



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA**  
**EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL**  
**UNIDAD SINALOA**



Análisis de variables predictivas para el Índice de  
Eficiencia de Producción utilizando alimentos  
comerciales para camarón blanco *Litopenaeus*  
*vannamei*.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN  
RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

PRESENTA

JOHN SEBASTIÁN BARRAZA LOPEZ

GUASAVE, SINALOA; MÉXICO DICIEMBRE DE 2012



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA CESIÓN DE DERECHOS*

En la Ciudad de Guasave el día 4 del mes diciembre del año 2012, el (la) que suscribe John Sebastián Barraza López alumno (a) del Programa de Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente con número de registro B101447, adscrito a CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Juan Carlos Sainz Hernández y cede los derechos del trabajo intitulado Análisis de variables predictivas para el Índice de Eficiencia de Producción utilizando alimentos comerciales para camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección johnb28@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

JOHN BARRAZA  
John Sebastián Barraza López

Nombre y firma



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Guasave siendo las 10:00 horas del día 4 del mes de Diciembre del 2012 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR-Sinaloa para examinar la tesis titulada: Análisis de variables predictivas para el Índice de Eficiencia de Producción utilizando alimentos comerciales para camarón blanco *Litopenaeus vannamei*.

Presentada por el alumno:

Barraza López John Sebastián  
Apellido paterno Apellido materno Nombre(s)

Con registro: 

B	1	0	1	4	4	7
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISIÓN REVISORA

Director(a) de tesis

Dr. Juan Carlos Sainz Hernández

Dr. Nancy Rodríguez González

Dr. Adolfo Dagoberto Armenta Bojórquez

Dr. Mario Alonso Bueno Ibarra

Dr. César Marcial Escobedo Bonilla

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dr. Jorge Montiel Montoya



**CIIDIR - IPN**  
UNIDAD SINALOA  
DIRECCION



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

México, D.F. a 9 de noviembre del 2012

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR-Sinaloa en su sesión ordinaria No. 11 celebrada el día 9 del mes de noviembre conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

<u>Barraza</u>	<u>López</u>	<u>John Sebastián</u>							
<small>Apellido paterno</small>	<small>Apellido materno</small>	<small>Nombre (s)</small>							
Con registro: <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">B</td> <td style="padding: 2px 5px;">1</td> <td style="padding: 2px 5px;">0</td> <td style="padding: 2px 5px;">1</td> <td style="padding: 2px 5px;">4</td> <td style="padding: 2px 5px;">4</td> <td style="padding: 2px 5px;">7</td> </tr> </table>			B	1	0	1	4	4	7
B	1	0	1	4	4	7			

Aspirante de: Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:  
Análisis de variables predictivas para el Índice de Eficiencia de Producción utilizando alimentos comerciales para camarón blanco *Litopenaeus vannamei*.

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

- Análisis químico proximal de 22 alimentos comerciales más utilizados por los productores.
- Evaluación del desempeño de los alimentos mediante el Índice de Eficiencia de Producción.
- Análisis de variables predictivas del IEP que pudieran ahorrar tiempo y esfuerzo.

2.- Se designa como Director de Tesis al Profesor:  
Dr. Juan Carlos Sainz Hernández

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesina será elaborado por el alumno en:  
CIIDIR-Sinaloa

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

Director(a) de Tesis

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Carlos Sainz Hernández

Aspirante

Presidente del Colegio

  
\_\_\_\_\_  
L. B. John Sebastian Barraza López

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Jorge Montiel Montoya

**CIIDIR - IPN**  
UNIDAD SINALOA  
DIRECCIÓN



## RECONOCIMIENTO A PROYECTOS Y BECAS

El trabajo de tesis se desarrolló en el Departamento de **Acuacultura** del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Sinaloa del Instituto Politécnico Nacional (IPN). El presente trabajo fue apoyado económicamente a través del Proyecto Fordecyt (Con número de registro SIP-2010-RE/115). El alumno **John Sebastián Barraza López** fue apoyado con una beca del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) con clave **366471**.

El autor agradece el apoyo económico brindado por el Instituto Politécnico Nacional como becario del Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) y por el apoyo económico brindado a través de la Beca Tesis del programa de becas institucionales de posgrado.

Un agradecimiento también al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgado para la terminación de la presente tesis.

*La Sabiduría es la única puerta hacia el Camino y la Ciencia en mi alma,  
que guiarán mi espíritu y me conducirán a la Perfección.*

*Sophia, creo en ti, en tu luz que brilla dentro de mi alma,  
siento el sol desde lo alto,  
Sophia creo en ti, tu luz es tan brillante...*

## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

A mi esposa **Yaremy Marbetth Navarro Sigala**, por impulsarme desde el primero día a ser el estudiante decidido que necesitaba ser, por escucharme atentamente cada vez que te hablé de mis bioensayos y análisis de laboratorio y por no aburrirme con los temas desconocidos para ti. Tus consejos y paciencia es lo que más me ha ayudado a salir adelante en estos años, el compartir nuestros sueños ha sido vital. Sobre todo, gracias por creer en mí. Tu sonrisa es lo que me hace querer un futuro mejor, te amo.

A mis padres **Ruben Barraza Rojas** y **María Elizabeth López Arce** por su grande, amoroso e incondicional apoyo en los caminos que he decidido tomar aun cuando hemos tenido que pagar con la distancia que nos separa, sin embargo, siempre están conmigo compartiendo cada momento de mi vida, los quiero. A mis hermanos **Elizabeth Penélope Barraza López**, **Gina Lizbeth Rivera López**, **Marbella Ibeth Rivera López** por su apoyo moral y en los tiempos difíciles económico y a **Bryan Barraza López** por cuidar de nuestros padres durante todos los años que no lo hemos podido hacer los demás, gracias.

A mis suegros **Fernando Navarro** y **Mayela Sigala** y cuñadas **Graciela** e **Ivonne**, que en el corto tiempo de conocerlos me aceptaron y se convirtieron en mi nueva familia, gracias por todo.

Al **Dr. Juan Carlos Sainz Hernández** mi director de tesis por adoptarme como alumno, ayudarme en todo y ser mi guía durante toda la maestría, por inculcarme los hábitos de lectura, la constancia y perseverancia.

A los **Doctores Hervey Rodríguez González**, **Adolfo Dagoberto Armenta Bojórquez**, **Mario Alonso Bueno Ibarra** y **César Marcial Escobedo Bonilla** que formaron parte de mi comité tutorial, comité revisor y por fungir como sinodales de

examen de grado. Muchas gracias por sus comentarios, sugerencias y aportaciones en cada uno de los tutoriales así como en la revisión de mi tesis.

A mis valiosos ayudantes del proyecto: **Karina, Anayatzin, Mireya y Francisco** porque el trabajo que requirieron los bioensayos fue mucho más agradable al compartirlo con ustedes.

Al **Ing. en Acuicultura Arturo Polanco Torres**, al **M. en C. Arturo Fierro Coronado**, a la **Biól. Ely Sara López Álvarez**, al **M. en C. Luis Daniel García** y al **M. en C. Guillermo Lara** por su valiosa ayuda durante mis bioensayos y trabajo de laboratorio, por los consejos técnicos de manejo de organismos y por las pequeñas aportaciones que valen oro.

A mis compañeros y amigos de generación: **Fátima, Sheila, Tomás, Styll, José Luis, Rocío, Elizeth, Magnolia, Joaquín, Lizeth, Viridiana, Jazmín, Lalo, Alfredo, José Pedro**, sin ustedes la maestría no hubiera sido igual, gracias por los buenos momentos vividos.

A **Dorín Ortiz** y **Don Roberto Urias** por su asesoría, ayuda y paciencia en todos los trámites requeridos semestre a semestre.

Al **CIIDIR-Sinaloa** por el apoyo, orientación y espacio brindados durante mi formación como Maestro en Recursos Naturales y Medio Ambiente y por convertirse día a día en un centro de investigación del que me puedo sentir orgulloso de pertenecer.

A las camaroneras “**Acuícola Cuate Machado**” y “**Camaronera Styll**” y a **Adolfo Ramírez** y **Styll de Jesús Armenta Soto** por los organismos proporcionados para realización del presente trabajo.

**¡Gracias totales!**



## ÍNDICE

GLOSARIO .....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE CUADROS .....	XIII
RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT.....	XV
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES .....	8
III. JUSTIFICACIÓN .....	13
IV. OBJETIVOS .....	14
V. HIPÓTESIS.....	15
VI. MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
<b>6.1 Condiciones generales de experimentación.....</b>	<b>16</b>
6.1.1 Alimentos comerciales .....	16
6.1.2 Análisis químico proximal de los alimentos comerciales.....	16
6.1.3 Obtención de los organismos.....	17
6.1.4 Mantenimiento y operación en laboratorio .....	17
<b>6.2 Bioensayos .....</b>	<b>18</b>
6.2.1 Bioensayo 1. Determinación de los índices de eficiencia de producción de los alimentos comerciales para camarón, su IHS, su proteína total en glándula digestiva y su actividad total de tripsina. ....	18
6.2.1.1 Medición de los Índices de Eficiencia de Producción de los alimentos comerciales para camarón.....	18
6.2.1.2 Evaluación el Índice Hepatosomático para cada uno de los grupos alimentados .....	19

6.2.1.3 Análisis de la proteína total en glándula digestiva .....	19
6.2.1.4 Determinación de la actividad total enzimática de tripsina.....	20
6.2.2 Bioensayo 2. Análisis de los grados de hidrólisis de los alimentos comerciales para camarón mediante ensayos de digestibilidad in vitro.....	21
6.2.2.1 Obtención de las glándulas digestivas.....	21
6.2.2.2 Preparación de la mezcla enzimática y determinación de la actividad enzimática del homogeneizado .....	21
6.2.2.3 Condiciones de digestión.....	22
6.2.3 Bioensayo 3. Evaluar la retención de nitrógeno o ecoeficiencia en camarón de cada uno de los alimentos comerciales .....	22
<b>6.3 Correlación de variables predictivas con el índice de eficiencia de producción.....</b>	<b>23</b>
6.3.1 Análisis estadístico.....	23
<b>VII. RESULTADOS .....</b>	<b>25</b>
<b>7.1 Condiciones experimentales.....</b>	<b>25</b>
7.1.1 Parámetros fisicoquímicos de los bioensayos.....	25
7.1.2 Análisis químico proximal de los alimentos comerciales.....	26
<b>7.2 Bioensayos .....</b>	<b>27</b>
7.2.1 Bioensayo 1. Determinación de los índices de eficiencia de producción de los alimentos comerciales para camarón, su IHS, su proteína total en glándula digestiva y su actividad total de tripsina.....	27
7.2.1.1 Determinación de los Índices de Eficiencia de Producción de los alimentos comerciales para camarón .....	27
7.2.1.2 Evaluación el Índice Hepatosomático para cada uno de los grupos alimentados .....	29
7.2.1.3 Análisis de la proteína total en glándula digestiva .....	30

7.2.1.4 Determinación de la actividad total enzimática de tripsina en toda la glándula digestiva .....	31
7.2.2 Bioensayo 2. Análisis de los grados de hidrólisis de los alimentos comerciales para camarón mediante ensayos de digestibilidad in vitro.....	32
7.2.3 Bioensayo 3. Evaluar la retención de nitrógeno o ecoeficiencia en camarón de cada uno de los alimentos comerciales .....	34
<b>7.3 Analizar la correlación de todas las variables predictivas con el índice de eficiencia de producción .....</b>	<b>36</b>
<b>VIII. DISCUSIÓN .....</b>	<b>39</b>
<b>IX. CONCLUSIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>X. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>48</b>

## **GLOSARIO**

### **Aclimatación**

Ajuste de los organismos a una determinada condición del ambiente.

### **Acuicultura**

Cultivo de organismos acuáticos en áreas continentales o costeras. El cultivo implica alguna forma de intervención en el proceso de cría para aumentar la producción, tales como el aprovisionamiento regular, la alimentación, la protección contra depredadores, etc., así como la propiedad individual o colectiva del lote que se cultiva.

### **Aireación**

Mezcla mecánica de aire y agua; en general se refiere a un proceso mediante el cual los gases contenidos en el aire son transferidos a través de la interfase aire-agua.

### **Biomasa**

Cualquier estimación cuantitativa de la masa total de organismos que comprende toda o una parte de una población o cualquier otra unidad dada, o dentro de un área en un momento determinado; medida como volumen, masa (peso vivo, muerto, seco o libre de cenizas) o energía (joules o calorías).

### **Capacidad catalítica**

Es la eficiencia con la cual una enzima cataliza una reacción en particular.

### **Contaminación**

La presencia de una sustancia en el ambiente que debido a su composición química o cantidad retarda el funcionamiento de procesos naturales y produce efectos ambientales indeseables.

### **Conversión alimenticia**

Es la medida del peso del camarón producido por kilogramo de alimento abastecido y se calcula mediante el peso del alimento suministrado y el peso final de los organismos.

### **Crecimiento**

Proceso normal de aumento de tamaño de un tejido, órgano, organismo, población y/o biomasa.

### **Cultivo**

Implica algún tipo de intervención humana en el proceso de cría, con el objetivo de mejorar la producción. Tal intervención debería incluir estrategias como la repoblación sostenida y la alimentación así como la propiedad de los animales, por parte de un individuo o una sociedad.

### **Cultivo intensivo**

Caracterizada por (i) producción de hasta 200 toneladas por hectárea por año; (ii) alto grado de control; (iii) altos costos iniciales, alto nivel tecnológico y alta eficiencia productiva; (iv) tendencia a independizarse del clima y de la calidad del agua del sitio; (v) uso de sistemas de cultivo artificiales.

### **Cultivo semi-intensivo**

Sistema de producción caracterizado por una producción de 2 a 20 toneladas por hectárea por año, que depende fuertemente del alimento natural que es incrementado por fertilización, o también mediante la adición de alimento suplementario, abastecimiento con juveniles silvestres capturados o producidos en laboratorios, uso regular de fertilizantes orgánicos o inorgánicos, abastecimiento de agua de mareas o de lluvia, monitoreo simple de la calidad del agua. Se realiza por lo general en estanques tradicionales o mejorados y también en simples sistemas de jaulas.

### **Densidad de siembra**

Expresa generalmente el número de animales por unidad de área, o el peso de los animales por unidad de volumen de agua en el momento de la siembra.

### **Electroforesis**

Separación de moléculas cargadas en un campo eléctrico por la migración diferencial a través de un gel, de acuerdo a su tamaño y su carga iónica.

### **Enzima**

Biomolécula, proteína o RNA que cataliza la reacción química de sustratos sin ser autodestruida o alterada al final de la reacción.

### **Extracto etéreo**

En la determinación bromatológica de grasas, la cantidad de estas se miden después de la extracción por solvente. Pueden hacerse ya sea con éter etílico anhidro o éter de petróleo. Para el análisis proximal de materias vegetales, siempre debe hacerse referencia al extracto etéreo y no al de grasa, para designar a la porción extraída, esto se debe a que además de grasa, el éter extrae las grasas verdaderas (glicéridos), ácidos grasos, cétidos, esteroides, pigmentos, etc.

### **Extracto libre de nitrógeno (E.L.N.)**

Dentro de este concepto se agrupan todos los nutrientes evaluados dentro del análisis proximal (proteína, extracto etéreo, fibra cruda y cenizas) constituido principalmente por carbohidratos digeribles, así como también vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados. Se calcula con la fórmula  $E.L.N. = 100 - (\% \text{ proteína} + \% \text{ extracto etéreo} + \% \text{ ceniza} + \% \text{ fibra cruda})$ .

### **Factor de conversión alimenticia**

Estima la cantidad de alimento (g) consumido para producir una cantidad de peso del organismo.

**Fibra cruda**

Son todas las sustancias orgánicas que están formadas principalmente por glúcidos estructurales vegetales, tales como celulosa (90%) y hemicelulosa, pero también contienen algo de lignina, que es una sustancia muy poco digestible que se relaciona con la porción fibrosa de los tejidos vegetales.

**Glándula digestiva**

Órgano secretor de enzimas digestivas en organismos invertebrados.

**Heces**

Residuos de comida no digeridos, junto con residuos de secreciones, bacterias, etc. que se expulsan del canal alimentario, a través del ano.

**Hepatopáncreas**

Órgano de digestión compuesto de ductos ciliados y de túbulos cerrados en los extremos, que segrega enzimas digestivas a través del epitelio del túbulo digestivo; también responsable de la liberación de subproductos metabólicos y de otros desechos moleculares o microbianos.

**Hidrólisis**

Partición de un compuesto en fragmentos por la adición de agua, el grupo hidroxilo incorporado en un fragmento y el átomo de hidrógeno en el otro.

**Homocedasticidad**

Supuesto en el que las variables dependientes tienen los mismos niveles de dispersión desde el punto de vista de la variable independiente.

***In vitro***

Latín (con) se refiere a la técnica de realizar un experimento dado en un tubo de prueba, o generalmente, en condiciones controladas.

**In vivo**

Latín (con) significa dentro de un organismo. En ciencia, *in vivo* refiere a la experimentación hecha en un organismo entero, vivo.

**Ingrediente**

Materia prima u otro compuesto de la fórmula de un alimento.

**Intermuda**

Estado entre mudas. Período de crecimiento temprano de un crustáceo juvenil.

**Materia seca**

Es la forma habitual de medir el peso de la materia sin la humedad, la biomasa es el peso de la materia, que por lo general se expresa como el contenido de materia seca.

**Muda**

Nombre común de la exuvia, por ej., el desprendimiento del exoesqueleto de artrópodos, crustáceos en particular.

**Nutrición**

Conjunto de procesos físicos y químicos que suministran la energía necesaria para los organismos y proporcionan las moléculas básicas para su organización estructural y funcional.

**Óxido de cromo**

Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, óxido de cromo (III) u óxido crómico; compuesto químico cuyo estado de oxidación más alto es el +6, aunque estos compuestos son muy oxidantes; es un marcador inerte indigerible empleado en los estudios de digestibilidad que no afecta a los procesos de digestión y aprovechamiento de los nutrimentos.



**Oxígeno disuelto**

La cantidad de oxígeno (mg/L; O<sub>2</sub>), en solución en el agua bajo la presión atmosférica existente, temperatura y salinidad.

**Producción**

Generación de biomasa expresada por unidades de área y de tiempo como, por ejemplo, 400 kg por hectárea por año.

**Proteína**

Macromolécula compuesta por una o varias cadenas polipeptídicas de más de 100 aminoácidos, cada una de las cuales tiene una secuencia característica de aminoácidos, unidos por enlaces peptídicos. Las proteínas ceden sus aminoácidos tras una hidrólisis, para ser asimilados y ayudar a la reconstrucción de proteína en los ribosomas de las células corporales.

