

Nutrición y Domesticación de *Litopenaeus vannamei*

Gaxiola, Gabriela, ⁽¹⁾ Brito, Abelardo, ⁽¹⁾ Maldonado, Carlos., ⁽¹⁾ Jimenez-Yan, Luis, ⁽¹⁾ Guzmán, Emilio ⁽¹⁾ Arena, Leticia, Brito, Roberto, ⁽³⁾ Soto, Luis A. ⁽⁴⁾ y Cuzon, Gerard

⁽¹⁾Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Sisal, UNAM, México.

⁽²⁾ Universidad Autónoma de Carmen

⁽³⁾ Instituto de Ciencias del Mar, UNAM Mexico DF.

⁽⁴⁾ Ifremer/COP, BP 7004, Taravao, Tahití, French Polynesia.

E-mail: mggc@hp.fciencias.mx

Resumen

En este trabajo se reúnen los resultados de un proyecto de investigación en el que el objetivo básico fue realizar un estudio de la nutrición y la domesticación de *L. vannamei*. Se presentan diversos aspectos de cómo el camarón puede adaptarse a una dieta primero en función de su composición y en segundo lugar según el número de las generaciones producidas en cautiverio. Este estudio proporciona los resultados que se refieren a variaciones ontogenéticas durante experimentos cortos, medios o a largo plazo en agua clara bajo condiciones del laboratorio. La comparación entre las poblaciones silvestres y domesticadas fue hecha entre camarones de diverso origen, en relación con la expresión génica de algunas enzimas digestivas. Esta comparación incluyó también como variables la calidad proteica y los carbohidratos en la dieta. El reemplazo de proteína animal por vegetal en la dieta para juveniles de camarón se ha estudiado ampliamente. En este trabajo se examinó la posibilidad de basar la composición de alimentos balanceados con fuentes vegetales de la proteína desde etapa de las postlarvas. La etapa de las postlarvas ofrece probablemente una flexibilidad grande, una plasticidad en términos de las actividades enzimáticas para prepararse para utilizar eficientemente las alimentaciones de dietas basadas en proteína vegetal en la etapa de los juveniles. Tal progresión requirió datos sobre aumento del peso, supervivencia, niveles digestivos de las actividades enzimáticas, algunas variaciones de las enzimas del metabolismo, reparto de la energía y variaciones de frecuencias alélicas en algunas enzimas digestivas. En resumen se analiza la interacción nutrientes-genes para el camarón. El paso siguiente es justo la selección posible de los individuos adaptados a una dieta extrema (alimentos ricos en almidón y con bajos contenidos de proteína de origen vegetal) que conjuntamente con una adaptación temprana produciría el camarón con un equipo genético que facilitará una nueva generación de alimentos formulados.

Palabras claves: fuentes de la proteína, polimorfismo, adaptación, ontogeny

Abstract

Nutrition and domestication of *L.vannamei* has been studied for several years at UNAM. It brings a multifacets of how shrimp can adapt to a diet first in function of its composition and second according to the number of generations produced in captivity. This study provides results that concern ontogenetic variations during short, medium or long term experiments in clear water under laboratory conditions. Such a series of studies take into account the genetic status of animals and a comparison between wild and domesticated populations was done on one occasion between *L.vannamei* from various origins. Analyses were done from natural of live food regimen, and its replacement with inert particles. Inert particles were based on marine protein sources and investigations were conducted then to replace animal protein with vegetable protein sources. This replacement was done on juveniles by many authors, however in the course of the present paper, it was examined the possibility to base feed composition on vegetable protein sources as early as larvae stage. Larvae stage offers probably a large flexibility, a plasticity in terms of enzymes activities to prepare to utilize efficiently all-plant feeds at juveniles stages. Such a progression required data on weight gain, survival, digestive enzymes activities levels, some metabolism enzymes variations, energy partitioning and variations of allelic frequencies on a digestive enzymes. It leads in final to explore the new area for shrimp of nutrient and gene expression. Next step is just at its beginning that is the possible selection of individuals adapted to a caricatured feed (starch-rich feed) that would in combination with an early preparation would produce shrimp with a genetic equipment easing a new generation of formulated feeds. This paper present ontogeny variations of energy partitioning, enzymes activities, some biochemical parameters of *L.vannamei* produced in hatchery with a given level of polymorphism, receiving formulated feeds (microcapsules, formulated feeds) and the work is extended from one generation. Then, it is taken into account some problems related to reproduction.

Key words: *L. vannamei*, protein sources, polymorphism, adaptation, ontogeny

Introducción

Un crustáceo que ha sido muy exitoso en su manejo en condiciones controladas es el camarón peneido. La especie más cultivada en el mundo en la actualidad es *Litopenaeus vannamei*, desde que China cambió su producción de camarón basada en las especies nativas de Asia (WAS 2002). Para *Litopenaeus vannamei* existen en la actualidad diversos programas de domesticación exitosos (Arena *et al.*, 2003; Ibarra *et al.*, 2002), basados en el criterio del crecimiento.

