn *Macrobrachium malcolmsonii* exposed to endosulfan. *Aquat Toxicol*. 2000;50:331-339.
21. Díaz AC, Sousa LG, Petriella AM. Functional cytology of the hepatopancreas of *Palaemonetes argentinus* (Crustacea, Decapoda, Caridea) under osmotic stress. *Braz Arch Biol Technol*. 2010;53(3):599-608.
22. Sousa LG, Cuartas EI, Petriella AM. Fine structural analysis of the epithelial cells in the hepatopáncreas of *Palaemonetes argentinus* (Crustacea, Decapoda, Caridea) in intermoult. *Biocell*. 2005;29(1):25-31.
23. Yamuna A, Saravana BP, Geraldine P. Ultrastructural observations in gills and hepatopáncreas of prawn *Macrobrachium malcolmsonii* exposed to mercury. *J Environ Biol*. 2009;30(5):693-699.
24. Verri T, Mandal A, Zilli L, Bossa D, Mandal PK, Ingrosso L, *et. al.* D-glucose transport in decapod crustacean hepatopancreas. *Comparative biochemistry and physiology. Part A. Mol Integr Physiol*. 2001;130:585–606.
25. Ribeiro K, Patrici PL, Vicentini CA, Franseschini-Vicentini IB. The ultrastructural evaluation of digestive cells in the hepatopáncreas of the Amazon river prawn, *Macrobrachium amazonicum*. *Aquac Res*. 2014:1-9.
26. Collins P. Environmental stress upon hepatopancreatic cells of freshwater prawn (Decapoda: Caridea) from the floodplain of Paraná River. *Nat Sci*. 2010;2(7):748-759.
27. Franceschini-Vicentini IB, Ribeiro K, Papa LP, Marques JJ, Vicentini CA, Valenti PMCM. Histoarchitectural features of the hepatopancreas of the

- Amazon river prawn *Macrobrachium amazonicum*. Int J Morphol. 2009;27:121–128.
28. Martin GG, Simcox R, Nguyen A, Chilingaryan A. Peritrophic membrane of the penaeid shrimp *Sicyonia ingentis*: structure, formation, and permeability. Biol Bull. 2006;211:275-285.
  29. Guillaume J. Terminology and methodology. In: Guillaume J, Métailier R, ed. Nutrition and feeding of fish and crustaceans. Saint-Pée-sur-Nivelle (FR): IFREMER; 1999. p. 9-16.
  30. Cuzon G, Rosas C, Gaxiola G, Taboada G, van Wormhoudt A. Utilization of carbohydrates by shrimp. In: Cruz SLE, Ricque MD, Tapia SM, Olvera NMA, Civera CR, ed. Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 2000:328-339.
  31. D'Abramo LR, New MB. Nutrition, feeds and feeding. In: New MB, Valenti WC, Tidwell JH, D'Abramo LR, Kutty MN, ed. Freshwater prawns: biology and farming. Iowa (USA): Blackwell Publishing Ltd; 2009. p. 218-238.
  32. Tamburus AF, Mossolin EC, Mantelatto FL. Population and reproductive aspects of *Macrobrachium acanthurus* (Wiegmann, 1836) (Crustacea: Palaemonidae) from north coast of Sao Paulo state, Brazil. Braz J Aquat Sci Technol. 2012;16(1):9-18.
  33. Takeuchi T, Murakami K. Crustacean nutrition and larval feed, with emphasis on japanese spiny lobster, *Panulirus japonicus*. Bull Fish Res Agen. 2007;20:15-23.
  34. Ackefors H, Castell JD, Boston LD, Rätty P, Svensson M. Standard experimental diets for crustacean nutrition research. II. Growth and survival of juvenile crayfish *Astacus astacus* (Linné) fed diets containing various amounts of protein, carbohydrate and lipid. Aquac. 1992;104:341-356.
  35. Cavalli RO, Lavens P, Sorgeloos P. Performance of *Macrobrachium rosenbergii* broodstock fed diets with different fatty acid composition. Aquac. 1999;179:387-402.
  36. Kangpanich C, Pratoomyot J, Siranonthana N, Senanan W. Effects of arachidonic acid supplementation in maturation diet on female reproductive performance and larval quality of giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). PeerJ 2016:e2735. DOI: 10.7717/peerj.2735
  37. Lima BR, Figueiredo LDF. Critical review: essential fatty acids on shrimp feeding. Sci Agrar Parana. 2016:236-243.
  38. D'Abramo LR. Nutritional requirements of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*: comparisons with species of penaeid shrimp. Rev Fish Sci. 1998;6:153-163.