**Proteína cruda**

Fracción que incluye la proteína verdadera y el nitrógeno no proteico presentes en ingredientes y alimentos. Se expresa porcentualmente como proteína cruda (nitrógeno total x 6.25), ya que los alimentos contienen alrededor del 16% de nitrógeno ( $100/16=6.25$ ).

**Supervivencia**

Capacidad de resistencia de los organismos a eventos desfavorables tales como enfermedades, cambios climáticos, inanición, etc.

**Tasa de crecimiento**

Aumento en la talla de un individuo o de una población durante un período de tiempo en relación con su talla inicial, usualmente expresado como porcentaje.

## **Tripsina**

Proteinasa que activa los zimógenos de otras proteinasas como las quimiotripsinas, carboxipeptidasas y aminopeptidasas. Se encuentran en el sistema digestivo de la mayoría de los organismos heterótrofos.

## ÍNDICE DE FIGURAS

No. de Figura	Título	Página
Figura 1.	Índice de Eficiencia de Producción obtenido de cada alimento comercial. Promedios de $n = 3$ . Barras de error = EE. Las barras con distinta letra indican diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ). .....	27
Figura 2.	Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el crecimiento semanal a diferente cantidad de proteína en base seca de cada uno de los 22 alimentos comerciales. ....	28
Figura 3.	Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el crecimiento semanal a diferente Índice de Eficiencia de Producción (IEP) de cada uno de los 22 alimentos comerciales. ....	28
Figura 4.	Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el Índice de Eficiencia de Producción (IEP) a diferente factor de conversión alimenticia (FCA) de cada uno de los 22 alimentos comerciales. ....	29
Figura 5.	Índice Hepatosomático obtenido para cada uno de los grupos alimentados con los alimentos comerciales. Promedios de $n \approx 30$ . Barras de error = EE. Las barras con distinta letra indican diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ). ....	30
Figura 6.	Proteína total en glándula digestiva (mg/ml) para algunos grupos alimentados con alimentos comerciales escogidos al azar. Promedios de $n \approx 30$ . Barras de error = EE. Las barras con distinta letra indican diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ). ....	31
Figura 7.	Actividad total de tripsina (absorbancia <sub>410</sub> /min de reacción/volumen total de GD) para algunos grupos alimentados con alimentos comerciales escogidos al azar. Promedios de $n \approx 30$ . Barras de error = EE. Las barras con distinta letra indican diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ). ....	32
Figura 8.	Digestibilidad <i>in vitro</i> (DH %) para cada uno de los grupos alimentados con los 22 alimentos comerciales. Promedios de $n = 3$ . Barras de error = EE. Las barras con distinta letra indican diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ). ....	33

Figura 9. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el grado de hidrólisis a diferente contenido de proteína en base seca de los 22 alimentos comerciales.....	33
Figura 10. Ecoeficiencia para cada uno de los grupos alimentados con los 22 alimentos comerciales. Promedios de n = 3. Barras de error = EE. Las barras con distinta letra indican diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ).....	34
Figura 11. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el factor de conversión alimenticia (FCA) a diferente porcentaje de ecoeficiencia en cada uno de los 22 alimentos comerciales analizados.....	35
Figura 12. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el crecimiento semanal a diferente porcentaje de ecoeficiencia en cada uno de los 22 alimentos comerciales analizados.....	35
Figura 13. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el Índice de Eficiencia de Producción a diferente Índice Hepatosomático de los 22 alimentos comerciales.....	36
Figura 14. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el Índice de Eficiencia de Producción a diferente cantidad de Proteína Total en la Glándula Digestiva (mg/ml). .....	36
Figura 15. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el Índice de Eficiencia de Producción a diferente la Actividad Total de Tripsina en toda la Glándula Digestiva (absorbancia <sub>410</sub> /min de reacción/volumen total de GD)..	37
Figura 16. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el Índice de Eficiencia de Producción a diferente Grado de Hidrólisis (DH%) para cada uno de los 22 alimentos comerciales.....	37
Figura 17. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el amonio producido a diferente Índice de Eficiencia de Producción para cada uno de los 22 alimentos comerciales analizados. ....	38
Figura 18. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta la ecoeficiencia a diferente Índice de Eficiencia de Producción para cada uno de los 22 alimentos comerciales analizados.....	38

## ÍNDICE DE CUADROS

No. de Cuadro	Título	Página
Cuadro 1.	Digestibilidad aparente de materia seca (DAMS %) y proteína para <i>Litopenaeus vannamei</i> . (Akiyama <i>et al.</i> , 1988).....	9
Cuadro 2.	Parámetros fisicoquímicos de los bioensayos 1 y 3. Temperatura, oxígeno disuelto, salinidad y pH. Promedio $\pm$ error estándar (EE).....	25
Cuadro 3.	Los resultados obtenidos para cada uno de los 22 alimentos comerciales en el análisis químico proximal. El porcentaje de proteína, fibra cruda, extracto etéreo, cenizas, extracto libre de nitrógeno y energía. Promedio $\pm$ error estándar (EE). .....	26

## RESUMEN

La camaronicultura ha crecido hasta ser la actividad de producción de alimento animal más importante en cuanto a sus posibles alcances. En sistemas semi-intensivos e intensivos se requiere del suministro de cantidades considerables de alimentos artificiales llegando a representar hasta un 60% del costo total de producción. Las dietas completas para camarones deben contener la energía, proteína y todos los elementos nutritivos necesarios para el buen desarrollo y crecimiento de estos. Las fuentes de los nutrientes pueden variar según los insumos utilizados en su preparación. Se deben evaluar las variables más importantes tomadas en cuenta para medir la producción. En animales terrestres se ha aplicado el Índice de Eficiencia de Producción (IEP) en donde se incluyen todas ellas, por lo que se ha decidido aplicarla a la acuicultura. A pesar de ser una variable importante se pretende buscar variables de predicción del IEP para encontrar alguna que acorte el tiempo y esfuerzo pero que aun así refleje el resultado que tendrá el alimento. Éste estudio se centra en analizar posibles variables predictivas para el IEP utilizando las principales marcas de alimento comercial para camarón utilizadas en la región para así dar un panorama del desempeño de los alimentos comerciales a la par de encontrar cual de las posibles variables predictivas funcionaría mejor. Se midió el IEP y las posibles variables predictivas que fueron el Índice Hepatosomático, la Retención de Nitrógeno como Ecoeficiencia, la Proteína en Glándula Digestiva y Actividad Total de Tripsina en toda la Glándula Digestiva y la Digestibilidad *in vitro*. Como resultado, las variables que no podrían usarse como predictivas del IEP son el Índice Hepatosomático, la Ecoeficiencia y la Digestibilidad *in vitro*. Las variables que están más relacionadas con el IEP son la Proteína en la Glándula Digestiva en conjunto con la Actividad Total de Tripsina en toda la Glándula digestiva ya que presentaron correlación significativa con el IEP.

Palabras clave: Predicción, Eficiencia de Producción, *Litopenaeus vannamei*.

## ABSTRACT

Shrimp farming has grown to be the most important animal production activity. Semi-intensive and intensive systems require considerable amounts of artificial feed supply representing up to 60% of the total production cost. A complete diet for shrimp should contain the energy, protein and all the nutrients needed for their growth and development. The sources of nutrients can vary according to the supplies used in their preparation. An evaluation should be done to the most important variables taken into account to measure production. In terrestrial animals the Production Efficiency Index (PEI) has been applied, which includes all of them, so it is decided to apply to aquaculture. Despite being an important variable, it is intended to search for prediction variables of PEI to find one that shortens the time and effort but still reflects the result that the feed would have. This study focuses on analyzing prediction variables for PEI using major brands of commercial shrimp feed used in the region in order to give an overview of the performance of commercial feed and at the same time find out which predictive variables would work better. PEI was measured and the predictive variables were hepatosomatic index, nitrogen retention as eco-efficiency, digestive gland protein, total activity of trypsin in whole digestive gland and *in vitro* digestibility. As a result, variables that could not be used as predictors of the PEI are hepatosomatic index, eco-efficiency and *in vitro* digestibility. The variables that are more related to the PEI are protein in the digestive gland together with the total activity of trypsin in the whole digestive gland as both were significantly correlated with the PEI.

Keywords: Production Efficiency, Predictors, *Litopenaeus vannamei*.

## I. INTRODUCCIÓN

La camaronicultura como parte de la acuicultura ha venido creciendo en los últimos años de un 4 a 11 por ciento, siendo esta la actividad de producción de alimento animal más importante en cuanto a sus posibles alcances. Si bien el desarrollo de la acuicultura a nivel mundial se va a realizar a través de sistemas de explotación semi-intensivos e intensivos entonces se requerirá del suministro de cantidades considerables de fertilizantes y alimentos artificiales (Tacon, 1989).

Las utilidades económicas que la industria camaronícola genera en el mundo es la razón por la cual se ha posicionado como una industria muy importante, actualmente existen avances significativos en el cultivo de ciertas especies de camarones incluyendo *Litopenaeus vannamei* (Pérez-Rostro *et al.*, 2003)

El cultivo de camarón, a pesar de las variaciones de la producción en los últimos años, constituye uno de los cultivos más importantes a escala mundial (Muñoz, 2004). En 1980 menos del 1% del camarón producido provenía de granjas camaroneras comerciales, habiéndose incrementado de forma acelerada, por lo que se estima que en un futuro cercano alcance el 50% de la producción mundial (Rosenberry, 2004).

En el estado de Sinaloa se produjeron 39,394 toneladas en el año 2010 (SIAP, 2010) y 50,734 toneladas en el año 2011 (Panorama Acuícola, 2011), lo que sitúa al estado de Sinaloa como uno de los principales productores de camarón de granja. En el año 2011 la producción de camarón por captura (en mar abierto, esteros y bahías) representó el 40.35% del total producido en todo México (Anuario Estadístico CONAPESCA, 2011). Además al finalizar el ciclo 2010 México se convirtió en la sexta potencia mundial en producción de camarón (Anuario Estadístico CONAPESCA, 2010). Aún así existen rezagos en el desarrollo productivo de la industria camaronera, estos se deben principalmente a la falta de conocimientos sobre aspectos de nutrición (Arenal *et al.*, 2006), entre otros.



Para lograr un crecimiento rápido y una producción rentable en cultivos de camarones con manejo intensivo y semi-intensivo, se utilizan programas de alimentación. El alimento utilizado puede representar una dieta completa o solamente un suplemento a la alimentación principal proveniente de la productividad primaria del estanque (Nicovita, 2010). Las dietas completas para camarones deben contener la energía, proteína y todos los elementos nutritivos necesarios para el buen desarrollo y crecimiento de los organismos del cultivo. El uso de alimentos artificiales con camarones está basado en un conocimiento de sus hábitos alimenticios y de sus requerimientos nutricionales. El propósito de los alimentos comerciales es proveer los nutrientes importantes para su desarrollo en una forma física aceptable por el camarón, normalmente como un pellet o comprimido (Nicovita, 2010). Además el factor alimento representa más del 60% de los costos de producción en el cultivo de camarón (Chávez-Calvillo *et al.*, 2010).

La digestión del alimento para obtener nutrientes necesarios para el crecimiento, mantenimiento y reproducción es una de las funciones más importantes en la fisiología de un organismo. Las fuentes de nutrientes pueden variar según los insumos utilizados en la preparación de cada alimento comercial, pero ciertos nutrientes son requeridos por todos los camarones en crecimiento y son conocidos como nutrientes esenciales o indispensables. Un nutriente esencial es aquel que no puede ser sintetizado a un nivel requerido, para un normal crecimiento y mantenimiento. A pesar que la proteína es requerida para el crecimiento, no hay proteínas esenciales, sino aminoácidos esenciales (Fox *et al.*, 1994).

La alimentación puede expresarse como el proceso de captura e ingesta del material biológico necesario para el funcionamiento de los organismos vivos y la nutrición comprende los procesos químicos y fisiológicos en los que el organismo utiliza el alimento para la obtención de nutrientes y energía para sus funciones normales, de mantenimiento, crecimiento y reparación de tejidos (Real Academia de las Ciencias Exactas, Física y Naturales, 2001). Por lo tanto, involucra la ingestión,

digestión, absorción, transporte de nutrientes y la eliminación de desechos, así como las técnicas de alimentación durante el desarrollo del organismo (Jory, 2001).

La alimentación es un factor decisivo para el desarrollo exitoso en cualquier cultivo de organismos acuáticos, por lo que un óptimo aprovechamiento de la misma, permitirá elevar la eficiencia y evitar que se convierta en fuente de contaminantes (Tacon, 1995a). Los camarones cultivados satisfacen parte de sus necesidades nutritivas con el alimento natural disponible en los estanques, pero no garantizan un adecuado crecimiento y supervivencia, de ahí la necesidad de dietas artificiales que puedan satisfacer los requerimientos de las especies, que sean de bajo costo y permitan un buen crecimiento, supervivencia y eficiencia alimenticia (Tacon, 1995b; Tacon, 1996; Costero, 1996).

La reducción del requerimiento de cualquier nutriente esencial del alimento, puede resultar no solo en crecimiento lento, sino en una mortalidad substancial. Para evaluar si un nutriente esencial ha sido incluido en niveles adecuados en el alimento, es importante identificar todas las fuentes de proteína nutritiva y su disponibilidad asociativa. Proveer un requerimiento es a veces difícil en el alimento debido a la pérdida asociada en el proceso de producción (ej. alta temperatura) o a variaciones en la digestibilidad asociada con diferentes ingredientes. En otras palabras, lo que se formula no es lo que estará en el alimento procesado (Fox, 2001).

Tanto en el alimento natural como en las dietas diseñadas y preparadas, las proteínas son el ingrediente más abundante y éstas juegan un papel muy importante en el crecimiento y desarrollo de los camarones (Chávez-Calvillo *et al.*, 2010). Los nutricionistas reconocen que proveer la proteína adecuada implica dos factores principales, uno de ellos es el requerimiento de aminoácidos esenciales, el otro es la digestibilidad general de proteínas dietéticas (Fox, 2001).

En términos de digestibilidad, los alimentos pueden ser formulados para contener 50% de proteína cruda, de la cual relativamente poca puede estar

biodisponible. Las fuentes de proteína más usadas en alimentos para camarón son harina de pescado y de soya, que contienen proteína razonablemente bien digerida (alrededor de 80%) por el camarón, pero no todas las fuentes tienen la misma calidad o digestibilidad. Por esta razón, los acuacultores deben tener cuidado de la calidad de la proteína usada en los alimentos. Los fabricantes de alimento deben poner a disposición de los productores los reportes de digestibilidad de las fuentes de proteína usadas (Fox, 2001).

La función principal del tracto digestivo es la de digerir y absorber nutrientes (Ma y Anderson, 2006). Dentro del proceso de absorción de nutrientes, la digestión es una parte fundamental en donde los componentes del alimento son convertidos en sus fracciones más pequeñas por efecto de la actividad enzimática (Hochachka y Somero, 1984).

La enzima tripsina (E. C. 3.4.21.4) es común en organismos heterótrofos y es la más abundante en el sistema digestivo de *Litopenaeus vannamei* (de Dios *et al.*, 1999). El camarón blanco del Pacífico *L. vannamei* tiene un sistema digestivo que tarda menos de una hora en digerir el alimento consumido. El 60% de la digestión de la proteína la realizan las enzimas tripsina y quimiotripsina (E. C. 3.4.21.1) en los crustáceos peneidos. La importancia relativa de estas enzimas y su especificidad hacia los aminoácidos básicos que son esenciales en la nutrición de crustáceos, hace resaltar el problema de la calidad de las proteínas que se utilicen en su alimentación, en este caso un alimento balanceado. Estas proteínas deben contener los aminoácidos esenciales en cantidad óptima, pero también los aminoácidos que permitan una hidrólisis rápida de las proteínas (Cruz-Suarez *et al.*, 1999).

El conjunto de las enzimas proteolíticas está constituido de dos grupos: endopeptidasas, que cortan los enlaces peptídicos en el interior de las cadenas proteicas y las exopeptidasas, que cortan los enlaces peptídicos aminotermiales, carboxitermiales y los dipéptidos. En los crustáceos la digestión química de proteínas comienza en la cavidad cardiaca del estómago y continua en los túbulos

del hepatopáncreas. El modelo de degradación de proteínas es similar al de los vertebrados: ruptura de las proteínas ingeridas por las endopeptidasas, degradación de los péptidos por las exopeptidasas y absorción a nivel de células especializadas del hepatopáncreas (Cruz-Suarez *et al.*1999).

Teniendo conocimiento del equipo enzimático podemos deducir qué ingredientes podrán ser utilizados en la fabricación de alimentos balanceados. En cuanto a fuentes de proteína, dada la importancia de la tripsina, mientras más aminoácidos básicos tenga la proteína, la capacidad de hidrólisis será mayor y por lo tanto, la digestibilidad y la eficiencia alimenticia. Los ingredientes cuyas proteínas son ricas en arginina, lisina e histidina son excelentes fuentes de proteína, ejemplo: harinas de pescado, de cabeza de camarón, harina de calamar, harina de krill, pasta de soya etc. (Cruz-Suarez *et al.*, 1999).

Existe un indicador de la calidad del alimento muy importante y útil que por falta de conocimiento no había sido solicitado a los fabricantes de alimentos y es la digestibilidad o la disponibilidad de nutrientes contenidos en los alimentos. Desafortunadamente los ingredientes más digestibles, de mejor calidad nutricional, son los más caros y eso hace automáticamente subir el costo del alimento. Sin embargo, si el alimento es más digestible, se necesita menos para cubrir los requerimientos de crecimiento, lo cual puede compensar con beneficios la inversión inicial. Esto está claramente reflejado en el factor de conversión alimenticia, que se evalúa a lo largo del cultivo en la granja. Esa disponibilidad o digestibilidad de nutrientes depende por una parte, de la calidad de la materia prima, el proceso y la forma y el tiempo de almacenamiento, y por otra parte del equipo enzimático del animal y de la eficiencia de su funcionamiento. Eficiencia que a su vez, depende de la edad, del estado de salud del camarón y de las condiciones ambientales. La digestibilidad aparente de un alimento o de un ingrediente se puede evaluar con camarones en medio controlado, de tal manera que a diferencia de los bioensayos en granja, se evalúa la digestibilidad única y exclusivamente del alimento en cuestión. Esta determinación, consiste en evaluar el porcentaje de alimento o de

nutrientes del alimento (por ejemplo de proteína) que se retiene o se absorbe en el tubo digestivo del animal. Para ello se evalúa la cantidad de alimento consumido y la cantidad de heces emitido. La diferencia entre los nutrientes que entraron (alimento) y los que salieron (heces) da como resultado el porcentaje de digestibilidad aparente. Las determinaciones de digestibilidad aparente se realizan en diferentes Instituciones de investigación en México. El uso de estos indicadores permite tener una clasificación continua de los alimentos comerciales y tener mejores bases para hacer la mejor elección. La información sobre digestibilidad es esencial para evaluar la calidad de un ingrediente. Aunque el perfil de nutrientes de un ingrediente aparentemente sea bueno, si sus nutrientes no son digeridos, absorbidos y utilizados, serán de poco valor para el animal (Cruz-Suarez *et al.*, 1999).