En particular Industrias Pecis, que es una industria camarónica asentada en la Península de Yucatán que logró un programa de cierre de ciclo de cultivo, con un programa de selección de progenitores, durante varios años, tomando como población basal, los reproductores provenientes de un programa de selección de familias de Panamá (Figueras, com pers). Estos organismos han servido como base para el estudio de carácter genético comparativo, usando como principal indicador la familia de genes que codifican para la enzima amilasa (Arena, *et al.*, 2002). Dicho estudio contempló un análisis comparativo, a nivel genético molecular, de tres poblaciones de *Litopenaeus vannamei*: una silvestre (proveniente de las costas de Sinaloa), una cultivada por 7 generaciones (Industrias Pecis) y una cultivada por 25 generaciones (proveniente del Centro Oceanológico de Tahiti, IFREMER). Se usaron los marcadores de aloenzimas y DNA mitocondrial de los genes de la alfa-amilasa y 16S. Los tres marcadores genéticos usados permitieron puntualizar diferencias genéticas entre las tres poblaciones, a través de la evaluación de la distancia genética y la pérdida de heterocigocis de las poblaciones cultivadas, en relación con la silvestre. Las consecuencias fenotípicas de la pérdida de heterocigocidad para la familia de genes de la alfa-amilasa fueron evaluadas en estas tres poblaciones (Arena *et al.*, en prensa). La consecuencia más importante está relacionada con la disminución significativa del crecimiento de los juveniles cultivados alimentados con dietas con altos carbohidratos cuando fue comparado con los juveniles alimentados con dietas pobres en carbohidratos.

En el mismo sentido, la interacción salinidad y carbohidratos dietéticos en los juveniles de la séptima generación de la granja de Industrias Pecis, fue evaluada llegando a la conclusión de que el metabolismo de carbohidratos es un proceso complejo, que depende de la salinidad y la dieta. Como era de esperarse estos camarones en proceso de domesticación están bien adaptados a vivir sin carbohidratos dietéticos, canalizando la energía para el crecimiento a través de la utilización de la proteína, con el consiguiente gasto de energía empleado en la excreción de los desechos nitrogenados, especialmente el amonio (Rosas *et al.*, 2002).

Ahora bien, si los camarones peneidos han sido clasificados como omnívoros oportunistas, por lo que presentan una amplia gama de enzimas digestivas, tales como proteinasas endoproteinasas, exoproteinasas, esterases no específicas, lipasas, amilasa, maltasa, sucrasa, quitinasa y celulasa (Lovett y Felder, 1990) y laminarinasa (Le Moullac *et al.*, 1992). La mayor parte de estas enzimas han sido determinadas para las larvas de *Litopenaeus vannamei* (Le Moullac *et al.*, 1992; 1994; Arena, 2004) han demostrado una pérdida de heterocigocidad para la familia de genes de la amilasa en los camarones en proceso de domesticación, en contraste con los silvestres, se puede suponer que los diferentes regímenes alimenticios pueden influir en la expresión de los genes relacionados con estas enzimas, tal como lo señala Van Wormhoudt (1996). Aunque no se cuenta en la actualidad con las evidencias directas de este proceso, si se sabe que las larvas de los camarones cultivados de la 25 generación (COP- Tahiti), son criadas de manera continua usando

Gaxiola, G., Brito, A., Maldonado, C., Jimenez, Y., Guzmán, E Arena, L., Brito, R., Soto, LA y Cuzon, G. 2006. Nutrición y Domesticación de *Litopenaeus vannamei*. En: Editores: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Villarreal Cavazos, Ana C. Puello Cruz y Armando García Ortega. Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 15-17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. ISBN 970-694-333-5.

como alimentos, la combinación de un alimento artificial, con un porcentaje relativamente bajo de carbohidratos y con un alto contenido de proteína (50%) y nauplios de *Artemia* (Cuzon, com pers) y las larvas cultivadas en la Granja de Industrias Pecis (México, Figueras, com pers) son alimentadas con microalgas y *Artemia*, solamente hasta que alcanzan la última muda metamórfica (PL₁) para en la fase postlarval se alimentadas solamente con base en nauplios de *Artemia* y alimentos microparticulados con proteína de origen animal, se podría pensar que la pérdida de capacidad de digestión de los carbohidratos, podría recuperarse si desde la cría larvaria se emplean regímenes alimenticios ricos en carbohidratos combinados con fuentes de proteína vegetal suplementada con fuentes de proteína animal en bajas concentraciones (tales como hidrolizados proteicos de origen marino) que sean adecuados en términos de su calidad proteica para obtener crecimientos comparables con los animales provenientes del ambiente natural.

Evaluar el efecto en el crecimiento, estado fisiológico y polimorfismo de la familia del gen de la α -amilasa, del uso de alimentos elaborados con diversas fuentes de proteína vegetal y almidón, durante todo el ciclo de vida de dos poblaciones del camarón *Litopenaeus vannamei*.

- a) Evaluar dietas ricas en carbohidratos y con proteína vegetal como la sustitución de los nauplios de *Artemia* en la alimentación de las postlarvas de *Litopenaeus vannamei*
- b) Evaluar el efecto de la sustitución de las fuentes de proteína animal marina por proteínas de origen vegetal en los juveniles provenientes de larvas y postlarvas alimentadas con alimentos con fuentes de proteína vegetal y almidón.
- c) Determinar el efecto de los alimentos elaborados con proteínas de origen vegetal en los descendientes de los camarones.