  39. Molina C. Nutrient requirements. In: Nates S, ed. Aquafeed Formulation. Massachusetts (USA): Elsevier; 2015. p. 75-216.

40. Wang X, Li E, Chen L. A review of carbohydrate nutrition and metabolism in crustaceans. *N Am J Aquac.* 2016;78:178-187.
41. Sánchez PA, García CF, Muhlia AA, Peregrino UAB, Hernández LJ, Yepiz PG. Usage of energy reserves in crustaceans during starvation: status and future directions. *Insect Biochem Mol Biol.* 2006;36:241-249.
42. Liao IC, Liu FG. A brief review of nutritional studies for *Penaeus monodon*. *Adv Trop Aquac. Actes de Colloque 9. AQUACOP, IFREMER.* 1989:355-380.
43. Teshima S-I, Koshio S, Ishikawa M, Alam S, Hernández HLH. Protein requirements of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* evaluated by the factorial method. *J World Aquac Soc.* 2006;37(2):145-153.
44. Benítez MA., Ponce JT. Effects of different dietary of protein and lipid levels on the growth of freshwater prawns (*Macrobrachium carcinus*) broodstock. *Revista MVZ Córdoba.* 2014;19(1):3921-3929.
45. Bari TA, Ali R, Yasar A, Riaz G. Growth response of the freshwater prawn *Macrobrachium malcolmsonii* (juveniles) to isocaloric diets with variable protein levels. *Pakistan J Zool.* 2016;48(2):461-464.
46. Mojica VA, Hernández HLH, Fernández AMA, Ángeles LO. Contribution to the knowledge of nutrient requirements of the native freshwater prawn (*Macrobrachium acanthurus*). *Hidrobiol.* 2016;26(1):15-22.
47. Andrews JW, Sick LV, Baptist GJ. The influence of dietary protein and energy levels on growth and survival of penaeid shrimp. *Aquac.* 1972;1:341–347.
48. Deshimaru O, Kuroki K, Yone Y. The composition and level of dietary lipid appropriate for growth of prawn. *Nippon Suisan Gakkaishi.* 1979;45(5):591-594.
49. Bautista MN. The response of *Penaeus monodon* juveniles to varying protein/energy ratios in test diets. *Aquac.* 1986;53:229–242.
50. Sheen SS, D'Abramo LR. Response of juvenile freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, to different levels of a cod liver oil/corn oil mixture in a semi-purified diet. *Aquac.* 1991;93:121-134.
51. Johnston DJ, Calvert KA, Crear BJ, Carter CG. Dietary carbohydrate/lipid ratios and nutritional condition in juvenile southern rock lobster, *Jasus edwardsii*. *Aquac.* 2003;220:667-682.
52. Gaxiola G. Requerimientos nutricionales de las postlarvas de *Penaeus setiferus* y *P. duorarum* (Crustacea:Peneidae) [tesis de doctorado]. Ciudad de México (MX): Universidad Nacional Autónoma de México;1994.
53. Hernández AGY. Diferentes niveles de lípidos en la dieta de hembras del langostino nativo *Macrobrachium acanthurus* y su efecto en la calidad del huevo [tesis de maestría]. Ciudad de México (MX): Universidad Nacional Autónoma de México;2016.
54. New MB. A review of dietary studies with shrimp and prawns. *Aquac.* 1976;9:101-144.

55. Abdel-Rahman SH, Kanazawa A, Teshima S-I. Effects of dietary carbohydrate on the growth and the levels of the hepatopancreatic glycogen and serum glucose of prawn. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 1979;45:1491-1494.
56. Piedad- Pascual F. Effect of supplemental lecithin and lipid sources on the growth and survival of *Penaeus monodon* juveniles. In: Asia Fisheries Society. Proceedings of the First Asian Fisheries Forum. Manila (PHI):1986. p. 615-618.
57. Noborikawa DK. The determination of cellulose in the giant malaysian prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Proc Natl Shellfish Assoc*. 1978.
58. Piedad-Pascual F, Coloso RM, Tamse CT. Survival and some histological changes in *Penaeus monodon* Fabricius juveniles fed various carbohydrates. *Aquac*. 1983;31(2-4):169-180.