Como los camarones se alimentan por el olor y no por la vista (Mendoza-Alfaro *et al.*, 1999), es importante el poder de atracción y la palatabilidad del alimento (Tacon *et al.*, 1998). Un alimento con alta capacidad de atracción y estimulación, puede provocar un aumento en el consumo del alimento que no implica aumentos en el crecimiento, pues una vez que se han cubierto las necesidades energéticas y de proteínas, el alimento ingerido no se destina a crecimiento y pasa a ser desechado por el organismo (Vega-Villasante, 2004). La deficiencia de algún nutriente en la dieta (vitaminas, aminoácidos, ácidos grasos, etc.) puede repercutir negativamente en la salud del animal, siendo uno de los primeros síntomas la pérdida de apetito (Cuenca y García-Gallego, 1987). Un alimento con exceso de energía hace que el animal pueda sentirse satisfecho y deje de consumir alimento (Devresse, 1999).

El Índice de Eficiencia de Producción (IEP) es un indicador productivo que se puede utilizar como herramienta para medir la eficiencia en cultivos de camarón, trasladado al laboratorio puede servir como herramienta para medir la eficiencia de alimentos comerciales para camarón, aún cuando no podría ser traducido de la misma manera ya que en un cultivo intervienen muchas más variables entre ellas las del manejo del cultivo, en laboratorio se aíslan las variables para que el IEP exprese la eficiencia que tienen los alimentos comerciales.

En general, las dietas disponibles comercialmente para la acuicultura contienen fuentes de proteína y lípidos de origen animal y vegetal además de carbohidratos, sin embargo, el incremento en precio de los alimentos exige la selección y evaluación de los mismos para proporcionar características deseables al producto, entre ellas que permitan tallas de buen valor comercial, mayores rendimientos y para hacer más rentable el cultivo de la especie, siendo éste el objetivo final a alcanzar.

## II. ANTECEDENTES

La camaronicultura es una de las actividades económicas que ha crecido más rápido y ha alcanzado una expansión a nivel mundial. El cultivo de camarón en México se inició a partir de 1985 y la actividad ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos años. México se convirtió en el segundo productor de camarón por acuicultura del hemisferio Oeste (Páez-Osuna, 2001). La región Noroeste presenta una concentración del cultivo del 97%, principalmente alrededor del Golfo de California, en la zona costera de los estados de Baja California, Baja California Sur, Sinaloa, Sonora y Nayarit (Roque y Ruiz, 2003).

Akiyama *et al.*, (1988), determinaron la digestibilidad aparente de materia seca (Cuadro 1) proteína y aminoácidos de varios ingredientes para camarón. Estos ingredientes fueron: caseína, almidón de maíz, gelatina, proteína de soya, gluten de trigo, harina de pescado, salvado de arroz, harina de camarón, harina de soya y harina de calamar. En términos de materia seca, las dietas conteniendo ingredientes puros ricos en proteínas: caseína, gelatina, proteína de soya y gluten de trigo, fueron más digestibles que la dieta rica en carbohidratos conteniendo almidón de maíz. Esto sugiere que las proteínas son más eficientemente digeridas por el camarón que los carbohidratos. En general la proteína de ingredientes de origen animal marino es de mejor calidad que la proteína de ingredientes de origen vegetal.

Villarreal y Castro (1992), realizaron un estudio preliminar sobre el efecto del contenido proteico en crecimiento de *Litopenaeus vannamei* en diferentes salinidades marinas. En dicho bioensayo se utilizó  $36 \pm 1$  ups en contenedores de plástico por triplicado con  $28 \pm 1$  °C. Se evaluaron tres poblaciones de 12 juveniles a razón de 38 camarones/m<sup>2</sup> en cada bioensayo con un testigo y fueron pesados semanalmente en un intervalo de 30 días. Los camarones fueron alimentados con tres dietas comerciales con 25, 30 y 40% de proteína cruda y fueron comparados con dietas preparadas en su centro de investigaciones biológicas refiriendo un contenido de 10% de harina de cangrejo rojo y 40% de proteína en la dieta y calamar,

respectivamente con una sobrevivencia de 83 a 94%. El alimento consumido fue significativamente alto para la dieta 25%. La frecuencia de las mudas fue correlacionada con el contenido proteico de las dietas.

**Cuadro 1. Digestibilidad aparente de materia seca (DAMS %) y proteína para *Litopenaeus vannamei*. (Akiyama *et al.*, 1988).**

Ingrediente principal en la dieta	Digestibilidad aparente de materia seca	Digestibilidad aparente de proteína
<i>Ingredientes Puros</i>		
Caseína	91.4	99.1
Gluten de trigo	85.4	98.0
Proteína de soya	84.1	96.4
Gelatina	85.2	97.3
Almidón de maíz	68.3	81.1
<i>Ingredientes prácticos</i>		
Harina de calamar	68.9	79.7
Harina de pescado	64.3	80.7
Harina de camarón	56.8	74.6
Harina de soya	55.9	89.9
Salvado de arroz	40.0	76.4

Generalmente, las dietas para camarón son formuladas en términos de proteína cruda y contenido de aminoácidos sin considerar la biodisponibilidad de estos ingredientes. La calidad de las fuentes de proteína se expresa como la cantidad de aminoácidos esenciales en la proteína cruda. Esta información es importante, pero no suficiente para optimizar las fórmulas porque la utilización digestiva de los aminoácidos siempre es menor que la cantidad analizada (Terrazas-Fierro *et al.*, 2010).

La metionina es el primer aminoácido limitante en la mayoría de las dietas de camarón (Forster y Dominy, 2006), así, el conocimiento sobre su disponibilidad, como el de los contenidos de otros aminoácidos esenciales en los alimentos es una base importante para determinar la calidad nutricional. También los estudios de digestibilidad de los aminoácidos son particularmente importantes para alimentos que



Incluyen ingredientes animales marinos porque la biodisponibilidad de los nutrientes es afectada por la temperatura usada durante el procesamiento y manufactura de los ingredientes (Terrazas-Fierro *et al.*, 2005).

Villarreal-Cavazos *et al.* (2008), realizaron un estudio sobre la digestibilidad aparente de aminoácidos de 10 harinas de pescado que se utilizan para preparar alimentos comerciales para camarón blanco en México. Dos harinas presentaron coeficientes de digestibilidad aparente de aminoácidos totales (DAAAT) mayores a 90%; siete harinas presentaron coeficientes de DAAAT de 80-87% y una sola harina de pescado tuvo un coeficiente de DAAAT menor a 80%. Además encontraron que los aminoácidos más digestibles fueron arginina, metionina, lisina e histidina mientras que los menos digestibles fueron glicina y cistina. También se observó que dos harinas de pescado que tuvieron coeficientes de digestibilidad de proteína muy bajos fueron secadas de forma directa como parte del proceso de producción.

Cruz-Suárez *et al.* (2009), realizaron un estudio sobre la digestibilidad aparente de proteína y aminoácidos de cuatro ingredientes de soya en juveniles de camarón blanco. Encontraron que el ingrediente de soya que contenía menos metionina y menos cistina fue el aislado de proteína de soya. Aun así, en general, los valores de digestibilidad de nutrientes fueron, por mucho, más altos en los ingredientes de soya que en la dieta referencia basada en harina de pescado. También encontraron que la cistina y treonina fueron los aminoácidos menos digestibles en todos los ingredientes de soya, mientras que la glicina y la arginina fueron generalmente los más digestibles.

*In vivo* las proteínas deben ser entregadas como aminoácidos, ésta es responsabilidad de un grupo de enzimas hidrolíticas (enzimas proteolíticas). Estas enzimas proteolíticas son de particular importancia para el estudio de los alimentos. Enzimas como la tripsina, quimotripsina, y las carboxipeptidasas y aminopeptidasas son responsables de la hidrólisis de las proteínas ingeridas a aminoácidos en el tracto digestivo. La reacción común catalizada por las enzimas proteolíticas es la

hidrólisis de los enlaces peptídicos de una proteína, pero además éstas enzimas tienen requerimientos específicos, como pueden ser la naturaleza de los grupos R, por ejemplo, la alfa-quimotripsina hidroliza el enlace peptídico a una tasa apreciable solo cuando el grupo R es la cadena lateral de un residuo de tirosina, fenilalanina o triptófano, la tripsina hidroliza el enlace peptídico solo si el grupo R es la cadena lateral de un residuo de arginina o lisina (Whitaker, 1994).

Lan y Pan (1993) encontraron que la digestibilidad de la proteína fue positivamente correlacionada con el contenido de lisina y arginina del alimento ( $R=0.99$ ) e indicó la influencia relativamente alta de la tripsina comparada a otras enzimas proteolíticas. También demostraron que el perfil de aminoácidos de las proteínas (por ejemplo la proporción de aminoácidos aromáticos) afectaba la digestibilidad.

Carrillo (1994), Lazo (1994) y Ezquerro (1997b) publicaron haber desarrollado nuevas metodologías para la estimación de la digestibilidad aparente *in vitro* con enzimas de los propios camarones, aunque ninguna de ellas se ha oficializado (Nieto-López *et al.*, 2008).

La fórmula del IEP utilizada en este trabajo está basada en el factor de eficiencia europeo utilizado en la producción de pollos de granja, en esa industria se le considera muy importante ya que resume en un solo índice las medidas más importantes que ya son tomadas en cuenta expresándolas como eficiencia (Rodríguez, 2007).

La determinación de la digestibilidad es esencial no solo para formular dietas a bajo costo sino que además es muy útil para la investigación de requerimientos nutricionales, selección de ingredientes con valor nutritivo potencial (en relación con la calidad de la materia prima), y formulación de dietas que minimicen la contaminación del agua (Brown *et al.*, 1989; Akiyama *et al.*, 1991; Hajen *et al.*, 1993; Mendoza, 1994; Romero y Manríquez, 1993). El uso de los datos de digestibilidad de

un ingrediente es esencial para la formulación de una dieta con un bajo índice de contaminación sin riesgo para el medioambiente (Lee y Lawrence, 1997).

Los bioensayos de alimentación o determinación de la digestibilidad aparente *in vivo* han sido los métodos más utilizados para determinar el valor nutritivo de los ingredientes o las dietas. Aunque estos métodos son buenos, son métodos muy laboriosos y costosos que además requieren de mucho tiempo para la obtención de resultados (Lan y Pan, 1993).

Ante la necesidad de contar con técnicas rápidas y económicas para la determinación de la digestibilidad proteica, se han desarrollado un cierto número de métodos *in vitro*, que permiten llevar a cabo en menor tiempo y de manera eficaz la selección de diferentes lotes de materia prima y el monitoreo de diferentes procesos de transformación de los alimentos (Moughan *et al.*, 1989) y para así tratar de sustituir a los métodos de digestibilidad *in vivo* (Marleta, *et al.*, 1992; Forrellat, 1998), sin embargo, estos hasta ahora han sido de mayor utilidad como herramientas complementarias para la predicción de la digestibilidad.

### III. JUSTIFICACIÓN

La alimentación constituye uno de los costos más altos en la producción acuícola de crustáceos llegando a alcanzar hasta un 60% del costo total de producción (Villarreal, 1995; Jory, 2001). Por ello, la tendencia actual de la investigación en nutrición acuícola se concentra en la reducción del costo de alimentación, en donde la proteína es el componente más caro en el alimento, ya que es esencial para el crecimiento de las especies en cultivo. La utilización de alimento comercial ha venido a ser una forma complementaria de alimentación que los acuacultores han decidido utilizar en los estanques de producción de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*.

A partir de los estudios que demuestran la baja calidad y poca digestibilidad de algunos ingredientes utilizados en la elaboración de los alimentos comerciales y su baja eficiencia de producción, se busca encontrar cual de las posibles variables predictivas (índice hepatosomático, la retención de nitrógeno como ecoeficiencia, la proteína en glándula digestiva y actividad total de tripsina en toda la glándula digestiva y la digestibilidad *in vitro*) del IEP será la más adecuada para su predicción según el alimento comercial que se utilice. De ahí el análisis que se hizo en éste presente estudio en el que se analizaron las principales marcas de alimento comercial para camarón.

## IV. OBJETIVOS

### General

Detectar las variables de predicción del Índice de Eficiencia de Producción (IEP) utilizando alimentos comerciales para camarón blanco *L. vannamei*.

### Específicos

1. Clasificar los alimentos comerciales para camarón según su IEP.
2. Caracterizar las variables predictivas (índice hepatosomático, proteína total en glándula digestiva y la actividad total enzimática, digestibilidad *in vitro*, ecoeficiencia) para cada uno de los grupos alimentados.
3. Determinar el poder de predicción del IEP utilizando las variables caracterizadas.

## **V. HIPÓTESIS**

Variables asociadas al desarrollo temprano del camarón ayudan a predecir el desempeño de un alimento en un cultivo.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### **6.1 Condiciones generales de experimentación**

#### *6.1.1 Alimentos comerciales*

Se probaron 22 alimentos comerciales de las marcas comerciales más utilizadas en la región noroeste de México, éstas en las presentaciones de cantidad de proteína que son requeridas por los productores para camarones de 1-10 gramos. Los alimentos comerciales fueron proporcionados por el coordinador del sub-proyecto de AERI CONACYT (Alianzas Estratégicas y Redes de Innovación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) que se dedicó a estudiar la ecoeficiencia del alimento en granjas, fueron encargados de generar claves de identificación de alimentos para las marcas y las granjas en las que se utilizaron para así asegurar la factibilidad y honestidad del trabajo, evitando posibles fricciones con las marcas comerciales y asegurar el favorecer el buen desempeño de los productores cooperantes.

#### *6.1.2 Análisis químico proximal de los alimentos comerciales*

Se realizaron los análisis químicos proximales en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.S., a los 22 alimentos comerciales considerados en este estudio previo al bioensayo de digestibilidad *in vitro*. Se determinaron proteínas mediante el equipo Leco FP-528, que realiza la medición por el método de DUMAS (AOAC, 2005). Se determinaron lípidos mediante el equipo Soxtec Avanti 2050 por extracción con éter de petróleo. La fibra cruda se determinó con el equipo Fibertec 1020 por el método de hidrólisis sucesiva. La humedad se determinó con un horno TERLAB, por el método de pérdida de peso. Las cenizas se determinaron en una mufla Termoline 6000 por incineración. La determinación de energía bruta expresada en cal/g fue utilizando un Calorímetro adiabático Parr 1261 por el método de combustión. El extracto libre de nitrógeno (E.L.N.) por diferencia de los demás porcentajes. Todos los pesos se obtuvieron en una balanza electrónica Precisa XT-220 (AOAC, 1980).

### *6.1.3 Obtención de los organismos*

Todos los organismos utilizados en los bioensayos se obtuvieron de la granja camaronera en funcionamiento “Acuícola Cuate Machado”, ubicada en Las Glorias, Guasave, Sinaloa, México. El peso fue de 0.2 g  $\pm$  0.05 g. Se trasladaron en tinacos de 450 L de capacidad, con aireación constante durante su transporte a los laboratorios en las instalaciones de CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa ubicado en la ciudad de Guasave, Sinaloa, México en donde fueron aclimatados y mantenidos en tinas redondas de plástico de 1000 L de capacidad.

### *6.1.4 Mantenimiento y operación en laboratorio*

Todos los bioensayos se llevaron a cabo en el Invernadero de Cultivo del Laboratorio de Bioquímica del CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa, el cual tiene un área de 32 m<sup>2</sup>, consta con electricidad, sistemas de aireación constante mediante un compresor de aire en funcionamiento las 24 hrs y una cisterna para almacenamiento de agua de mar con capacidad de 10,000 L.

Los organismos se pesaron antes de iniciar la aclimatación en las tinas para calcular la ración diaria de alimento, la cual consistió en un 5% de la masa corporal total. La aclimatación de los organismos duró 7 días en el sistema de cultivo y se alimentaron dos veces al día (09:00 y 15:00 hrs) con el alimento Camaronina (Purina 35 % de proteína). La limpieza del sistema de cultivo se realizó cada dos días, eliminando la materia particulada, producto de restos de alimento sin consumir y de excretas, por sifoneo y haciendo un recambio de agua del 70% aproximado. Los parámetros físicoquímicos, temperatura, oxígeno disuelto, salinidad y pH se midieron cada 3 días en cada una de las tinas de cultivo. Se utilizó un oxímetro YSI-58 con precisión de 0.01 mg/L y 0.1 °C para oxígeno disuelto y temperatura respectivamente. Se tomó registro de la salinidad utilizando un refractómetro Atago 2401 con precisión de 0.1 ups. El fotoperiodo se mantuvo con 12 h luz y 12 h oscuridad (natural).



Los camarones se pesaron individualmente en una balanza digital de 0.01 g de precisión y se distribuyeron de forma aleatoria dentro de los recipientes a razón de 10 juveniles/ recipiente. Durante los tres primeros días de iniciado el ensayo, los ejemplares dañados o muertos fueron sustituidos por otros de tallas semejantes, al considerarse que dichas afectaciones estaban dadas por el manejo inicial.

Para las evaluaciones experimentales se emplearon recipientes de fibra de vidrio rectangulares, con las esquinas redondeadas, de 0.40 m x 0.55 m, con una capacidad de 15 litros, las cuales se lavaron, se desinfectaron y se llenaron con 12 L de agua de mar filtrada con un filtro de cartucho de 12 micras.

## **6.2 Bioensayos**

*6.2.1 Bioensayo 1. Determinación de los índices de eficiencia de producción de los alimentos comerciales para camarón, su IHS, su proteína total en glándula digestiva y su actividad total de tripsina.*

*6.2.1.1 Medición de los Índices de Eficiencia de Producción de los alimentos comerciales para camarón*

Se utilizaron los camarones procedentes de la granja camaronera “Acuícola Cuate Machado” que previamente se habían trasladado hasta las instalaciones de CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. Se colocaron 20 camarones de  $0.26 \text{ g} \pm 0.01 \text{ g}$  por tina, equivalente a una densidad de siembra de 20 organismos por  $\text{m}^2$ , por triplicado para cada uno de los 22 alimentos comerciales evaluados. Todos los organismos fueron sujetos a una aclimatación a los alimentos comerciales evaluados, esto durante 7 días. A partir del día 8 se comenzaron a evaluar las variables incluidas en el IEP. El bioensayo tuvo una duración de 45 días.