Breve descripción de la metodología:

Se realizaron 4 experimentos que se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Diseños experimentales y pruebas estadísticas que se aplicaron en los diferentes experimentos que hacen parte de la investigación

Experimento	Tipo de diseño y estadística	Repetición /tratamiento	Factores a evaluar	Respuestas evaluadas
Experimento 1 (Postlarvas de 15 días a PL ₅₉)	Completamente aleatorizado. Anova de Bloques Anidado. Comparaciones post hoc	7	Tratamiento 1: Alimento con harina de pescado/calamar, 40% de proteína sin carbohidratos Tratamiento 2: Alimento con mezcla de proteína vegetal 40% y 20% de carbohidratos	Respuestas Nutricionales -Tasa de supervivencia (%) - Pesos finales (húmedo y seco) Respuestas fisiológicas -Consumo de oxígeno -Excreción amoniacal -Balance Bioenergético Respuestas bioquímicas -Actividad de las enzimas digestivas -Metabolitos Respuestas de biología molecular -Frecuencias alélicas de la α -amilasa
Experimento 2 (PLde 15 días)	Completamente aleatorizado. Anova.	7	Tratamiento 1: Alimento con	Respuestas Nutricionales -Tasa de supervivencia (%)

Gaxiola, G., Brito, A., Maldonado, C., Jimenez, Y., Guzmán, E Arena, L., Brito, R., Soto, LA y Cuzon, G. 2006. Nutrición y Domesticación de *Litopenaeus vannamei*. En: Editores: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Villarreal Cavazos, Ana C. Puello Cruz y Armando García Ortega. Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 15-17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. ISBN 970-694-333-5.

hasta progenitores)	Bloques Anidado Comparaciones post hoc		proteína vegetal 40% y 20% de carbohidratos Tratamiento 2: Alimento con proteína vegetal 40% y 20% de carbohidratos	- Pesos finales (húmedo y seco) Respuestas fisiológicas -Consumo de oxígeno -Excreción amoniaca -Balance Bioenergético Respuestas bioquímicas -Actividad de las enzimas digestivas -Metabolitos Respuestas de biología molecular -Frecuencias alélicas de la α -amilasa
Experimento 3 (PI de 15 días a progenitores)	Completamente aleatorizado. Anova. Bloques Anidado Comparaciones post hoc	7	Tratamiento 1: Alimento con 40% de proteína animal marina y 20% de carbohidratos Tratamiento 2: Alimento con 20% de proteína vegetal y 40% de carbohidratos.	Respuestas Nutricionales -Tasa de supervivencia (%) - Pesos finales (húmedo y seco) Respuestas fisiológicas -Consumo de oxígeno -Excreción amoniaca -Balance Bioenergético Respuestas bioquímicas -Actividad de las enzimas digestivas -Metabolitos Respuestas de biología molecular -Frecuencias alélicas de la α -amilasa
Experimento 4 (Postlarvas de 15 días de edad provenientes de los progenitores de los Exp 2 y 3.)	Bifactorial 2 x 2 (2 para el factor origen de progenitores y 2 para el factor alimento) Anova. Bloques Anidado Comparaciones post hoc	4	Tratamiento 1: Alimento con 40% de proteína animal marina y 20% de carbohidratos. Tratamiento 2. Alimento con 30% de proteína vegetal y 40% de carbohidratos.	Respuestas Nutricionales -Tasa de supervivencia (%) - Pesos finales (húmedo y seco) Respuestas fisiológicas -Consumo de oxígeno -Excreción amoniaca -Balance Bioenergético Respuestas bioquímicas -Actividad de las enzimas digestivas -Metabolitos Respuestas de biología molecular -Frecuencias alélicas de la α -amilasa

Resultados

1) Respuestas nutricionales.

Las postlarvas provinieron de novena generación de ciclo cerrado del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* de la Granja de Industrias Pecis y sirvieron para los experimentos en los que se probaron mezclas de fuentes de proteína vegetal, con el objetivo de evaluar su efecto como

sustitutas de la proteína animal marina en alimentos balanceados para camarón. Así mismo se realizó un experimento de largo plazo (desde postlarva 15 hasta adultos) para ver el efecto de este tipo de alimentos en los descendientes de camarón (primera generación de camarones de la UNAM).

1.1. Postlarvas provenientes de Industrias Pecis (F₀).

Para las postlarvas de *Litopenaeus vannamei* se realizaron 4 experimentos. Los 3 primeros experimentos se realizaron con las postlarvas provenientes de la Granja de Industrias Pecis, mientras que el cuarto, se llevó a cabo, con los descendientes, ya obtenidos en las instalaciones de la UNAM en Sisal.

Experimento 1.

Los resultados de este experimento corresponden al primer objetivo del estudio (Fig. 1). De postlarva 15 a juvenil temprano (después de 45 días de exposición a los tratamientos dietéticos), no se encontraron diferencias significativas, ni en el crecimiento, ni en la supervivencia. Por lo tanto podemos señalar que al menos para la fase postlarval, se puede observar el verdadero hábito omnívoro del camarón. (Jiménez-Yan, 2004; Brito, 2006).