59. Alava VR, Piedad-Pascual F. Carbohydrate requirements of *Penaeus monodon* (Fabricius) juveniles. *Aquac*. 1987;61(3-4):211-217.
60. Felix N, Jeyaseelan MJ. Influence of dietary lipid to carbohydrate ratios on the growth and food conversion of postlarvae of *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Indian J Fish*. 2005;52(1):55-60.
61. Wang X, Li E, Xu C, Qin JG, Wang S, Chen X, *et. al*. Growth, body composition, ammonia tolerance and hepatopáncreas histology of white shrimp *Litopenaeus vannamei* fed diets containing different carbohydrate sources at low salinity. *Aquac Res*. 2016;47(6):1932-1943.
62. Ding ZL, Kong YQ, Li JF, Cao F, Zhang YX, Du ZY, *et. al*. Growth and metabolic response of juvenile *Macrobrachium nipponense* to different dietary carbohydrate levels. *Aquac Nutr*. 2017:1-9.
63. Méndez Y, Yamasaki S, García M, Martínez LR, Rivas ME, Arcos FG *et. al*. Effect of dietary protein content on growth rate, survival and body composition of juvenile cauque river prawn, *Macrobrachium americanum* (Bate 1868). *Aquac Res*. 2016;47(10):1-11.
64. Zhang NN, Ma QQ, Fan WJ, Xing Q, Zhao YL, Chen LQ *et. al*. Effects of the dietary protein to energy ratio on growth, feed utilization and body composition in *Macrobrachium nipponense*. *Aquac Nutr*. 2016;22(1):1-9.
65. Ferdose A, Hossain MB. Nutritional value of wild, cultured and frozen prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879). *Int J Nat Sci*. 2011;1(2):52-55.
66. Rangappa A, Raj Kumar T, Jaganmohan P, Srinivasulu Reddy M. Studies on the proximal composition of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* and *Macrobrachium malcomsonii*. *World J Fish and Mar Sci*. 2012;4(2):218-222.
67. New MB, D'Abramo LR, Valenti WC, Singholka S. Sustainability of freshwater prawn culture. In: New MB, Valenti WC, Tidwell JH, D'Abramo LR, Kutty MN, ed. *Freshwater Prawns: Biology and Farming*. Iowa (USA): Blackwell Publishing Ltd; 2010. p. 524-530.

68. Hernández HLH, Teshima SI, Ishikawa M, Koshio S. Effects of dietary vitamin A on juvenile red sea bream *Chrysophrys major*. J World Aquac Soc. 2004;35:436-444.
69. Cho CY, Slinger SJ, Bayley. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. Comp Biochem Physiol. 1982;73B(1):25-41.
70. AVMA. Guidelines for the Euthanasia of Animals. USA:2013.
71. Boyd C, Zimmerman S. Grow-out Systems – Water Quality and Soil Management. In: New MB, Valenti WC, Tidwell JH, D'Abramo LR, Kutty MN, ed. Freshwater Prawns: Biology and Farming. Iowa (USA): Blackwell Publishing Ltd; 2010. p. 524-530.
72. FAO, 2004. Cultured Aquatic Species Information Programme. *Macrobrachium rosenbergii*. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. [Acceso: 30 May 2017]
73. Chen S, Chen J. Effects of pH on survival, growth, molting and feeding of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. Aquac. 2003;218:613-623.
74. Mallasen M, Valenti WC. Larval development of the giant river prawn *Macrobrachium rosenbergii* at different ammonia concentrations and pH values. J World Aquac Soc. 2005;36(1):32-41.
75. FAO, 1993. Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos. [Acceso: 17 Mar 2016]
76. AOAC. Official Methods of Analysis. 17th edition. Virginia (USA):2002.
77. Bligh EG, Dyer WJ. A rapid method of total lipid extraction and purification. Can J Biochem Physiol. 1959;37:911-917.
78. Peterson GL. A simplification of the protein assay method of Lowry *et al.* which is more generally applicable. Anal Biochem. 1977;83:346-356.
79. Lugert V, Thaller G, Tetens J, Schulz C, Krieter J. A review on fish growth calculation: multiple functions in fish production and their specific application. Rev Aquac. 2016;8:30-42.
80. Aguillón HOE. Suplementación de metionina y taurina en dietas para trucha arcoiris *Onchorhynchus mykiss* formuladas con proteína vegetal y su efecto sobre el crecimiento y otras respuestas metabólicas [tesis de maestría]. Ciudad de México (MX): Universidad Nacional Autónoma de México; 2015.