Se tomó registro del crecimiento semanal, la supervivencia al final del bioensayo (45 días) y el factor de conversión alimenticia. La temperatura se mantuvo en  $30.46 \pm 0.96 \text{ }^\circ\text{C}$ , la salinidad fue estabilizada cuando comenzaba a variar demasiado para mantenerla en  $40.00 \pm 0.50 \text{ ups}$ . Por la manera en que está

diseñado el sistema de aireación siempre se tuvo buena cantidad de oxígeno disuelto con un promedio de  $6.06 \pm 0.04$  mg/L. El pH se mantuvo en  $7.46 \pm 0.01$ .

Los resultados del Índice de Eficiencia de Producción se obtuvieron con la siguiente fórmula:

$$\text{IEP} = (K \cdot S) / \text{FCA}$$

Donde K = tasa de crecimiento semanal (gramos por semana<sup>-1</sup>), S = proporción de supervivencia ( $1.0 - (\text{población final} / \text{población inicial})$ ), FCA = factor de conversión alimenticia (alimento suministrado/biomasa ganada).

#### *6.2.1.2 Evaluación el Índice Hepatosomático para cada uno de los grupos alimentados*

Se sacrificaron los organismos al finalizar el bioensayo 1. Se pusieron en hielo, una vez sacrificados se tomó el peso de los organismos (10 organismos por réplica) y se procedió a extraer la glándula digestiva ó hepatopáncreas (HP) con la ayuda de pinzas y tijeras y se registró su peso. Los HP se colocaron en tubos Eppendorf y se guardaron a  $-70^{\circ}\text{C}$  para su utilización en el bioensayo 3.

La obtención del Índice Hepatosomático (IHS) para cada uno de los alimentos comerciales analizados se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{IHS} = (\text{Peso del HP} / \text{Peso del camarón}) \cdot 100$$

#### *6.2.1.3 Análisis de la proteína total en glándula digestiva*

Se obtuvo un extracto enzimático a partir de cada uno de los HPs provenientes de los camarones alimentados con cada uno de los 22 alimentos comerciales para la evaluación del IHS, con la cual se procedió a analizar la actividad total enzimática para la enzima tripsina.

Se determinó la cantidad de proteína contenida en 5  $\mu$ L de extracto de HP con la técnica de Bradford (1976). Utilizando la relación Volumen:Peso, se extrapoló la concentración de proteína al peso total de cada HP para obtener la proteína por HP por alimento.

#### *6.2.1.4 Determinación de la actividad total enzimática de tripsina*

La cuantificación de la actividad de tripsina en cada una de los HP por alimento, se realizó utilizando el sustrato específico Benzoyl-Arg-p-Nitroanilida (BAPNA) 1mM en Tris HCl 50mM pH 7.5, CaCl<sub>2</sub> 20mM.

Para preparar 10 ml de sustrato stock se agregaron a un tubo de ensayo 4.35 mg de BAPNA, 100  $\mu$ L de sulfoxido dimetil (DMSO) y se agitó en vortex por 10 min a temperatura ambiente. La solución quedó con un tono amarillento claro. Esta solución stock se mantuvo almacenada a -20 °C hasta su uso.

Para 1 ml del sustrato se tomó 0.1 ml de la solución stock y se agregaron 0.99 mL de Tris-buffer a 37 °C.

Para asegurar que el sustrato se encontraba en óptimas condiciones se tomaron 5  $\mu$ L de la solución stock y se midió que su absorbancia a 410 nm/min fuera cercana a 0.1.

Para la reacción, se agregó a una microplaca 45  $\mu$ L de Tris-Buffer más 5  $\mu$ L del extracto enzimático, por último se agregaron 200  $\mu$ L de sustrato y se incubó durante 10 min. La reacción desprende un color que absorbe una longitud de onda de 410 nm con la cual se midió la intensidad de la reacción. Para obtener la actividad total se utilizó la ecuación según García-Carreño y Navarrete del Toro (1997):

$$\text{Actividad total} = (\text{Abs}_{410} / \text{min} / \text{Vol de la muestra})$$

## 6.2.2 Bioensayo 2. Análisis de los grados de hidrólisis de los alimentos comerciales para camarón mediante ensayos de digestibilidad *in vitro*

### 6.2.2.1 Obtención de las glándulas digestivas

Para la determinación del grado de hidrólisis por el método de pH-Stat, para cada uno de los alimentos comerciales analizados, se utilizó como enzima un homogeneizado de los hepatopáncreas de 60 camarones *L. vannamei*, en intermuda, sacrificados por congelación. La colecta de los hepatopáncreas se llevó a cabo en el laboratorio de Bioquímica del CIIDIR-Sinaloa, con la ayuda de pinzas y tijeras, las glándulas fueron colectadas en tubos Falcon de 50 ml y mantenidos en hielo. Todo el proceso duró 20 minutos y fueron colocados en un ultracongelador a -70 °C para posteriormente ser usadas en la preparación de la mezcla enzimática.

### 6.2.2.2 Preparación de la mezcla enzimática y determinación de la actividad enzimática del homogeneizado

El extracto se realizó a partir del conjunto de glándulas digestivas previamente congeladas, este conjunto se descongeló en frío (a 4°C). Se tomó el peso total de los hepatopáncreas y se le adicionó agua destilada a 4°C en una relación 1:3 peso/volumen, se homogeneizó por molienda utilizando una licuadora de mano a 10,000 rpm por 15 segundos dos veces. El homogeneizado se centrifugó, para clarificarlo, durante 30 min a 10,000 g a 4°C. Posteriormente la fracción lipídica se removió con la ayuda de una espátula, el sobrenadante se recuperó y se almacenó a -20°C en pequeñas alícuotas hasta su uso. Esta fracción fue considerada como extracto crudo (EC).

Se determinó la actividad proteolítica total y específica del extracto crudo a fin de conocer las unidades de enzima presentes por unidad de volumen y por mg de proteína. La proteína del extracto crudo se cuantificó por el método de Bradford (1976). La actividad de proteasa se determinó de acuerdo con Divakaran y Ostrowski (1990) modificado por García-Carreño (1994) usando azocaseína al 0.5% en Tris HCl 50 mM y pH 8.0 como sustrato. La actividad de proteasa se expresa como el número

de unidades de proteasa por mg de proteína (una unidad de proteasa se definió como la cantidad de la enzima requerida para incrementar por minuto 0.01 unidades de densidad óptica a 366 nm).

### 6.2.2.3 Condiciones de digestión

El grado de hidrólisis se determinó por triplicado para cada alimento comercial analizado, las muestras fueron molidas finamente con un mortero y 0.08 g de proteína por ensayo se agitaron en 10 ml de agua destilada aproximadamente por 1 hora ajustando continuamente el pH a 7.9 con NaOH al 1N para facilitar la completa solubilización de la fracción de proteína soluble. La reacción de hidrólisis se inició con la adición de 4.0 unidades de actividad enzimática (equivalentes a 0.258 ml del extracto enzimático). El pH se mantuvo en 8 y se midió la cantidad de NaOH 0.1N utilizado para mantener dicho pH durante 1 hr. y la temperatura se mantuvo a 28°C +- 0.3°C usando un baño de circulación.

Después de 1 hora homogeniza la forma de poner hora, el grado de hidrólisis de la proteína (DH%) se calculó como (Adler-Nissen, 1986; Lemos y Motikawa, 2006):

$$DH\% = (B * N_b * 1/\alpha * 1/M_p * 1/H_{tot}) * 100$$

Donde: B = ml de NaOH 0.1N utilizados para mantener el pH en 8,  $N_b$  = Normalidad del NaOH,  $1/\alpha$  = pK de los grupos aminos a la temperatura dada,  $M_p$  = masa de la proteína cruda en la muestra (g),  $H_{tot}$  = número total de enlaces peptídicos en el sustrato de proteína (7.8 – 8.6 meqv g de proteína<sup>-1</sup>, dependiendo de la naturaleza del ingrediente proteico, Adler-Nissen, 1986). La  $H_{tot}$  para las dietas fue 8.2 meqv g de proteína<sup>-1</sup>.

### 6.2.3 Bioensayo 3. Evaluar la retención de nitrógeno o ecoeficiencia en camarón de cada uno de los alimentos comerciales

Se utilizaron botellas de plástico con capacidad de 3 L, lavadas y desinfectadas, se colocó 1 camarón de 4.47 ± 0.29 g por botella, por triplicado para

cada uno de los 22 alimentos comerciales evaluados. Los camarones habían permanecido en ayunas por 24 horas, una vez estando en las botellas se les alimentó con una ración del 3 % equivalente a  $0.17 \pm 0.01$  g y éstas se cerraron herméticamente para evitar el intercambio de N atmosférico con el agua contenida en las botellas. Se aseguró que consumieran los pellets, una vez consumido el alimento se sacaron los camarones, se homogenizó el contenido de las botellas y se tomaron las muestras, éstas fueron congeladas hasta su posterior análisis.

Se procedió a hacer los análisis de las muestras para determinar las cantidades de nitrógeno orgánico, inorgánico y particulado. Se determinaron las variables en un autoanalizador de iones en el CIBNOR de La Paz, BCS.

Se determinó la ecoeficiencia mediante la siguiente fórmula:

$$E = (\text{Proteína en el camarón}/6.25) / (\text{Proteína en el alimento}/6.25)$$

### **6.3 Correlación de variables predictivas con el índice de eficiencia de producción**

#### **6.3.1 Análisis estadístico**

A los resultados obtenidos para el IHS, contenido de proteína y actividad de tripsina en toda la GD, se les aplicaron las pruebas de normalidad y homocedasticidad (Kolmogorov-Smirnov y Prueba de Bartlett) y se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza de una sola vía seguido de una comparación múltiple de medias por el método de Tukey para identificar la naturaleza de las diferencias entre ellos ( $\alpha=0.05$ ).

Para los datos obtenidos en el IEP, digestibilidad *in vitro* y la Ecoeficiencia, se realizó un análisis de Kruskal-Wallis seguido de una prueba de comparación múltiple de rangos para todos los alimentos.

Se realizó una regresión entre los resultados de las variables de predicción y el IEP y fueron analizados estadísticamente para determinar sus coeficientes de

correlación. Posteriormente se llevó a cabo la determinación de la ecuación de predicción mediante un análisis de regresión.

## VII. RESULTADOS

### 7.1 Condiciones experimentales

#### 7.1.1 Parámetros fisicoquímicos de los bioensayos.

Los parámetros fisicoquímicos se mantuvieron dentro de los intervalos óptimos para el cultivo del camarón blanco (excepto la salinidad y pH) durante los 45 días del bioensayo, los cuales según Brock y Main (1994) son: temperatura de 23 a 30 °C; oxígeno disuelto de 4.0 a 10.0 mg/L; salinidad de 15 a 35 ups; y pH de 8.1 a 9.0.

La temperatura se mantuvo entre 28 y 31 °C. El oxígeno disuelto mostró valores entre 5 y 6 mg/L. La salinidad sobrepasó el límite óptimo, registrando valores entre 39 y 40 ups. El pH se mantuvo entre 7.45 y 7.97, ligeramente abajo del límite aconsejado (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Parámetros fisicoquímicos de los bioensayos 1 y 3. Temperatura, oxígeno disuelto, salinidad y pH. Promedio  $\pm$  error estándar (EE).**

Bioensayos	TEMPERATURA (° C)	OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	SALINIDAD (ups)	pH
<u>Bioensayo 1 (IEP)</u>				
Alimentos 1-22 replica 1-3	30.46 $\pm$ 0.96	6.06 $\pm$ 0.04	40.00 $\pm$ 0.50	7.46 $\pm$ 0.01
<u>Bioensayo 3 (Ecoeficiencia)</u>				
Alimentos 1-22 replica 1-3	29.51 $\pm$ 1.07	5.72 $\pm$ 0.94	40.00 $\pm$ 0.50	7.91 $\pm$ 0.06



### 7.1.2 Análisis químico proximal de los alimentos comerciales

Los 22 alimentos comerciales sometidos al análisis químico proximal mostraron diferentes características para las mediciones realizadas en el AQP, tales características pueden ser observadas en el Cuadro 3. Se obtuvieron valores de proteína de 33 a 47 %; la fibra cruda varió desde 0.72 hasta 4.4 %; el extracto etéreo presentó valores de 1.42 a 11.95 %; el contenido de cenizas fue de 6.88 a 17.95 %; el extracto libre de nitrógeno mostró porcentajes de 32.7 a 52.63; y la energía bruta presentó valores de 3704 a 4961 cal/g.

**Cuadro 3. Los resultados obtenidos para cada uno de los 22 alimentos comerciales en el análisis químico proximal. El porcentaje de proteína, fibra cruda, extracto etéreo, cenizas, extracto libre de nitrógeno y energía. Promedio  $\pm$  error estándar (EE).**

ALIMENTO COMERCIAL	PROTEÍNA (%)	FIBRA CRUDA (%)	EXTRACTO ETÉREO (%)	CENIZAS (%)	EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO (%)	ENERGIA (cal/g)
1	42.89 $\pm$ 0.12	1.79 $\pm$ 0.22	11.95 $\pm$ 0.07	10.07 $\pm$ 0.02	33.30	4727.42 $\pm$ 23.80
2	38.18 $\pm$ 0.16	2.80 $\pm$ 0.18	6.37 $\pm$ 0.07	13.50 $\pm$ 0.05	39.15	3980.78 $\pm$ 9.00
3	38.88 $\pm$ 0.21	1.48 $\pm$ 0.10	7.19 $\pm$ 0.08	10.38 $\pm$ 0.21	42.07	4218.02 $\pm$ 19.35
4	39.22 $\pm$ 0.20	1.18 $\pm$ 0.10	8.54 $\pm$ 0.01	8.13 $\pm$ 0.04	42.94	4863.77 $\pm$ 20.82
5	42.20 $\pm$ 0.13	1.20 $\pm$ 0.06	7.50 $\pm$ 0.04	9.52 $\pm$ 0.07	39.59	4347.59 $\pm$ 25.16
6	35.23 $\pm$ 0.22	1.02 $\pm$ 0.21	1.42 $\pm$ 0.05	12.55 $\pm$ 0.07	49.79	3704.93 $\pm$ 18.32
7	43.65 $\pm$ 0.06	2.0 $\pm$ 0.24	4.82 $\pm$ 0.06	9.34 $\pm$ 0.03	40.19	4730.33 $\pm$ 20.93
8	33.30 $\pm$ 0.28	1.33 $\pm$ 0.19	5.86 $\pm$ 0.01	6.88 $\pm$ 0.06	52.63	4519.02 $\pm$ 22.25
9	43.86 $\pm$ 0.14	1.10 $\pm$ 0.20	9.49 $\pm$ 0.01	8.79 $\pm$ 0.07	36.76	4704.27 $\pm$ 17.67
10	43.35 $\pm$ 0.12	4.40 $\pm$ 0.30	5.46 $\pm$ 0.02	11.49 $\pm$ 0.00	35.30	4378.75 $\pm$ 19.62
11	45.32 $\pm$ 0.22	0.95 $\pm$ 0.07	9.33 $\pm$ 0.05	8.13 $\pm$ 0.03	36.27	4640.50 $\pm$ 17.33
12	43.64 $\pm$ 0.11	4.34 $\pm$ 0.22	3.80 $\pm$ 0.09	11.58 $\pm$ 0.06	36.63	4425.14 $\pm$ 18.99
13	45.16 $\pm$ 0.02	0.79 $\pm$ 0.10	8.41 $\pm$ 0.03	8.66 $\pm$ 0.05	36.98	4621.62 $\pm$ 19.93
14	47.22 $\pm$ 0.33	1.70 $\pm$ 0.10	9.31 $\pm$ 0.06	9.07 $\pm$ 0.04	32.70	4851.95 $\pm$ 26.14
15	38.08 $\pm$ 0.01	0.72 $\pm$ 0.03	9.71 $\pm$ 0.10	10.58 $\pm$ 0.06	40.90	4715.13 $\pm$ 22.68
16	37.81 $\pm$ 0.16	0.73 $\pm$ 0.02	10.76 $\pm$ 0.02	10.58 $\pm$ 0.03	40.12	4807.79 $\pm$ 19.92
17	38.97 $\pm$ 0.14	1.47 $\pm$ 0.08	7.53 $\pm$ 0.01	10.55 $\pm$ 0.13	41.47	4468.92 $\pm$ 21.98
18	35.59 $\pm$ 0.06	1.22 $\pm$ 0.03	6.46 $\pm$ 0.07	8.19 $\pm$ 0.22	48.54	4961.03 $\pm$ 26.43
19	40.54 $\pm$ 0.23	1.41 $\pm$ 0.09	5.98 $\pm$ 0.02	12.19 $\pm$ 0.03	39.87	4856.39 $\pm$ 26.66
20	38.43 $\pm$ 0.06	2.15 $\pm$ 0.16	7.60 $\pm$ 0.07	10.74 $\pm$ 0.27	41.08	4842.34 $\pm$ 28.01
21	40.80 $\pm$ 0.30	1.22 $\pm$ 0.06	11.64 $\pm$ 0.08	11.92 $\pm$ 0.07	34.42	4832.73 $\pm$ 20.42
22	37.82 $\pm$ 0.23	0.88 $\pm$ 0.12	7.43 $\pm$ 0.09	17.95 $\pm$ 0.02	35.92	3934.63 $\pm$ 18.66

## 7.2 Bioensayos

7.2.1 Bioensayo 1. Determinación de los índices de eficiencia de producción de los alimentos comerciales para camarón, su IHS, su proteína total en glándula digestiva y su actividad total de tripsina

### 7.2.1.1 Determinación de los Índices de Eficiencia de Producción de los alimentos comerciales para camarón

Se obtuvo un valor de Índice de Eficiencia de Producción (IEP) para cada alimento comercial (Fig. 1), obteniendo diferencias significativas entre ellos, con 3 grupos principales similares entre ellos (a, b y c). Con el alimento comercial 14 se obtuvo el IEP más alto (0.63) fue disminuyendo hasta obtener el IEP más bajo (0.11) con el alimento 6.