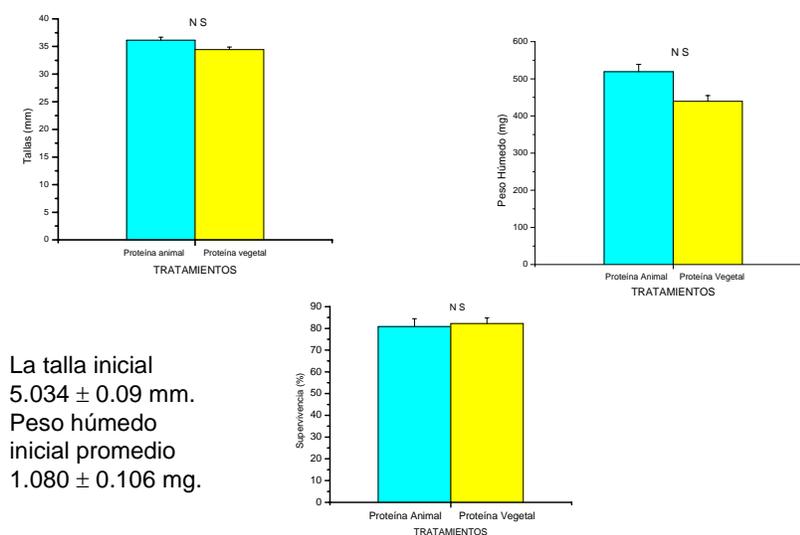


Figura 1. Resultados de crecimiento y supervivencia de las postlarvas de *Litopenaeus vannamei* alimentadas con una dieta compuesta de una mezcla de fuentes de proteína vegetal (espirulina, concentrado proteico de soya y concentrado proteico de papa) y una dieta con proteína animal marina (harina de pescado y calamar).

1.1.1 Experimento 2 (Brito, 2006).

En este experimento que se diseñó para evaluar la calidad proteica estrictamente hablando, con dietas isoenergéticas e isoproteicas, no se observaron diferencias significativas en el crecimiento, ni en la supervivencia de los juveniles tempranos después de 45 días de exposición a las dietas ($p>0.05$; Fig 2).

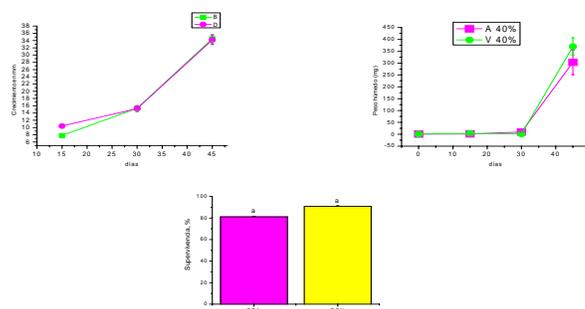


Figura 2. Efecto de la calidad proteica en el crecimiento y supervivencia de las postlarvas de *Litopenaeus vannamei*. (A significa dieta con proteína animal marina y V significa dieta con proteína vegetal).

1.1.2 Experimento 3 (Brito, 2006).

Al disminuir el contenido de proteína vegetal en la dieta de 40 a 20% si resultaron afectados, tanto la supevencia, como el crecimiento ($p<0.05$, Fig. 3), indicando la imposibilidad de la disminución del nivel de inclusión de proteína, usando los carbohidratos para la fase postlarval (Brito, 2006).

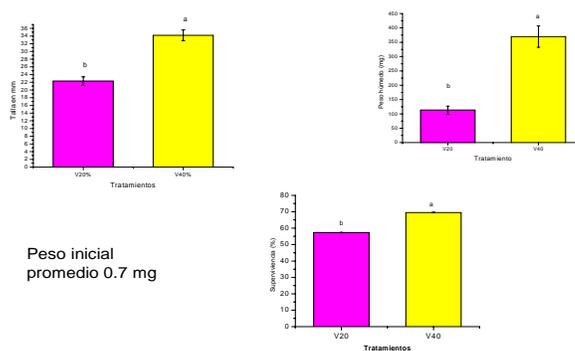


Figura 3. Crecimiento y supervivencia de las postlarvas de *Litopenaeus vannamei* alimentadas con dietas con fuentes de proteína vegetal, con 2 niveles de inclusión de carbohidratos. (V20 significa 20% de proteína vegetal y 40% de carbohidratos; V40 significa 40% de proteína vegetal y 20% de carbohidratos).

Seguimiento del crecimiento de largo plazo de las postlarvas

1.2. Experimentos 2 y 3 hasta progenitores.

Los resultados del crecimiento de los juveniles adaptados, desde Pl₁₅ a tres alimentos artificiales (Brito, 2006 y Maldonado, 2006) señalan que a largo plazo, los camarones alimentados con la dieta con 40% de proteína animal marina y 20% de carbohidratos presentaron un peso promedio de 36.8 ± 1.2 g. Los camarones alimentados con 40% de proteína vegetal y 20% de cbh, alcanzaron 30.3 ± 1.3 g, mientras que los camarones alimentados con 20% de proteína vegetal y 40% de cbh, presentaron un peso de 27 ± 1 g (Fig. 4). En lo que concierne a la supervivencia (Tabla 2) los valores obtenidos en los 3 tratamientos señalan con el más alto porcentaje a los animales que ingirieron menor cantidad de proteína, mientras que la más baja supervivencia se presentó en los camarones alimentados con 40% de proteína animal y 20 % de cbh.