81. Cazares SR. Efecto de la sustitución de una mezcla soya-trigo por pastas de coco (*Cocus nucifera*) sobre la supervivencia y el crecimiento de juveniles de camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) [tesis de licenciatura]. Ciudad de México (MX): Universidad Nacional Autónoma de México; 2013.
82. Kitabayashi K, Kurata H, Shudo K, Nakamura K, Ishikawa S. Studies of formula feed for kuruma prawn I: On the relationship among glucosamine, phosphorus and calcium. Bull Tokai Reg Fish Res Lab. 1971;65:91-107.

83. Nalawade VB, Bhilave MP. Protein efficiency ratio (PER) and gross food conversion efficiency (GFCE) of freshwater fish *Labeo rohita* fed on formulated feed. *Bioscan* 2011;6(2):301-303.
84. Zar JH. *Biostatistical Analysis*. 5<sup>th</sup> ed. Pearson Prentice Hall. New Jersey (USA):2010.
85. [AnalysisSoft, Inc]. *StatPlus for Mac OS versión v5.9.33*. USA:2015.
86. Doupé RG, Lymbery AJ. Toward the genetic improvement of feed conversion efficiency in fish. *J World Aquac Soc.* 2003;34(3):245-254.
87. Yamasaki GS, García GM, Vega VF, Castellanos LF, Cavalli RO, Cortés JE. Experimental culture of the river prawn *Macrobrachium americanum* larvae (Bate, 1986), with emphasis on feeding and stocking density effect on survival. *Lat Am J Aquat Res.* 2013;41(4):793-800.
88. Shyn-Shin S., Sheng-Wei W. The effects of dietary lipid levels on the growth response of juvenile mud crab *Scylla serrata*. *Aquac.* 1999;175:143-153.
89. Young-Chul K, Romano N, Chaiw-Yee T, Wing-Keong N. Effects of two dietary lipid sources at two levels on the survival, growth and fatty acid composition of the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *J Sci Tech.* 2014;6:1-16.
90. Goda AM. 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. *Aquac Res.* 2008;39:891-901
91. Ahamad-Ali S. Relative efficiencies of different lipids and lipid levels in the diet of the prawn *Penaeus indicus*. *Indian J Fish.* 1990;37(2): 119-128.
92. Singh RP, Nose T. 1967. Digestibility of carbohydrates in young rainbow trout. *B Fresh Fish Res Lab.* 1967;17:21-25
93. Catacutan MR. Growth and fatty acid composition of *Penaeus monodon* juveniles fed various lipids. *Isr J Aquac.* 1991;43:47-56.
94. Stone DAJ. Dietary carbohydrate utilization by fish. *Rev Fish Sci.* 2003;11(4):337-369.
95. Gómez DG, Nakagawa H. Effects of dietary carbohydrates on growth and body components of the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquat Living Resour.* 1990;3:99-105.
96. D'Abramo. Lipid requirements of shrimp. *Adv Trop Aquac, AQUACOP, IFREMER, Actes Colloq.* 1989;(9):737-750.
97. Gutiérrez A, Nieto J, Pozo F, VandenBosh L, van Soest S, Schoofs L. Characterization of insulin-like peptides and their relation to molt and metabolism of the shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Avances en Nutrición Acuicola IX. IX Simposio Internacional de Nutrición Acuicola.* (Nov 24-27, 2008). p. 424-454.
98. Brauge C, Medale F, Corraze G. Effect of dietary carbohydrate levels on

- growth, body composition and glycaemia in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, reared in seawater. *Aquac.* 1994:123(1-2):109-120.
99. Habashy MM. Growth and body composition of juvenile freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, fed different dietary protein/starch ratios. *Glob Vet.* 2009.3(1):45-50.
100. Guo R, Liu YJ, Tian LX, Huang JW. Effect of dietary cornstarch levels on growth performance, digestibility and microscopic structure in the white shrimp, *Litopenaeus vannamei* reared in brackish water. *Aquac Nutr.* 2006:12: 83-88.
101. Watanabe T. Strategies for further development of aquatic feeds. *Fish Sci.* 2002:68:245-252.
102. García GM, Becerril MF, Vega VF, Espinosa CLD. The *Macrobrachium* prawns with economic and fisheries importance in Latin America: present knowledge, ecological role, and conservation. *Lat Am J Aquat Res.* 2013:41(4):651-675.