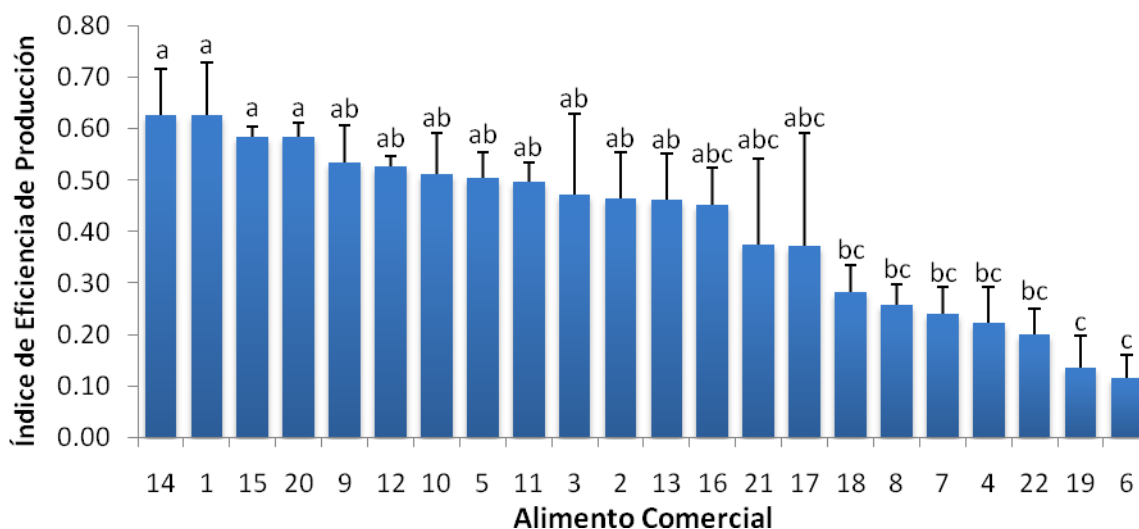


Figura 1. Índice de Eficiencia de Producción obtenido de cada alimento comercial. Promedios de  $n = 3$ . Barras de error = EE. Las barras con distinta letra indican diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ).

Se hicieron regresiones y correlaciones de las variables asociadas al IEP, entre ellas, la proteína en los alimentos comerciales en base seca, el crecimiento semanal y el factor de conversión alimenticia (FCA). Las ecuaciones de regresión y valores de las correlaciones así como su respectiva significancia se indican en las figuras 2, 3 y 4.

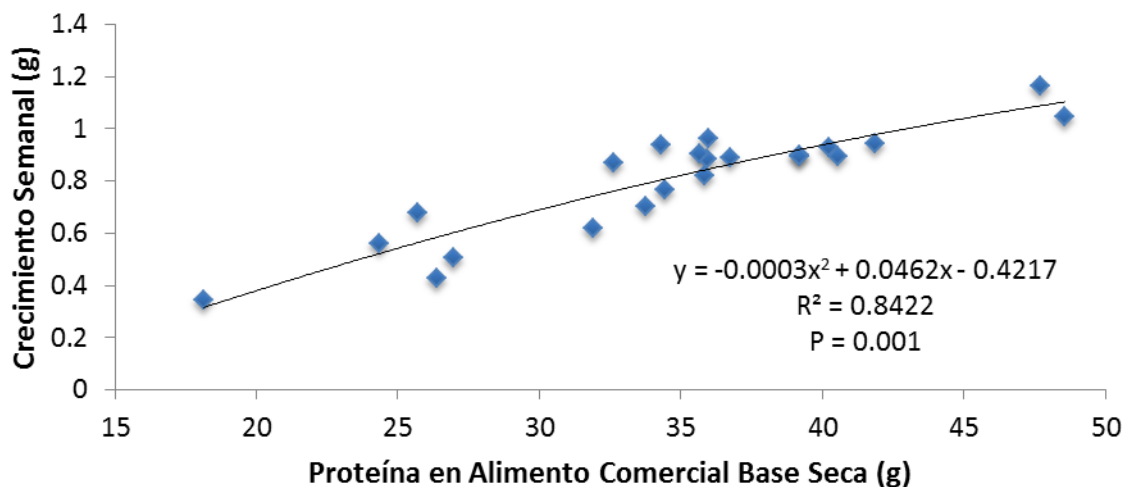


Figura 2. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el crecimiento semanal a diferente cantidad de proteína en base seca de cada uno de los 22 alimentos comerciales.

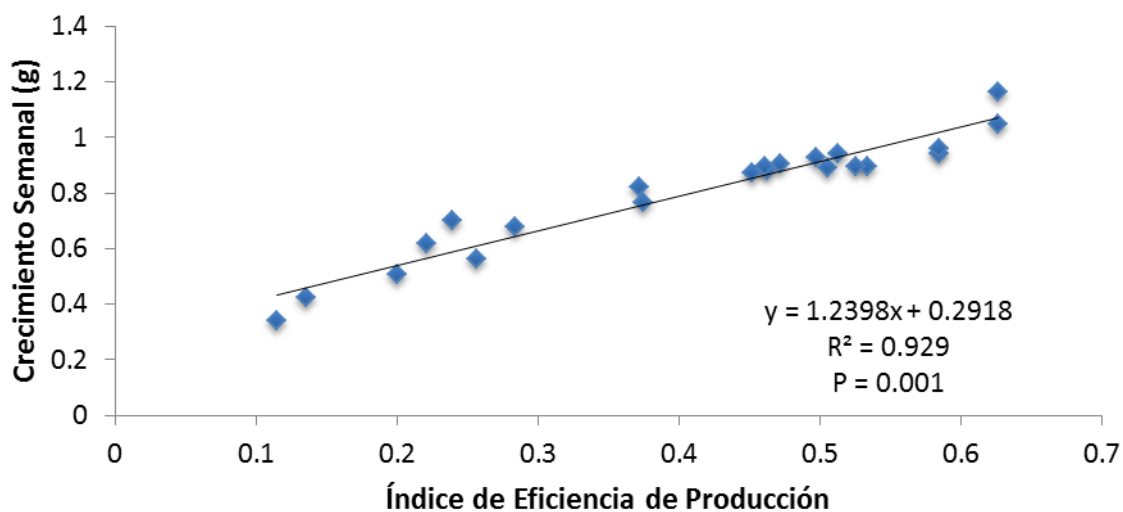
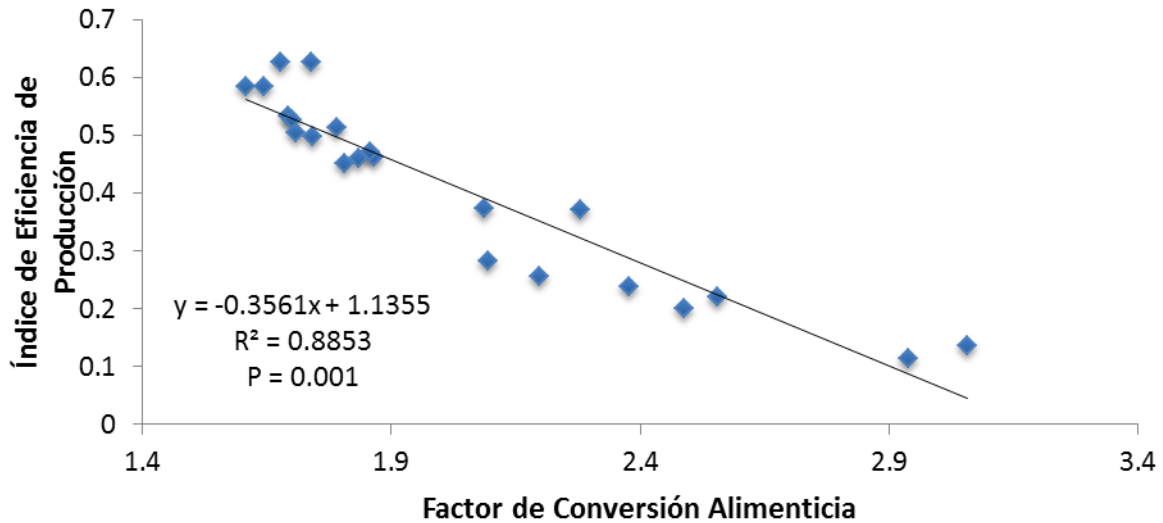


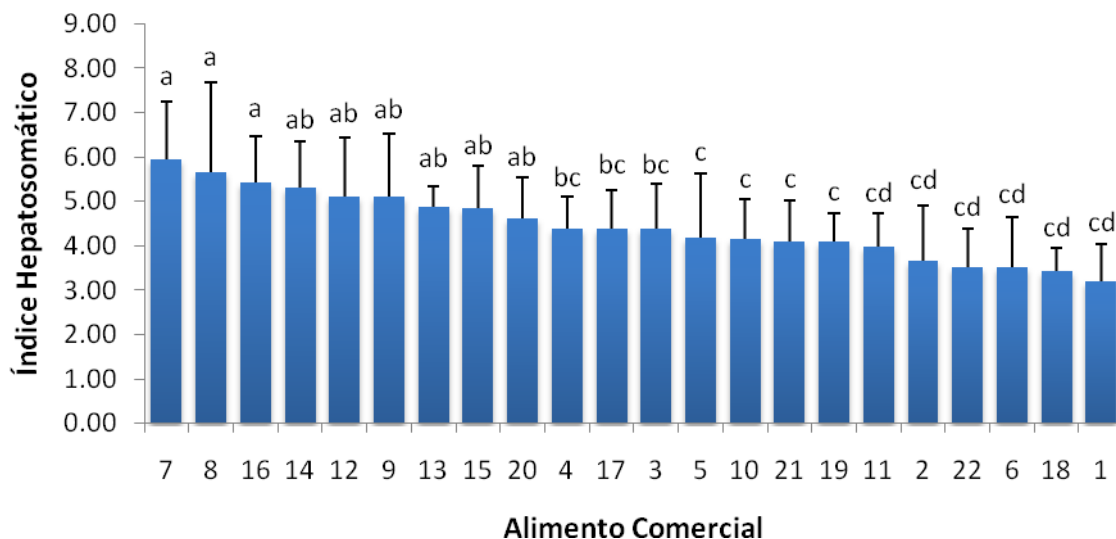
Figura 3. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el crecimiento semanal a diferente Índice de Eficiencia de Producción (IEP) de cada uno de los 22 alimentos comerciales.



**Figura 4. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el Índice de Eficiencia de Producción (IEP) a diferente factor de conversión alimenticia (FCA) de cada uno de los 22 alimentos comerciales.**

#### *7.2.1.2 Evaluación el Índice Hepatosomático para cada uno de los grupos alimentados*

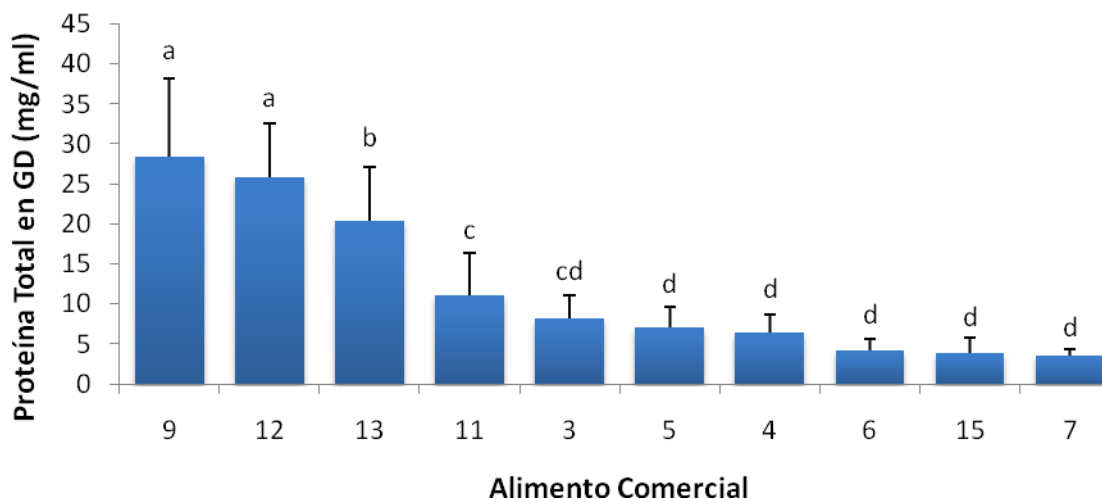
Se obtuvo un valor de Índice Hepatosomático (IHS) para cada grupo alimentado con los alimentos comerciales (Fig. 5), obteniendo diferencias significativas entre ellos, y con 4 grupos principales similares entre ellos (a, b, c y d). Con el alimento comercial 7 se obtuvo el IHS más alto (5.96) y fue disminuyendo con los demás alimentos comerciales hasta obtener el IHS más bajo (3.20) con el alimento 1.



**Figura 5. Índice Hepatosomático obtenido para cada uno de los grupos alimentados con los alimentos comerciales. Promedios de  $n \approx 30$ . Barras de error = EE. Las barras con distinta letra indican diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ).**

### *7.2.1.3 Análisis de la proteína total en glándula digestiva*

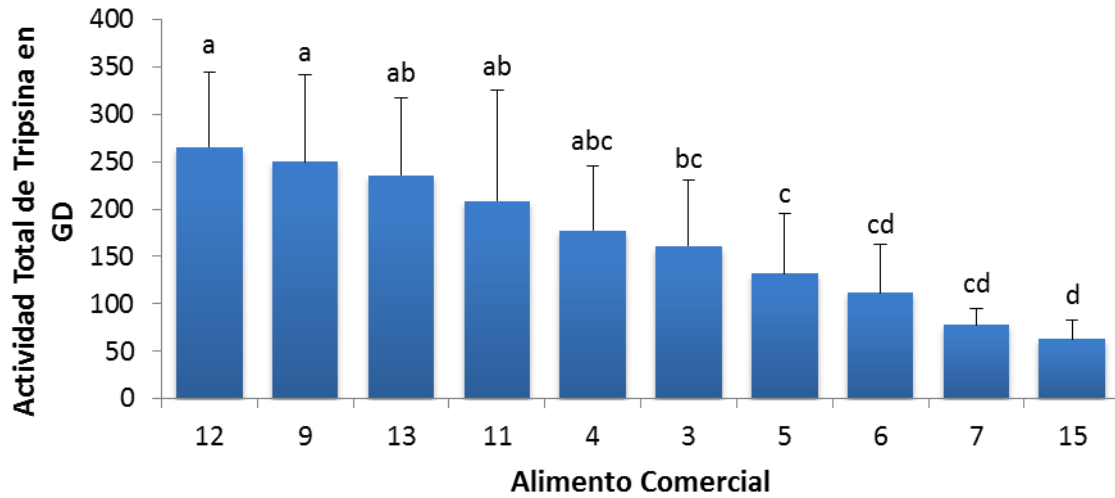
Se obtuvieron valores de proteína total en glándula digestiva (mg/ml) para algunos grupos de camarones que fueron alimentados con alimentos comerciales escogidos al azar (Fig. 6), obteniendo diferencias significativas entre ellos, y con 4 grupos principales similares entre ellos (a, b, c y d). El grupo que fue alimentado con el alimento comercial 9 tuvo el porcentaje más alto de proteína total en glándula digestiva (28.35 mg/ml) y fue disminuyendo con los demás grupos hasta obtener el porcentaje más bajo de proteína total en glándula digestiva (3.47 mg/ml) con el alimento comercial 7.



**Figura 6. Proteína total en glándula digestiva (mg/ml) para algunos grupos alimentados con alimentos comerciales escogidos al azar. Promedios de  $n \approx 30$ . Barras de error = EE. Las barras con distinta letra indican diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ).**

#### *7.2.1.4 Determinación de la actividad total enzimática de tripsina en toda la glándula digestiva*

Se obtuvieron valores para la actividad total enzimática de tripsina en toda la glándula digestiva para algunos grupos de camarones que fueron alimentados con alimentos comerciales escogidos al azar (Fig. 7), obteniendo diferencias significativas entre ellos, y con 4 grupos principales similares entre ellos (a, b, c y d). El grupo que fue alimentado con el alimento comercial 12 tuvo el valor más alto de actividad total enzimática de tripsina en toda la glándula digestiva (265 absorbancia<sub>410</sub>/min de reacción/volumen total de GD) y fue disminuyendo con los demás grupos hasta obtener el valor más bajo de actividad total enzimática de tripsina en toda la glándula digestiva (63 absorbancia<sub>410</sub>/min de reacción/volumen total de GD) con el alimento comercial 15.



**Figura 7. Actividad total de tripsina (absorbancia<sub>410</sub>/min de reacción/volumen total de GD) para algunos grupos alimentados con alimentos comerciales escogidos al azar. Promedios de n ≈ 30. Barras de error = EE. Las barras con distinta letra indican diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ).**

*7.2.2 Bioensayo 2. Análisis de los grados de hidrólisis de los alimentos comerciales para camarón mediante ensayos de digestibilidad in vitro*

En la digestibilidad *in vitro* se obtuvieron valores de grado de hidrólisis (DH %) para los grupos de camarones que fueron alimentados con 22 alimentos comerciales (Fig. 8), obteniendo diferencias significativas entre ellos y con 4 grupos principales similares entre ellos (a, b, c y d). El grupo que fue alimentado con el alimento comercial 16 tuvo el DH % más alto (6.2) y fue disminuyendo con los demás grupos hasta obtener el DH % más bajo (1.3) con el alimento comercial 2.

Se hizo una regresión y correlación entre el DH % y la proteína en los alimentos comerciales en base seca. La ecuación de regresión, valor de la correlación y su respectiva significancia se indica en la figura 9.

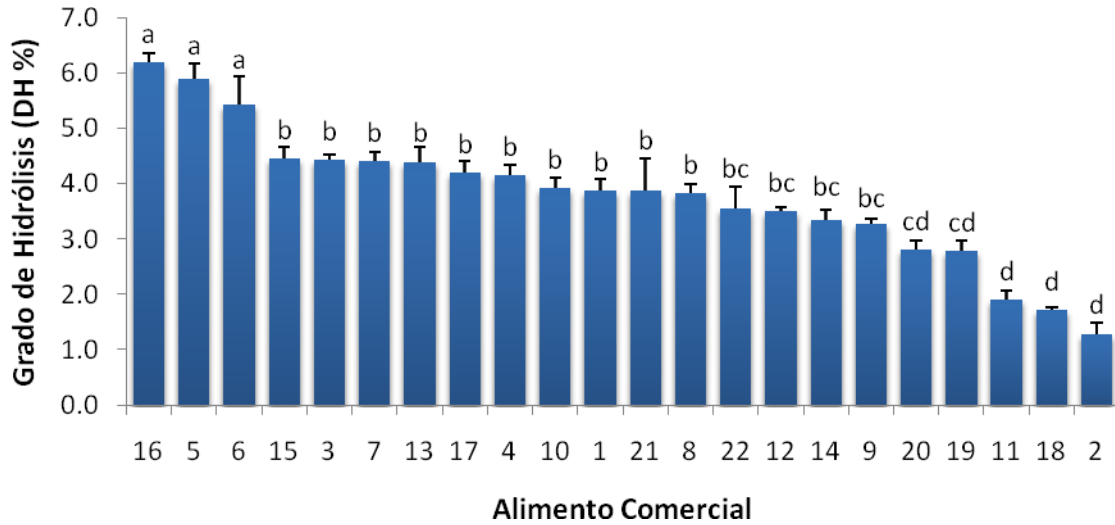


Figura 8. Digestibilidad *in vitro* (DH %) para cada uno de los grupos alimentados con los 22 alimentos comerciales. Promedios de n = 3. Barras de error = EE. Las barras con distinta letra indican diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ).