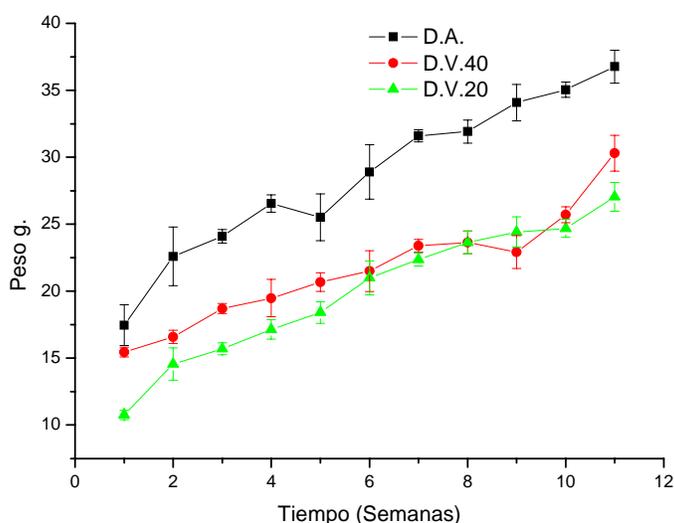


Fig. 4 Ganancia en peso (g) de los organismos de la F₀ de Pecis, alimentados con diferentes dietas, provenientes de los experimentos 2 y 3. DA significa dieta con proteína animal marina, DV 20 significa dieta con 20% de proteína vegetal; DV40 significa dieta con 40% de proteína vegetal.

Tabla 2. Supervivencia de los organismos de la F₀ (PECIS), alimentados desde postlarvas de 15 días de edad hasta progenitores, con 3 diferentes dietas.

Dieta	Animal 40 CP: 20 CBH	Vegetal 40 :20 CBH	Vegetal 20 :40 CBH
supervivencia final	77%	82%	94%

El control de la nutrición es desde postlarvas en la generación F₀, de los reproductores y del control en los descendientes F¹ y el impacto de la nutrición de las postlarvas, los juveniles tempranos, juveniles tardíos los reproductores y en los descendientes, implicó la interrogante de ver hasta que punto el camarón podría guardar una adaptación a una dieta específica. Cabe

Gaxiola, G., Brito, A., Maldonado, C., Jimenez, Y., Guzmán, E Arena, L., Brito, R., Soto, LA y Cuzon, G. 2006. Nutrición y Domesticación de *Litopenaeus vannamei*. En: Editores: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Villarreal Cavazos, Ana C. Puello Cruz y Armando García Ortega. Avances en Nutrición Acuicola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 15-17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. ISBN 970-694-333-5.

señalar que la capacidad reproductiva de los animales se vio afectada también, y sólo se pudieron obtener huevos viables en los reproductores alimentados con altos niveles de proteína, ya sea animal (37,000 nauplios/hembra) o vegetal (400 nauplios/hembra) durante mientras que los animales alimentados con 20% de proteína vegetal, no produjeron desoves viables (Maldonado, 2006), por lo que el experimento de las progenies, solo consideró las progenies que provinieron de padres alimentados con 40% de proteína animal y 40% de proteína vegetal.

1.2. Experimento 4.

Progenie proveniente de los padres alimentados con proteína animal marina (F₁animal) y alimentados con proteína vegetal (F₁Vegetal).

Supervivencia

Para la F₁animal, el porcentaje de supervivencia no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (valor medio 79% p>0.05, Tabla 3). De la misma manera los valores de la supervivencia para la F₁ Vegetal, no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (valor medio 49.5% p>0.05, Tabla 4)

Crecimiento

El análisis de los datos de crecimiento en peso, para la F₁ Animal la prueba no paramétrica (Mann-Whitney) no arrojó diferencias significativas (p>0.05) entre las dietas (valor medio 0.19). Mientras que para la F₁ Vegetal el ANDEVA de una vía mostró diferencias significativas entre las dietas (p>0.05). El peso final promedio significativamente más elevado (p<0.05) se obtuvo en los camarones alimentados con la dieta animal (Tabla 4).

Tabla 3. Crecimiento y supervivencia de las postlarvas de la F₁ Animal para DPA y PDV y para F₁ Vegetal para DPA y DPV.

		Peso inicial	Peso final	Supervivencia
F1 Animal	D. Animal	0.0042±0.001	0.21 ^a ±0.01	89%
	D.vegetal	0.0042±0.001	0.18 ^a ±0.01	70%

Tabla 4. Crecimiento y supervivencia de las postlarvas de la F₁ Vegetal. DPA (dieta con proteína animal marina 40% y 20% de carbohidratos) y PDV: dieta con proteína vegetal (20%) y 40% de carbohidratos

		Peso inicial	Peso final	supervivencia
F1 Vegetal	D. Animal	0.0042±0.001	0.72 ^{a*} ±0.16	50%
	D. Vegetal	0.0042±0.001	0.54 ^b ±0.10	49%

*Demuestra diferencias significativas

Conclusión

Las postlarvas son un modelo excelente para estudiar el reemplazo de la proteína animal marina por proteína vegetal, ya que no se alteran los indicadores de las respuestas de crecimiento y supervivencia. Sin embargo, se puede también concluir que si existe un efecto a largo plazo del cambio de calidad proteica, en los juveniles y reproductores de *Litopenaeus vannamei*,

Gaxiola, G., Brito, A., Maldonado, C., Jimenez, Y., Guzmán, E Arena, L., Brito, R., Soto, LA y Cuzon, G. 2006. Nutrición y Domesticación de *Litopenaeus vannamei*. En: Editores: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Villarreal Cavazos, Ana C. Puello Cruz y Armando García Ortega. Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 15-17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. ISBN 970-694-333-5.

alimentados con proteína vegetal, ya que a pesar de haber sido alimentados con los alimentos usuales para progenitores (biomasa de artemia enriquecida, poliquetos, calamar, mejillones y pellet de maduración), no produjeron ni el número de desoves, ni la calidad de los nauplios para la cría larvaria.

2) Respuestas fisiológicas

Para responder a la pregunta sobre la capacidad de omnivoría de las postlarvas y juveniles de *Litopenaeus vannamei*, bajo condiciones del laboratorio, es necesario determinar la cantidad de energía digestible (ED) requerida para las funciones de mantenimiento y crecimiento los camarones. La ED en los camarones, se ha estimado usando coeficientes fisiológicos derivados de los peces (Cuzon y Guillaume, 1997). En este estudio, los valores de ED se han calculado a partir de los modelos de balance energético, tomando en cuenta todos los aspectos relacionados con la respiración, la excreción amoniacal, la energía dedicada a la muda y la energía dedicada al crecimiento, para comparar directamente la eficacia de ambas dietas.

Con base en las mediciones del consumo de oxígeno y la excreción amoniacal se estimaron los parámetros del balance bioenergético de las postlarvas de los diversos experimentos. En el experimento 1 se estimó el balance de las postlarvas tempranas, mientras que los restantes sólo se evaluó en las postlarvas tardías, tanto de los progenitores (F₀) y F₁.

2.1. Postlarvas

El balance energético de las postlarvas tempranas de *L. vannamei* mostró diferencias significativas en relación con la respiración y la excreción amoniacal (Tabla 5, Jiménez Yan *et al.*, 2006). Es interesante observar que las postlarvas alimentadas con la dieta vegetal, tuvieron valores de respiración más elevados que las alimentadas con dieta animal ($p < 0.05$; Tabla 5). La excreción amoniacal se comportó de manera inversa, ya que las postlarvas alimentadas con proteína animal produjeron los valores más elevados ($p < 0.05$; Tabla 5). Estas diferencias, sin embargo, no impactaron a la energía neta -esto es- la energía dedicada al crecimiento, y además no modificaron la estimación de la energía digerible, lo cual muestra mecanismos de compensación, que los las postlarvas establecieron para responder a los cambios de los nutrientes de las dietas.

Tabla 5. Energía canalizada a la producción (ER), respiración (HiE+HeE), excreción (UE+ZE), y muda (E_v) de las postlarvas (PL₁₄-PL₁₉) de *L. vannamei* alimentadas diversa dietas (promedio \pm error estandar). PA (dieta con proteína naimla marina; PV: dieta con proteína vegetal). Todos valores expresados en Joules día⁻¹. (Jimenez-Yan *et al.*, 2006).

Tratamiento	ED	UE+ZE	HiE+HeE	E _v	ER
PA	~5	0.23 ^a ±0.03	1.87 ^b ±0.16	0.11±0.02	2.04±0.45
PV	~5	0.15 ^b ±0.01	2.50 ^a ±0.29	0.10±0.02	2.05±0.44

2.2. Juveniles tempranos (PL₁₉-PL₅₉) (experimento 1).

Experimento 1

Los resultados del balance energético de los juveniles tempranos señalan la existencia de diferencias significativas en los indicadores relacionados con la energía dedicada al crecimiento (ER y E_v) mostrando valores significativamente más elevados en los juveniles tempranos alimentados con la dieta con proteína de origen animal marino ($p < 0.05$; Tabla 6).

Tabla 6. Energía canalizada a la producción (ER), respiración (HiE+HeE), excreción (UE+ZE), y muda (E_v) en los juveniles tempranos (PL₁₄-PL₅₉) de *L. vannamei* alimentados diversas dietas (promedio±error estándar). PA dieta con proteína animal marina; PV dieta con proteína vegetal. Todos valores expresados en Joules día⁻¹.