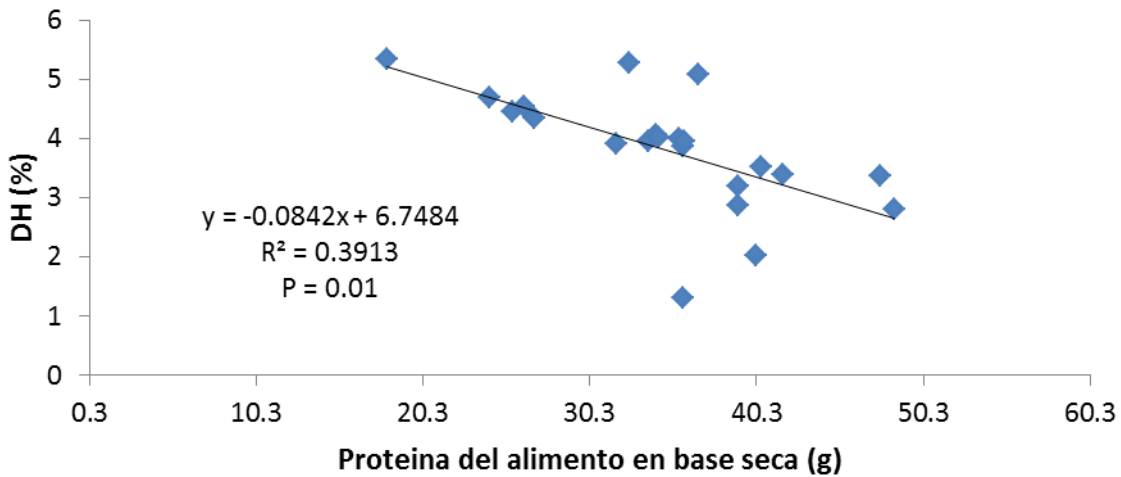


Figura 9. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el grado de hidrólisis a diferente contenido de proteína en base seca de los 22 alimentos comerciales.



7.2.3 Bioensayo 3. Evaluar la retención de nitrógeno o ecoeficiencia en camarón de cada uno de los alimentos comerciales

En la figura 10 se pueden observar que se obtuvieron valores de Ecoeficiencia para los grupos de camarones que fueron alimentados con los 22 alimentos comerciales, obteniendo diferencias significativas entre ellos y con 3 grupos principales similares entre ellos (a, b y c). El grupo que fue alimentado con el alimento comercial 15 tuvo el porcentaje de ecoeficiencia más alto (33.5 %) y fue disminuyendo con los demás grupos hasta obtener el porcentaje de ecoeficiencia más bajo (13.8 %) presentado en el grupo del alimento comercial 19.

Se hicieron regresiones y correlaciones entre el factor de conversión alimenticia (FCA) y el crecimiento semanal con la ecoeficiencia de los alimentos comerciales. Las ecuaciones de regresión, los valores de la correlación y sus respectivas significancias se indican en las figuras 11 y 12.

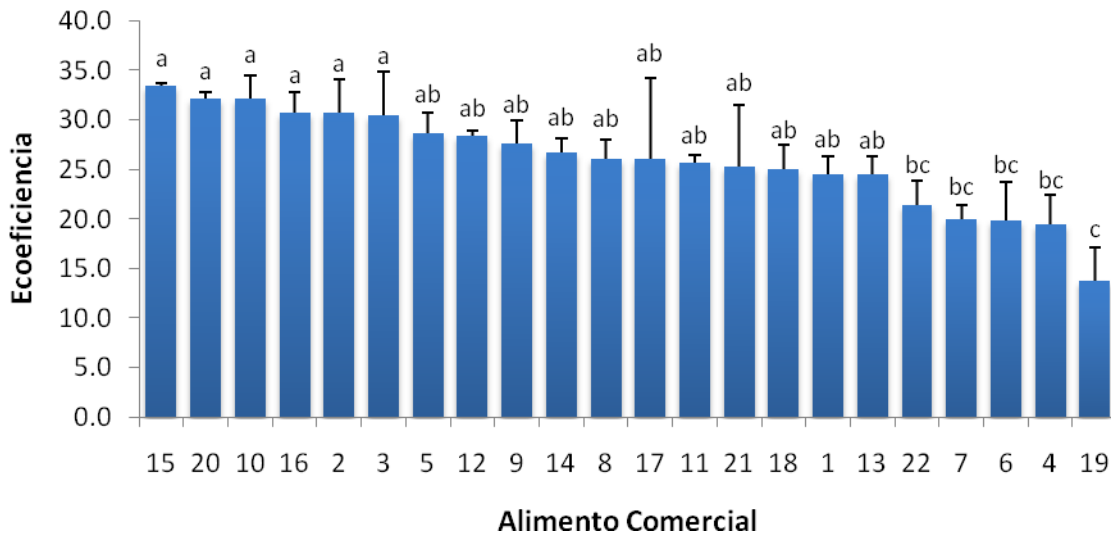
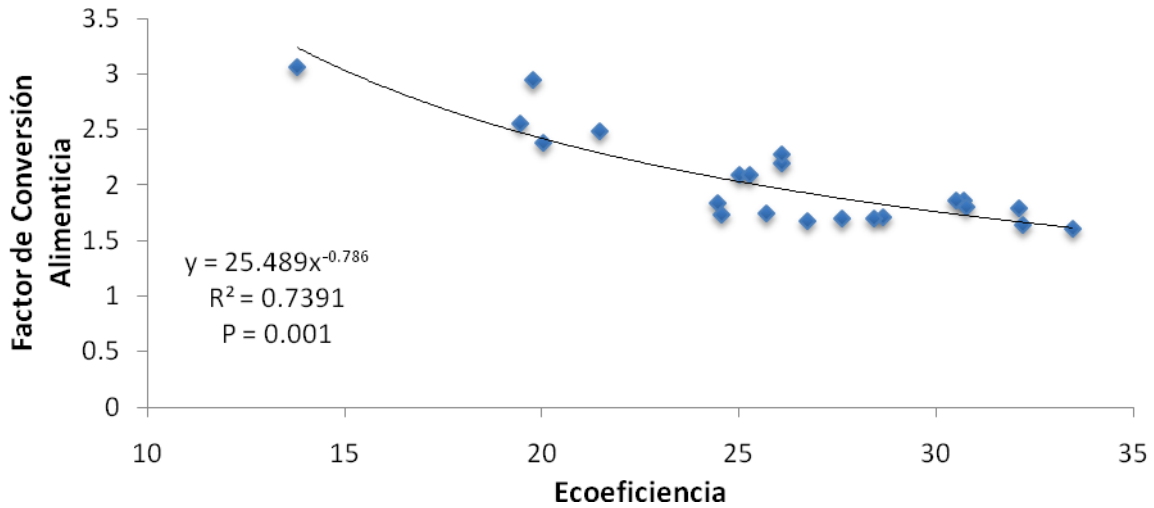
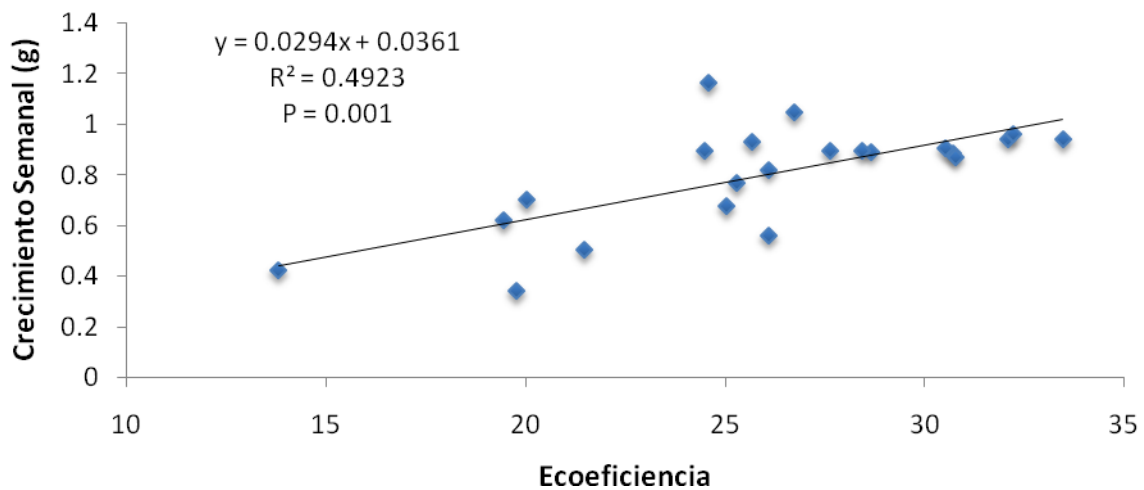


Figura 10. Ecoeficiencia para cada uno de los grupos alimentados con los 22 alimentos comerciales. Promedios de n = 3. Barras de error = EE. Las barras con distinta letra indican diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ).



**Figura 11. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el factor de conversión alimenticia (FCA) a diferente porcentaje de ecoeficiencia en cada uno de los 22 alimentos comerciales analizados.**



**Figura 12. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el crecimiento semanal a diferente porcentaje de ecoeficiencia en cada uno de los 22 alimentos comerciales analizados.**

### 7.3 Analizar la correlación de todas las variables predictivas con el índice de eficiencia de producción

Se hicieron regresiones y correlaciones entre el Índice de Eficiencia de Producción (IEP) y las variables predictivas del IEP (siendo éstas el Índice Hepatosomático (IHS), la Proteína Total en Glándula Digestiva, la Actividad Total de Tripsina en toda la Glándula Digestiva, el Grado de Hidrólisis (DH%), el amonio producido y la Ecoeficiencia). Las ecuaciones de regresión, los valores de la correlación y sus respectivas significancias se indican en las figuras 13, 14, 15, 16, 17 y 18.

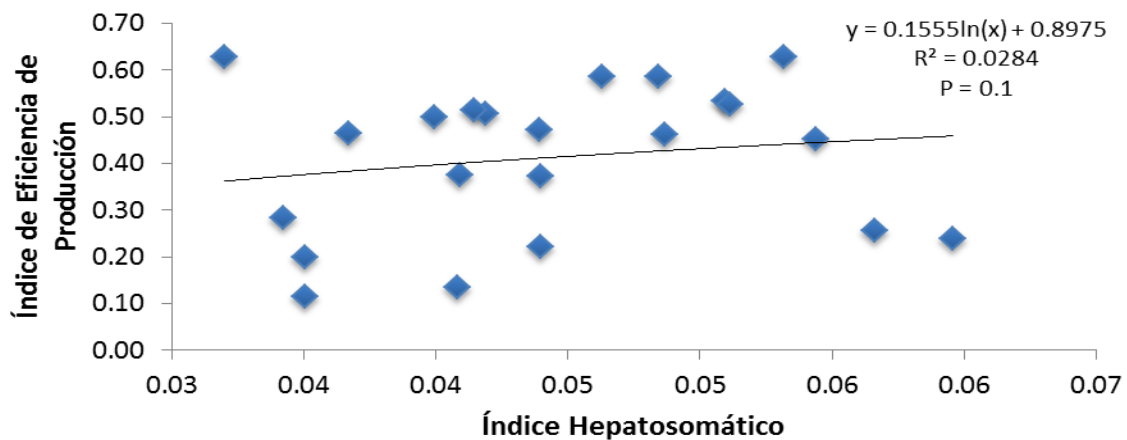


Figura 13. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el Índice de Eficiencia de Producción a diferente Índice Hepatosomático de los 22 alimentos comerciales.

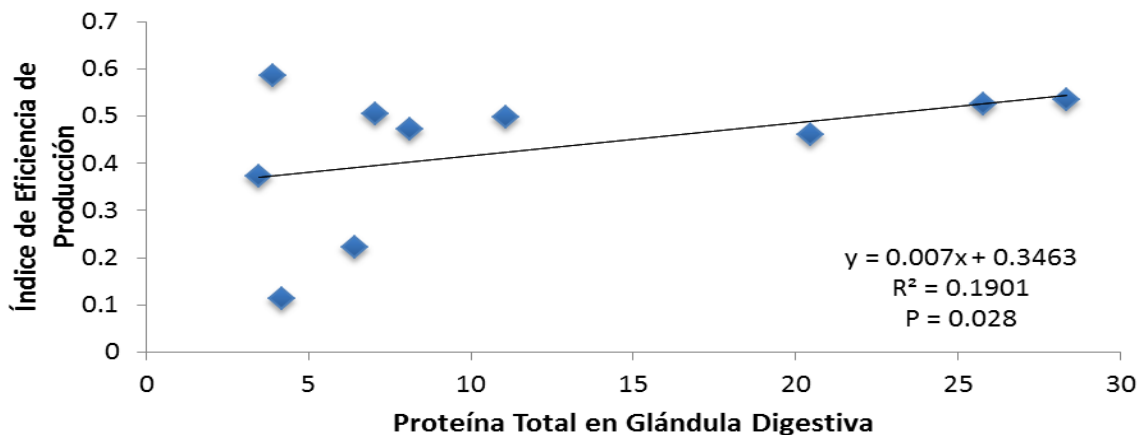


Figura 14. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el Índice de Eficiencia de Producción a diferente cantidad de Proteína Total en la Glándula Digestiva (mg/ml).

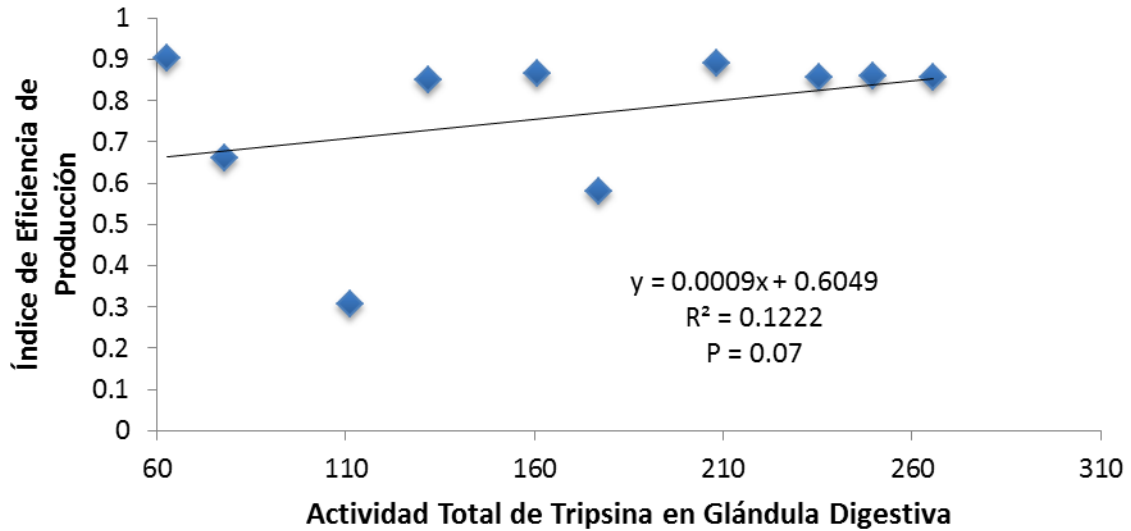


Figura 15. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el Índice de Eficiencia de Producción a diferente la Actividad Total de Tripsina en toda la Glándula Digestiva (absorbancia<sub>410</sub>/min de reacción/volumen total de GD).

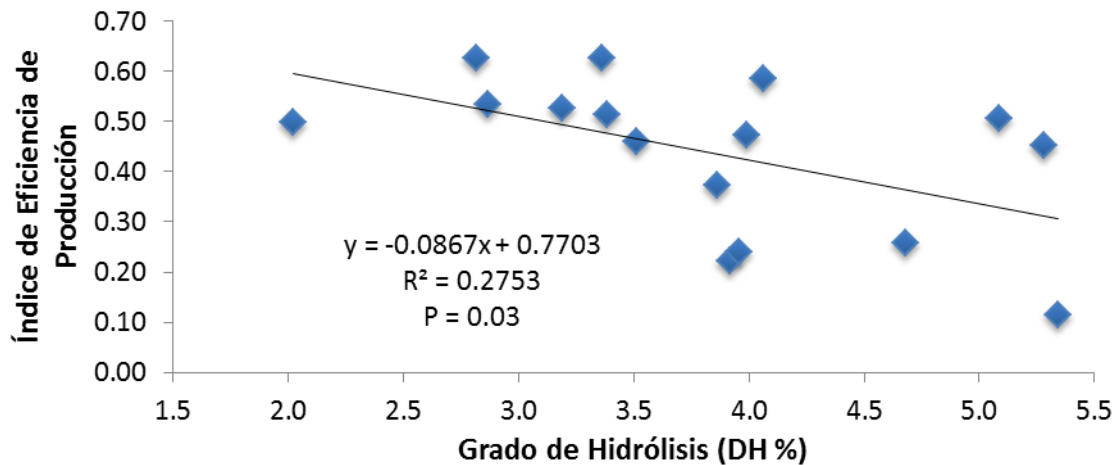
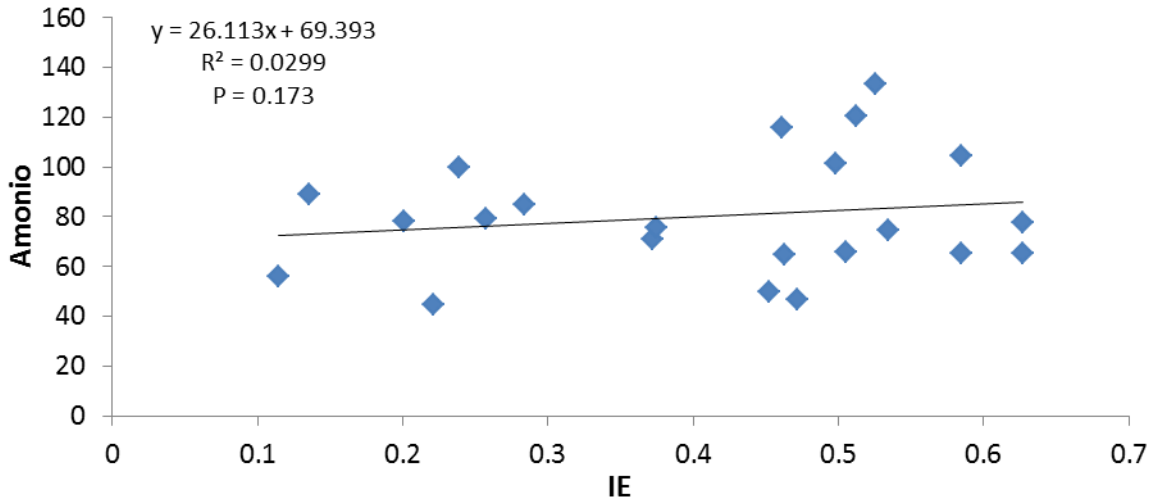
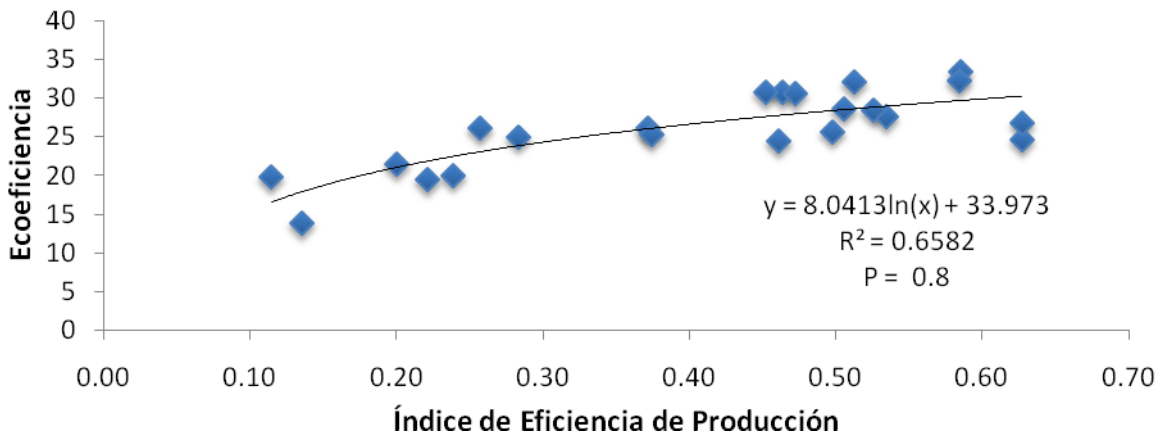


Figura 16. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el Índice de Eficiencia de Producción a diferente Grado de Hidrólisis (DH%) para cada uno de los 22 alimentos comerciales.