Tratamiento	ED	UE+ZE	HiE+HeE	E _v	ER
PA	283±30	31.0±5.4	118.5± 16.0	5.8 ^a ± 0.5	115.9 ^a ±10.6
PV	214±44	20.2±5.8	133.9± 20.0	4.4 ^b ± 0.5	88.4 ^b ± 10.1

Relacion entre los parametros de zootecnia y la distribución de energía (Tabla7):

Para este experimento, se realizaron una serie de conversiones de la energía (J/mg) de la dieta ofrecida a los camarones, con los valores de energía digerible estimados a partir del balance energético (Tabla 7). Los parámetros zootecnicos (parte superior de la tabla 7) fueron relacionados con el metabolismo de energía (parte inferior, tabla 7). Los valores de energía bruta de la dieta fueron de 17 y 13 kJ/g para la dieta con proteína animal marina (PA) y la dieta con proteína vegetal (PV) respectivamente. En términos de energía digerible, los valores de los tratamientos fueron de 14 y 11 kJ/g, para PA y PV, respectivamente, tomando en cuenta 80 % del valor de energía bruta. La comparación de los valores de energía digerible, calculados a partir de la ingestión, y los provenientes del balance energético, muestran una baja correspondencia entre sí, lo cual indica una sobreestimación de los primeros, de manera contraria a lo que se presenta en juveniles de mayor talla y peso (Tabla 11).

Tabla 7. Valores de Energía digerible (ED) obtenidos en crecimiento y de distribución de la energía. De arriba hacia abajo, se muestran los valores de energía digerible (ED) para cada tratamiento. De abajo hacia arriba, se muestra la deducción de los valores de energía digerible a partir de los gastos energéticos.

		Pl's 59	Pl's 59
av. weight mg		236	184
		animal	vegetal
		J/dia/	J/dia/
feed GE J/mg		17	13
feed DE J/mg		14	11
% biomass(100%)		24	18
intake GE J/d/Pl		472	299
intake DE J/d/Pl		387	245
GE		332	320
DE		272	262
U	UE+ZE	31	20
	ME		
R	HiE	35	27
	HeE	84	124
ev	SxE	6	4
p	RE	116	87

Experimento 2 (Gaxiola *et al.*, 2006).

El ANOVA de una vía aplicado a cada uno de los parámetros del balance bioenergético mostró que no existieron diferencias significativas entre las dos dietas ($p < 0.05$; Tabla 8).

El balance energético de los juveniles tempranos (Pl₆₄), indicó que una proporción importante de la energía fue calanzada a la respiración de Pl's alimentó en PA39% y PV37% (56% y el 57% respectivamente por ED), un incremento (HeE+HiE) de 13% y 15% fue observado con HiE dado por PA39% y PV37% respectivamente ($p > 0.05$; Tabla 8). Un pico del consumo del oxígeno con PA 39% sucedido durante la primera hora, mientras que la dieta con PV37% el pico fue a la segunda hora de la alimentación. El energía cnalizada al crecimiento (ER y E_{EXV}), así como la energía digestible no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$).

Tabla 8. Balance energético juveniles tempranos *L. vannamei* (Pl's₅₉ ~0.5 g). (Joules día⁻¹org⁻¹).

	ED	UE+ZE*	HiE	HeE	E _{EXV}	ER
PA39	442±98 ^a	15.5	37±8 ^a	273±55 ^a	6.3±1.1 ^a	126±21 ^a
%	(5)		(7)	(5)	(9)	(9)
PV37	534±122 ^a	18.7	48±11 ^a	326±83 ^a	7.6±0.7 ^a	152±15 ^a
%	(5)		(5)	(6)	(9)	(9)

Notación HeE+HiE= respiración de rutina, HiE= incremento de calor aparente, UE+ZE=energía para la excreción amoniacal estimada a partir del valor de 5% de la respiración, según Gauquelin et al. (2006), ER = energía retenida, E_{EXV}=energía para la exuvia. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05). Valores expresados promedio± error estandar.

Experimento 3

El ANOVA de una vía aplicado a cada uno de los parámetros del balance bioenergético mostró que excepto en la energía canalizada a la respiración de (HeE) de rutina y el incremento de calor (HiE) (p>0.05), el resto de los parámetros fueron significativamente diferentes (p<0.05) (Tabla 9). Una cantidad importante de energía se canalizó a la respiración de ayuno en los juveniles previamente alimentados con 17% proteína y 37% proteína (66% y 57% respectivamente). El pico de consumo de oxígeno postalimentario ocurrió a la cuarta hora posterior al ayuno en los camarones alimentados con 17% prot, mientras que los juveniles alimentados con 37 % de prot, el pico fue a la segunda hora.

Tabla 9. Balance energético (Joules día⁻¹org⁻¹) de los juveniles tempranos PI's 59 de *L.vannamei*.

nivel de proteína	ED	UE+ZE	HiE	HeE	E _{EXV}	ER
17%	232±54 ^b (3)	9.3	23±7 ^a (7)	162±35 ^a (7)	2.3±0.3 ^b (9)	45±6 ^b (9)
37%	534±122 ^a (5)	18.7	48±11 ^a (5)	326±83 ^a (6)	8±0.7 ^a (9)	152±15 ^a (9)

Notación. HeE+HiE=energía de respiración de rutina, HiE=incremento de calor, UE+ZE* estimada a partir de la respiración (Gauquelin, *et al.*, 2006) RE= energía neta o destinada al crecimiento, E_{EXV}=energía for exuvia. Letras distintas indican diferencias significativas (p<0.05). Valores expresados en Promedio ± Error estandar.