**Figura 17. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta el amonio producido a diferente Índice de Eficiencia de Producción para cada uno de los 22 alimentos comerciales analizados.**



**Figura 18. Análisis de regresión y correlación para observar cómo se comporta la ecoeficiencia a diferente Índice de Eficiencia de Producción para cada uno de los 22 alimentos comerciales analizados.**

## VIII. DISCUSIÓN

Los alimentos comerciales para camarón han sido parte fundamental del éxito en las producciones a gran escala en México, ya que se destina hasta un 60% de los costos totales de producción (Chávez-Calvillo *et al.*, 2010) en la compra del insumo. El sistema semi-intensivo provoca un impacto predominante de los alimentos ya que la producción natural no siempre ha sido bien adjudicada (20 - 40 % en formación de tejido); la ausencia de equilibrio en el ambiente y la acumulación de lodo en los estanques hacen a éste sistema menos sustentable. La fuerte contribución de la calidad del alimento y su estabilidad en particular, es un pre-requisito mayor que incrementa el costo y lleva a considerar sistemas de cultivo alternativos (Cuzon *et al.*, 2004). La mayoría de las granjas en México son del tipo semi-intensivo, seguido de una tendencia a incrementar el tipo intensivo, por tales motivos el suministro de alimentos comerciales también requerirá de una revisión, monitoreo y clasificación de los alimentos comerciales para tener un control y ofrecer confianza y seguridad a los productores y consumidores de las diversas compañías de alimentos comerciales.

En la actualidad se utilizan técnicas más eficientes de cultivo que han logrado reducir los costos en el cultivo de *Litopenaeus vannamei* y aun se pueden producir ahorros mediante la optimización de las formulaciones de alimento (Akiyama *et al.*, 1992 y Sarac *et al.*, 1993). Las formulaciones hoy en día están basadas en datos obtenidos de estudios que miden parámetros de crecimiento del cultivo de *L. vannamei* y sus dietas están formuladas mediante ajustes de las fuentes de proteína para así cumplir con los requerimientos de proteína cruda que ya han demostrado producir un crecimiento óptimo confiando solamente en la composición bruta de la dieta, en lugar de la composición digestible, produciendo alimentos sobre-formulados, aumentando tanto los costos como los niveles de contaminación (Córdova-Murueta y García-Carreño, 2002; Shiau *et al.*, 1992) ya que pueden acumular nitrógeno inorgánico en el agua de cultivo (Velasco *et al.*, 1999). Por tales motivos es necesario buscar métodos para elegir los alimentos que se utilizarán para una mejor producción.

Tradicionalmente, el contenido de proteína en los alimentos comerciales venía siendo un juicio en el que los productores de camarón confiaban para tomar sus decisiones al momento de elegir un alimento comercial, sin embargo, al pasar el tiempo y con el aumento de la información y nuevos conocimientos científicos, se ha venido cambiando el juicio con el que los productores eligen en qué alimento confiarán para obtener mejor eficiencia y altos rendimientos. Los métodos clásicos para la determinación de proteína incluyen el análisis Kjeldahl, entre otros, y éstos métodos involucran reacciones más severas que aquellas que ocurren durante la digestión natural; además liberan nutrientes que serían inaccesibles para el animal (Anderson *et al.* 1993). La cantidad de proteína, como se observó en el presente trabajo (ver Cuadro 3), no es un indicador de la calidad del alimento, ni puede predecir la eficiencia de producción ni los rendimientos ya que los diferentes alimentos comerciales para camarón presentaron diferencias significativas al ser sometidos a índices de medición de eficiencia y rendimiento (ver Fig. 1). Velasco *et al.* (2001) examinaron el efecto de la proteína en alimentos para *L. vannamei* en un intento de verificar el crecimiento a 10 - 33 % de proteína cruda y 3 - 7 % de lípidos. El crecimiento no tuvo diferencias con excepción del alimento con 10 % de proteína, el cual fue significativamente más bajo. En un segundo bioensayo, Velasco *et al.* (2001) encontraron un nivel óptimo de proteína cruda en los alimentos, 21.4 % (bioensayo 1) y 24.5 % (bioensayo 2). La composición nutricional, calidad y digestibilidad de los alimentos varía según la frescura y tipo de materia prima cruda y procesamiento durante la producción (Smith *et al.*, 2000).

Al no poder utilizar la proteína para predecir la eficiencia de producción que tendrá un alimento comercial se optó por encontrar otras variables que al ser medidas pudieran arrojar datos predictivos de la eficiencia que podría tener un alimento comercial reflejado en la producción. Los alimentos comerciales fueron suministrados a grupos de camarones para medir su Índice de Eficiencia de Producción (IEP) en los que se logró separar a aquellos que mostraron un mejor IEP de aquellos con uno menor, de ahí nace el proponer al IEP para ser utilizado en la

evaluación de un alimento comercial ya que en éste índice se agrupan las variables más utilizadas en la valoración y monitoreo de la producción en cultivos de camarón. En granja, éstas variables son utilizadas también para la toma de decisiones, por lo que siempre están en uso. Se monitorea el crecimiento, la supervivencia y el factor de conversión alimenticia. El IEP agrupa a las tres en una sola fórmula para no excluir ninguna de las variables asociadas con la eficiencia en la producción. Por lo tanto, si un alimento comercial al ser suministrado a una población de camarones presenta un buen crecimiento, una alta supervivencia y un buen factor de conversión alimenticia, entonces presentará un mejor IEP que aquellos que tuvieron bajo crecimiento, baja supervivencia y un factor de conversión alimenticia muy pobre o una combinación entre ellos.

Los 22 alimentos comerciales para camarón que fueron puestos a prueba en los bioensayos presentaron diferencias significativas entre ellos al expresar el IEP (ver Fig. 1) debido a que los alimentos contienen ingredientes diferentes, por lo tanto su eficiencia de producción será diferente. El análisis de varianza arrojó 3 grupos significativos (a, b y c), el primero (a) agrupando el mayor número de alimentos comerciales (15) con un alto Índice de Eficiencia de Producción, el segundo grupo consistió en 16 alimentos comerciales similares estadísticamente entre ellos (b) y el último grupo (c) agrupando a 10 alimentos similares entre ellos. Los 3 grandes grupos son una expresión de alimentos comerciales con un alto IEP, alimentos con un IEP medio y alimentos con IEP bajo. El IEP es de gran importancia como un indicador de la eficiencia de un alimento comercial. Aun así, el revisar alimentos comerciales bajo la utilización del IEP requiere de un gran esfuerzo en inversión económica y tiempo, por lo cual el encontrar posibles variables de predicción del IEP sería de gran ayuda para minimizar dicho esfuerzo, ahorrando tiempo y dinero. Los bioensayos *in vivo* han sido los métodos más utilizados. Aunque estos métodos son usualmente utilizados, son métodos no óptimos, laboriosos y costosos que requieren de mucho tiempo para la obtención de resultados (Lan y Pan, 1993).



Se pudieron haber obtenido bajos IEP para algunos alimentos que tuvieron altos porcentajes de ceniza y fibra cruda, Yang *et al.*, (2009) mencionan que se pueden tener digestibilidad reducida en alimentos en los que se incrementó el contenido de fibra cruda y cenizas. Terrazas-Fierro *et al.*, (2010) recomienda un monitoreo permanente de los ingredientes crudos, su composición química, y condiciones de producción porque el contenido de nutrientes al igual que la biodisponibilidad, cambian entre lotes, especialmente los de harina de pescado.

El conocimiento de la digestibilidad de nutrientes contribuirá a preparar alimentos con los niveles apropiados de proteína digestible y aminoácidos esenciales para camarón blanco. El grado de digestión del almidón se relaciona con los niveles de inclusión en el alimento entre 10 % y 50 %, y a su fuente (el almidón de papa con gránulos grandes es menos digestible que el almidón de maíz y trigo que presentan gránulos más pequeños). Cousin *et al.* (1993) mencionan que las amilasas de los camarones son altamente eficientes en digerir el almidón de trigo y Cuzon *et al.* (2004) mencionan que los camarones parecen usar la energía derivada de aminoácidos más eficientemente que la energía proveniente de la glucosa y también hacen la aseveración que los camarones necesitan más proteína que carbohidratos de los alimentos. De igual manera la utilización de ácidos grasos variará de acuerdo a la fuente de los lípidos y a la proporción entre las diferentes clases de lípidos (Cuzon *et al.*, 2004). Lim *et al.* (1997) encontraron que los ácidos grasos n-6 y n-3 son esenciales para *L. vannamei*, sin embargo, los ácidos grasos n-3 promueven crecimiento más rápido que los ácidos grasos n-6. Por lo tanto sería de gran importancia saber el origen de los carbohidratos y lípidos en cada uno de los alimentos comerciales analizados para así poder discutir si los carbohidratos o lípidos fueron factor en la obtención de determinado IEP. Algunos ingredientes disponibles regionalmente como semillas de plantas y harinas de pescado pudieran ser una fuente barata de proteína para la formulación de alimentos, sin embargo, estos ingredientes pueden contener factores antinutricionales que inhiben la actividad enzimática digestiva, disminuyendo las tasas de crecimiento (García-Carreño, 1996), o pudieran ser de calidad pobre debido al manejo y procesamiento de la materia

prima (García-Carreño, 1998). Los ingredientes utilizados para formular los alimentos pueden interferir en su digestibilidad y posterior aprovechamiento; alimentos hechos con algunas semillas de leguminosas parecen inhibir el grado de hidrólisis de la proteína obtenido con extracto de glándula digestiva de *L. vannamei* (García-Carreño *et al.*, 1997).

Se propusieron diferentes posibles variables de predicción del IEP que debido a su relación en general con el rendimiento fueron consideradas para su análisis en búsqueda de calificarlas como útiles para predecir el IEP en función de los alimentos comerciales. Las posibles variables de predicción propuestas fueron: el Índice Hepatosomático (IHS), la Proteína Total y Actividad Total en toda la Glándula Digestiva, el Grado de Hidrólisis (DH%) y la Ecoeficiencia.

El Índice Hepatosomático (IHS) es una de las posibles variables de producción ya que éste considera tanto el peso del hepatopáncreas como el peso del resto del organismo para evaluar en lo general el estado del organismo con respecto a su glándula digestiva. Sin embargo el IHS no resultó tener correlación con el IEP (Fig. 13) ya que el estado fisiológico expresado en el IHS no es determinante de la eficiencia que tendrá en producción.

En la búsqueda de posibles variables predictivas del IEP se consideró a la digestibilidad *in vitro* debido a que tiene el beneficio potencial de manejar un gran número de muestras, por su relación costo-eficacia y economía con respecto a las cantidades de materia prima (Ezquerro *et al.*, 1997a; Ezquerro *et al.*, 1998; Lemos *et al.*, 2000; Córdova-Murueta y García-Carreño, 2002). Sin embargo la digestibilidad *in vitro* (expresado como porcentaje grado de hidrólisis, DH%) tuvo una correlación baja con el IEP (Fig. 16) y por lo tanto no puede ser considerada para usarse como predictiva del IEP. La digestibilidad *in vitro* involucra procesos que no precisamente podrán ser traducidos a eficiencia de producción ya que solo expresa la cantidad de enlaces rotos por el complejo enzimático obtenido a partir de las glándulas digestivas de los camarones y no considera las condiciones ambientales a la que serían

sometidos los organismos *in vivo*. Ezquerro *et al.*, (1997b) obtuvieron fuertes correlaciones entre la digestibilidad *in vivo* e *in vitro* usando el método pH stat, desafortunadamente, esa correlación fue solamente válida cuando los coeficientes de digestibilidad fueron determinados y comparados de acuerdo al tipo de proteína (origen, por ejemplo animal o vegetal) significando esto un obstáculo difícil de superar al analizar alimentos comerciales donde en gran manera es incierto conocer el origen de todos los ingredientes. Divakaran *et al.*, 2004 comprobó que la correlación de los resultados se da solo cuando se compara la digestibilidad de proteína de origen animal con vegetal, pero si existe una mezcla de proteínas de distintos orígenes, como podría ser el caso de algunos alimentos comerciales, los resultados que se obtienen son solo aproximados y no correlacionan. Fox y Lawrence (2008) mencionan que aunque los métodos *in vitro* han sido mejorados substancialmente desde 1997, aún parecen incapaces de remplazar las pruebas *in vivo* especialmente cuando uno desea determinar algo más que solo la digestibilidad aparente de proteína, como es el caso al querer determinar el IEP en el presente trabajo.

La ecoeficiencia tampoco tuvo correlación con el IEP (Fig. 18). Terrazas-Fierro *et al.*, (2010) utilizan la suma total del nitrógeno de los aminoácidos en lugar de utilizar el contenido de nitrógeno total (mediante un factor de conversión de 6.25) de los alimentos ya que así la suma será exacta del nitrógeno proteico y no de un estimado aproximado. Los cálculos podrían ser más exactos al seguir la metodología usada por Terrazas-Fierro *et al.*, (2010), el cual realiza cálculos directamente de los aminoácidos y no de el nitrógeno total. Los procesos catabólicos que intervienen en la digestión no expresaron el nivel de IEP de los alimentos comerciales. En cultivos de alta densidad, casi el 78% del nitrógeno del alimento es liberado al ambiente (Jackson *et al.*, 2003). Los alimentos de baja digestibilidad conduce a la acumulación de desechos nitrogenados en agua y sedimentos los cuales a su vez pueden llevar a enfermar a los camarones y a obtener alta mortalidad (Lin *et al.*, 2006). Cuzon *et al.* (2004) mencionan que solo el 40 % de la proteína en el alimento es retenida y el 60 % se pierde u oxida.

Las dos variables que tuvieron una correlación alta con el IEP son la cantidad total de proteína y la actividad total de tripsina en toda la glándula digestiva (Figs. 14 y 15). La correlación presentó significancia con el IEP en ambos casos. Lan y Pan (1993) indicaron la influencia relativamente alta de la tripsina comparada a otras enzimas proteolíticas. Van Wormhoudt *et al.* (1980) y Maugle *et al.* (1983) demostraron una relación positiva entre la actividad enzimática y el crecimiento del camarón. Chuang *et al.* (1985) propusieron que la actividad de las enzimas digestivas aumenta con el nivel de proteína en la dieta. La actividad de las proteinasas digestivas de camarón parece ser estimulada por alimentos de baja calidad (Lee and Lawrence, 1986; Rodríguez *et al.*, 1994; Lemos y Rodríguez, 1998). Lemos *et al.*, (2000) encontraron que las principales proteasas son la tripsina y quimotripsina en *L. vannamei* y tuvieron actividades más altas cuando fueron alimentados con alimentos de baja calidad proteica al compararlos con otros alimentos.

Sin embargo, hay un punto que necesita establecerse antes de poder utilizar eficazmente la cantidad total de proteína en glándula digestiva de organismos alimentados con cierto alimento como predicción del IEP ya que solamente probó ser válido cuando las cantidades de proteína en GD son mayores a 10% ya que a cantidades menores el IEP podría tomar valores altos o bajos (ver Fig. 19). Para solucionar esto hay que hacer estudios a futuro para encontrar los valores adecuados para cada talla de los organismos o bien, establecer cantidades probables con alimentos buenos y malos como estándares en los cuales se puedan basar mediciones posteriores.

De igual forma solo se podría utilizar la actividad total de tripsina en toda la glándula digestiva como predictiva del IEP cuando la actividad total en toda la glándula digestiva sea mayor a 180, ya que a cantidades menores la dispersión tiende a ser mayor al correlacionarla con el IEP. Al tener cantidades mayores a 180 la dispersión se cierra y se obtiene una correlación sin dispersión, lo que indica que

podría utilizarse como predictiva del IEP solo a cantidades mayores a 180 para camarones *Litopenaeus vannamei* de 4 - 8 g de peso.

Casi todos los estudios sobre los requerimientos nutricionales se han enfocado a nivel producción a la mejor ganancia en peso pero está claro que se debería considerar alimentos con mejor FCA, con mejor retención de proteína y una composición óptima de los organismos alimentados (Cuzon *et al.*, 2004).

Desde el punto de vista nutricional, hay dificultades para relacionar los resultados de laboratorio con los resultados en los estanques, principalmente debidos a la interferencia de la productividad natural. Su contribución es muy difícil de abordar ya que la variabilidad en la evolución de los florecimientos es muy alta e impredecible (Cuzon *et al.*, 2004). Debido a ésto, los resultados obtenidos difícilmente podrán ser reproducidos en las granjas, pero dan indicio del posible desempeño de los alimentos comerciales.

## IX. CONCLUSIONES

- Los alimentos comerciales para camarón cumplen con lo reportado en las etiquetas en cuanto al contenido de proteínas.
- El contenido total de proteína reportado en las etiquetas de los alimentos comerciales para camarón no es indicador del IEP que tendrán dichos alimentos.
- Existen alimentos comerciales para camarón que presentan un mayor Índice de Eficiencia de Producción (IEP) que otros.
- La digestibilidad *in vitro*, la ecoeficiencia y el Índice Hepatosomático no son aplicables para predecir el IEP de un alimento comercial para *Litopenaeus vannamei* ya que no tuvieron correlación con el IEP.
- La actividad total de tripsina y el contenido total de proteína en toda la glándula digestiva son variables que están relacionadas con el Índice de Eficiencia de Producción y podrían ser utilizados para su predicción
- Se recomienda optimizar los análisis de contenido total de proteína y actividad total de tripsina en glándula digestiva para la predicción del IEP.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- Adler-Nissen, J. 1986. Enzymatic Hydrolysis of Food Protein. Elsevier, London, 427 pp.
- Akiyama, D. M., W.G. Dominy, y A.L. Lawrence. 1991. Penaeid shrimp nutrition for the commercial feed industry: Revised. Pages 80-98 in D.M. Akiyama and R.K.H. Tan, editors. *Proceedings of the Aquaculture and Feed Processing and Nutrition Workshop*. Singapore, Republic of Singapore.
- Akiyama, D. M., Dominy, W. G., Lawrence, A., 1992. Penaeid shrimp nutrition. En: Fast, A. W., Lester, J. (Eds.), *Marine Shrimp Culture: Principles and practices*. Elsevier, Amsterdam, pp. 535-567.
- Anderson, S. J., Lall, S. P., Anderson, D. M. y McNiven, M. A. 1993. Evaluation of protein quality in fish meals by chemical and biological assays. *Aquaculture*. 115, 305-325.
- Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. 2010. Comision Nacional de Acuicultura y Pesca. SAGARPA. Mazatlán, Sinaloa, México.
- Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. 2011. Comision Nacional de Acuicultura y Pesca. SAGARPA. Mazatlán, Sinaloa, México.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1980. Official methods of analysis, 13<sup>th</sup> edition. Association of official analytical chemists, Washington, D.C., 1108 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official methods of analysis, 18<sup>th</sup> edition. Association of official analytical chemists, Washington, D.C., 1108 p.

- Arenal A., Fajardo J., Pimentel E., Hidalgo L., Pacheco M., García C. y Santiesteban D. 2006. Complete and partial replacement of *Artemia nauplii* by *Moina micrura* during early postlarval cultura of white shrimp (*Litopenaeus schmitti*). *Aquaculture Nutrition*. 12:89-96.
- Bradford, M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye-binding. *Anal. Biochem.*, 72:248-254.
- Brock, J. y K. L. Main. 1994. A guide o the common problems and diseases of cultured *Penaeus vannamei*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA. 242 pp.
- Brown, P., Robinson, E., Clark, A. y Lawlence, A. L. 1989. Apparent digestible energy coefficients and associative effects in practical diets for rid swamp crayfish. *Journal of the world aquaculture society*. Vol. 20 (3):122-126.
- Carrillo, O. F. 1994. Producto multienzimático del hepatopáncreas de camarón: reactivo y suplemento dietético. Memorias del segundo simposium internacional de nutrición acuícola. Facultad de ciencias biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León del 7 al 9 de Noviembre.
- Chávez-Calvillo, G., Pérez-Rueda, E., Lizama G., Zúñiga-Aguilar, J. J., Gaxiola, G., Cuzon, G. y L. Arena-Ortíz. 2010. Differential gene expression in *Litopenaeus vannamei* shrimp in response to diet changes. *Aquaculture*. 300: 137-141.
- Chuang, J. L., Lee, M. F. y Jenn J. S. 1985. Comparison of digestive enzyme activities of five species of shrimp cultured in Taiwan. *J. Fish. Soc. Taiwan* 12, 45-53.



- Cruz Suárez, L.E., Ricque Marie, D. y Mendoza Alfaro, R. Editores. 1999. Avances en Nutrición Acuícola III. Memorias del Tercer Simposio Internacional de Nutrición y Tecnología de Alimentos. 1999. 11-13 Noviembre, 1996. Monterrey, N.L., México. ISBN 968-7808-62-4. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N.L. México. 71 PP.
- Cruz-Suárez, L. E. 2009. Apparent dry matter, energy, protein and amino acid digestibility of four soybean ingredients in white shrimp *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Aquaculture*. 292 (2009) 87-94.
- Córdova-Murueta, J. H., García-Carreño, F. L., 2002. Nutritive value of squid and hydrolyzed protein supplement in shrimp digestive feed. *Aquaculture* 210, 371-384.
- Cousin, M., Cuzon, G., Blanchet, E. y Ruelle, F. 1993. Protein requirements following an optimum dietary energy to protein ratio for *Penaeus vannamei* juveniles. En: Kaushik, Luquet, P. (Eds.), 4. Int. Symp. Fish Nutrition and Feeding, Biarritz (France), 24-27 Jun 1991 Colloq. INRA, vol. 6, pp. 599-606.
- Cuenca, E. M. y García-Gallego, M. 1987. Ingesta y conducta alimentaria. En: Espinosa de los Monteros, J. y Labarta, U. (Eds.). *Nutrición en Acuicultura I*, CAICYT. pp. 1-65.
- Cuzon, G., Lawrence, A., Gaxiola, G., Rosas, C y Guillaume, J. 2004. Nutrition of *Litopenaeus vannamei* reared in tanks or in ponds. *Aquaculture* 235, 513-551.
- Devresse, B. 1999. Las deficiencias nutricionales más frecuentes en alimentos para *Litopenaeus vannamei*. *Panorama acuícola* 4(4): 8-11.

- Dimes, L. and Haard, N. 1994. Estimation of protein digestibility. I. Development of an *in vitro* method for estimating protein digestibility in salmonids (*Salmo gairdneri*). Comp. Biochem. Physiol. 108A:349-362.
- Divakaran, S., Ostrowski, C. A. 1990. Enzymes present in pancreatic extracts of the dolphin *Coryphaena hippurus*. J. World Aquacult. Soc. 1, 35-40.
- Divakaran, I., Forster & M. Velasco. 2004. Limitations on the use of shrimp *Litopenaeus vannamei* midgut gland extract for the measurement of *in vitro* protein digestibility. Aquaculture, 239: 323-329.
- Ezquerro, M., García Carreño, F., Civera, R. and Haard, N. 1997a. pH-stat method to predict digestibility in white shrimp (*Penaeus vannamei*). Aquaculture 157:249-260.
- Ezquerro, M., García Carreño, F. y O. Carrillo. 1997b. *In vitro* digestibility of dietary protein source for white shrimp (*Penaeus vannamei*). Aquaculture. In Press.
- Ezquerro, J. M., García-Carreño, F. L., Carrillo, O., 1998. *In vitro* digestibility of dietary protein sources for white shrimp (*Penaeus vannamei*). Aquaculture 163, 123-136.
- Forrellat, A. 1998. El hepatopáncreas de camarón: Fuente de enzimas digestives para la camaronicultura. Tesis Doctoral. Universidad de la Habana. 109 pp.
- Forster, I. P. y W. D. Dominy. 2006. Efficacy of three methionine sources in diets for Pacific White shrimp, *Litopenaeus vanammei*. J. World Aquaculture Society. 37 (4), 474-480.

- Fox, J. 2001. Métodos para mejorar la camaronicultura en Centroamérica. Nutrición y manejo del alimento. Texas A&M University. Corpus Christi, Texas, USA. 65-90 pp.
- Fox, C., Brown, H. J. y Briggs, M. 1994. The nutrition of prawns and shrimp in aquaculture – a review of recent research. In: Muir, J. F., Ronald, R. J. (Eds.), Recent Advances in Aquaculture, vol. V. Blackwell, Oxford. 131-206 pp.
- Fox, J. M. y Lawrence, A. L. 2008. Revisión de la Metodología Utilizada para Determinar la Digestibilidad Aparente de Nutrientes en Camarones Peneidos Marinos. Editores: Cruz-Suárez, L. E., Villarreal-Colmenares, H., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M. G., Villarreal-Cavazos, D. A. y Ricque Marie, D. Manual de Metodologías de Digestibilidad *in vivo* e *in vitro* para Ingredientes y Dietas para Camarón. Universidad Autónoma de Nuevo León, Mty., N. L. México. ISBN: 978-607-433-020-5. pp 238.
- García-Carreño, F. L. 1996. Proteinase inhibitors. Trends Food Sci. Technol. 7, 197-204.
- García-Carreño, F. L. 1998. Prediction of protein digestibility in shrimp and use of second generation protein ingredients in aquaculture feeds. En: IV international Symposium Nutrition in Aquaculture. La Paz, BCS, México, November 15-18. CIBNOR, La Paz, BCS, México, Conference.
- García-Carreño, F. L., Navarrete del Toro, M. A. and Ezquerro, M. 1997. Digestive shrimp proteases for the evaluation of protein digestibility. I: The effect of proteinase inhibitors in protein ingredients. Journal of Marine Biotechnology 5: 36-40.

- Hajen, W., Beames, R., Higgs, D and Dosanjh, B. 1993. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (*Onchorhynchus tshawytscha*) in sea wáter: Validation of technique. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam. Aquaculture. 112: 321-332.
- Hochachka, P. W. y Somero, G. N. 1984. Biochemical Adaptation. Princeton University Press. N. J. USA. 537 pp.
- Jackson, C., Preston, N., Thompson, P. J., Burford, M. 2003. Nitrogen budget and effluent nitrogen components at an intensive shrimp farm. Aquaculture 218, 397-411.
- Jory, D. E. 2001. Manejo Integral del Alimento de Camarón, de Estanques de Producción Camaroneros y Principios de Bioseguridad. *Curso Lance en Acuacultura*. Monterrey, Nuevo León, México. 76 pp.
- Kanazawa, A., and S. Teshima. 1981. Essential amino acids of the prawn. *Bul. Jap. Soc. Sci. Fish.* 43(9): 1111-1114.
- Lan, C. and Pan, B. 1993. *In vitro* digestibility simulating the proteolysis of feed protein in the midgut gland of grass shrimp (*Penaeus monodon*). Aquaculture, 109:59-70.
- Lazo, J. P. 1994. Evaluation of several *in vitro* enzyme assays for estimating *in vivo* apparent protein digestibility by the pacific white shrimp *Penaeus vannamei*. Thesis Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. 62 p.
- Lee, P. and Lawrence, A. L. 1986. Effects of diet and size on growth, feed digestibility and digestive enzyme activities of the marine shrimp, *Penaeus setiferus* Linnaeus. J. World Maric. Soc. 16, 275-287.

- Lee, P. and Lawrence, A. L. 1997. Digestibility. Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture, Vol. 6 (World Aquaculture Society). Baton Rouge, Louisiana 70803, USA. ISBN: I-8888-07-00-8. pp 194-259.
- Lemos, D., Ezquerro, J. M., García-Carreño, F. L., 2000. Protein digestion in penaeid shrimp: digestive proteinases, proteinase inhibitors and feed digestibility. Aquaculture 186, 89-105.
- Lemos, D., y Rodríguez, A. 1998. Nutritional effects on body composition, energy content and trypsin activity of *Penaeus japonicus* during early postlarval development. Aquaculture 160, 103-116.
- Lim, C., Ako, H., Brown, C. L. y Hahn, K. 1997. Growth response and fatty acid composition of juvenile *Penaeus vannamei* fed different sources of dietary lipid. Aquaculture 151 (1-4), 143-153.
- Lin, H. Z., Li, Z. J., Chen, Y. Q., Zheng, W. H., Yang, K. 2006. Effect of dietary traditional Chinese medicines on apparent digestibility coefficients of nutrients for white shrimp *Litopenaeus vannamei*, Boone. Aquaculture 253, 495-501.
- Ma, T. Y. y Anderson, J. M. 2006. Tight junctions and the intestinal barrier. En: Physiology of the gastrointestinal tract, Fourth Edition, edited by Leonard R. Johnson. Academic Press. 1559-1594 pp.
- Marletta, L., Carbonado, M. and Carnavale, E. 1992. *In vitro* protein and sulfur amino acid availability as a measure of vean protein quality. J. Sci. Food Agric. 59: 497-504.
- Maugle, P. D., Deshimaru, O., Katayama, T., Nagatan, T., Simpson, K. L. 1983. Effect of microencapsulated amylase and bovine tyrosine dietary supplements on growth and metabolism of shrimp. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 49, 1421-1427.

- Mendoza, A. R. 1994. Métodos para evaluar la digestibilidad proteica de los alimentos destinados a los organismos acuáticos. Memorias del primer simposium internacional de nutrición y tecnología de alimentos para acuicultura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Mendoza-Alfaro, R., Montemayor, J., Verde, J. y Aguilera, C. 1999. Quimoatracción en crustáceos: papel de moléculas homólogas. En: Cruz-Suárez, L. E. Ricque-Marie, D. y Mendoza-Alfaro, R. (Eds.). Avances en Nutrición Acuícola III. *Memorias del Tercer Simposio Internacional de Nutrición Acuícola*. Monterrey, Nuevo León, México, pp. 365-401.
- Moughan, P. J., Schrama, J., Skilton, G. A. and Smith, W. C. 1989. *In vitro* determination of nitrogen digestibility and lysine availability in meat and bone meals and comparison with *in vivo* ileal digestibility estimates. *J. Sci. Food Agric.* 47:281-292.
- Muñoz, O. 2004. Comparación entre extruido y pelletizado en alimentos de camarones. En: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Nieto-López, M.G., Villarreal, D., Scholz, U. y González, M. (Eds.). Avances en Nutrición Acuícola VII, *Memorias del VII Simposio Internacional de Nutrición Acuícola* (Resúmenes). Hermosillo, Sonora, México, pp. 397-417.
- Nicovita. 2010. Alimentación de peces y camarones. Alicorp Perú.
- Nieto-López, M. G., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Guajardo-Barbosa, C. y Cruz-Suárez, L. E. 2008. Métodos utilizados en la Universidad Autónoma de Nuevo León para la medición de digestibilidad *in vitro* para camarón. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León.

- Páez-Osuna, F. 2001. The environmental impact of shrimp aquaculture: causes, effects and mitigating alternatives. *Environ. Man.* 28, 131-140.
- Pérez-Rostro, C. I. e Ibarra A. M. 2003. Heritabilities and genetic correlations of size traits at harvest size in sexually dimorphic Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) grown in two environments. *Aquaculture Research.* 34:1079-1085.
- Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 2001. Diccionario esencial de las ciencias Siglo XXI. ESPASA. 1022 pp.
- Rodríguez, W. 2007. Indicadores productivos como herramienta para medir la eficiencia del pollo de engorde. AMEVEA-Ecuador.
- Rodríguez, A., Le Vay, L., Mourente, G. y Jones, D. A. 1994. Biochemical composition and digestive enzyme activity in larvae and postlarvae of *Penaeus japonicus* during herbivorous and carnivorous feeding. *Mar. Biol.* 118, 45-51.
- Romero, J. J. y Manríquez, J. A. 1993. Esfuerzos desarrollados en Chile para disminuir el impacto ecológico de la alimentación en centros de cultivos de peces. 10 pp. Seminario Internacional Acuicultura y Medio Ambiente. Santiago, 2-3 Septiembre de 1993. Fundación Chile. 189 pp.
- Rosenberry, B. 2004. World Shrimp Farming 2004. An anual report. En: Rosenberry, B. (Ed.). *Shrimp News International*, EUA, 276 pp.
- Sarac, Z., Thaggard, H., Saunders, J., Gravel, M., Neill, A., Cowan, R. T. 1993. Observations on the chemical composition of some commercial prawn feeds and associated growth responses in *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 115, 97-110.

- Shiau, S. Y., Lin, K. P., Chiou, C. L., 1992. Digestibility of different protein sources by *Penaeus monodon* raised in brackish water and in sea water. *Journal of Applied Aquaculture* 1, 47-53.
- Smith, D. M., Allan, G. L., Williams, K. C., Barlow, C. G. 2000. Fishmeal replacement research for shrimp feed in Australia. In: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Olvera-Novoa, M. A., Civera-Cerecedo, R. (Eds.), *Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. Noviembre 19-22, 2000, Mérida, Yucatán, México, pp. 277-286.
- Tacon, A. G. J. 1989. *Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Manual de capacitación*. FAO. Italia.
- Tacon, A. 1995 a. Feed formulation and on-farm feed management. *FAO Fish. Tech. Pap.* 343: 61-74.
- Tacon, A. 1995 b. Application of nutrient requirement data under practical conditions: special problems of intensive fish farming systems. *J. Appl. Ichthyol.* 11: 205-214.
- Tacon, A., Cody, J. J., Conquest, L.D. Divakaran, S., Forster, I. P. y Decamp, O.E. 2002. Effects of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. *Aquacult. Nutr.* 8: 121-138.
- Terrazas-Fierro, M. 2005. Efecto de la incorporación de harina de pescado con distinto grado de cocción a dietas para pollos de engorda formuladas a un perfil de aminoácidos digestibles.



- Terrazas-Fierro, M. 2010. Apparent digestibility of dry matter, protein, and essential amino acid in marine feedstuffs for juvenile whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 308, 166-173.
- Van Wormhoudt, A., Ceccaldi, H. T., Martin, B. J. 1980. Adaptation of the level of hepatopancreatic digestive enzyme in *Palaemon serratus* (Crustacea, Decapoda) to the composition of experimental diets. *Aquaculture* 21, 63-78.
- Vega-Villasante, F., Nolasco, H., Chong, O., Fallarero, A. y Carrillo, O. 2004. Functional Feeds in shrimp nutrition the new research? Theoretical concept and practical approach. *Panorama Acuícola Magazine* 9(4):21-25.
- Velasco, M., Lawrence, A. L. Neill, W. H. 1999. Efectos de la proteína y el fósforo dietario en la calidad de agua de acuicultura. En: Cruz, L. E., Mendoza, R. E., Ricque, D. (Eds.), *Memorias del Tercer Simposio Internacional de Nutrición Acuícola*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. pp. 597-612.
- Velasco, M., Lawrence, A. L. Neill, W. H. 2001. Comparison of survival and growth of *Litopenaeus vannamei* (Crustacea:Decapoda) postlarvae reared in static and recirculating culture systems. *Texas. J. Sci.* 53 (3), 227-238.
- Villarreal, H. and Castro M. P. (1992) Preliminary studies on the effect of protein content on the growth of *Penaeus vannamei* at marine salinities. *Aquaculture* 92:225-226.
- Villarreal-Cavazos, D. A. 2008. Digestibilidad aparente de aminoácidos de 10 harinas de pescado utilizadas en alimentos comerciales para camarón blanco (*L. vannamei*) en México.

Whitaker, J. R. 1994. Principles of enzymology for the food sciences. 2nd Edition. Marcel Dekker, New York, N. Y. 625 pp.

Yang, Q., Zhou, X., Zhou, Q., Tan, B., Chi, S., Dong, X. 2009. Apparent digestibility of selected feed ingredients for white shrimp *Litopenaeus vannamei*, Boone. Aquac. Res. 40, 1-9.