La energía recuperada mostró también diferencias significativas, entre los tratamientos, siendo el valor significativamente menos elevado, el de los juveniles alimentados con 17%. La Energía digerible estimada presentó también diferencias significativas entre las dos dietas con un valor más alto para los juveniles que alimentaron en la dieta con 37% de proteína (Tabla 9).

2.3 Experimento 4. Balance bioenergético de los juveniles tempranos de la F₁ (Maldonado *et al.*, 2006).

La distribución de energía evaluada en las postlarvas de provientes de los padres alimentados con proteína animal y proteína vegetal se muestra en la Tabla 10. Sólo los valores relacionados con la respiración de ayuno fueron significativamente diferentes entre las progenies, siendo mayores los valores obtenidos con la progenie vegetal. (p<0.05).

Tabla.10- Distribución de energía en Joules/camaron/día de juveniles tempranos *L.vannamei* provenientes de padres alimentados con diferentes proteínas.

origen	dieta	ED	UE+ZE	HiE	HeE	Exv	RE	
F ¹ anim	animal	573±75	11 ^a *±5	4.8 ^a ±1.7	54 ^a ±10	489 ^a ±69	0.7 ^a ±.09	14 ^a ±2
F ¹ anim	veget	903±172	48 ^a ±8	6 ^a ±1	46^a±16	776 ^a ±171	1.9 ^a ±0.5	37^a±0.4
F ¹ veget	animal	1173±208	60 ^a ±15	0.0**	47 ^a ±8	1095 ^b ±225	1.3 ^a ±0.1	25^a±2
F ¹ veget	veget	722±70	102 ^a ±9	0.0**	22^a±14	580 ^b ±65	0.9 ^a ±0.2	17 ^a ±3

* Letras distintas en indican diferencias significativa.

** Ningún pico de la excreción de amonio en postalimentario fue observado en la progenie vegetal

Balance bioenergético de juveniles tardíos (mayores de 1 g) *Litopenaeus* de la progenie animal (F₁).

La comparación de los valores de distribución de la energía estimados a partir de la zootecnia y comparados con los valores obtenidos de las mediciones de las respuestas fisiológicas (respiración y excreción amoniacal) muestran valores similares en la energía recuperada (Tabla 11). En términos relativos, los valores de energía recuperada (Tabla 11) se estiman en un 15%, de la energía digerible, los cuales son comparables con los valores ya estimados por Cousin (1995), para los juveniles de *L. vannamei*

Tabla 11. Valores de energía digerible en los juveniles tardíos estimados a partir del crecimiento y el balance energético con crecimiento.

	Fisiología		zootecnia	
	kJ/semana/camaron		alimento	14kJ/g
	PA	PV	ganancia de peso g	
Peso inicial g	1	1	PA	PV
Peso final g	6	3,3	5	2
			Ingestión digerido	
			2	1
			1	1
ED	21	14	18	9
Respiración)				
HiE+HeE	10	7		
Exv	6	4		
	n=6muda	n=4muda		
Excrecion amoniacal				
UE+ZE	1,5	1		
Energía de recuperada	3	1,5	3	1
ER (%ED)	14	11	18	14

Conclusión

Una mayor variación de la distribución de energía (expresado en Joules/animal/día) fue observado en general en los juveniles tempranos (de menos de 1g) que en camarones de 3 a 6gramos. La energía recuperada como porcentaje de la energía digerible, varió según la

Gaxiola, G., Brito, A., Maldonado, C., Jimenez, Y., Guzmán, E Arena, L., Brito, R., Soto, LA y Cuzon, G. 2006. Nutrición y Domesticación de *Litopenaeus vannamei*. En: Editores: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Villarreal Cavazos, Ana C. Puello Cruz y Armando García Ortega. Avances en Nutrición Acuicola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 15-17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. ISBN 970-694-333-5.

composición de la dieta y de una generación a la otra permaneció en un rango de 40 % para las postlarvas, y bajó al 15% para juveniles tardíos. Se puede señalar, en general, que para los juveniles tempranos, las dietas compuestas por mezclas de fuentes de proteína vegetal, dieron resultados similares a los de la proteína animal marina, cuando la dieta mantuvo niveles de proteína cercanos al 40%. Cuando el nivel de proteína total disminuyó (de 40 a 17%), los valores de energía recuperada, también se afectaron de manera significativa, tanto en juveniles tempranos (menores de 1g) como en animales de 1g, en adelante. Dichos resultados, coinciden con los obtenidos en los parámetros de crecimiento antes descritos.

3) Respuestas bioquímicas

2 1 Postlarvas:

Las postlarvas mostraron diversos resultados en relación con las actividades específicas de las enzimas digestivas con patrones específicos. Generalmente, las postlarvas que se alimentaron con proteína animal produjeron enzimas digestivas constantemente (Tabla 12). Por el contrario, los camarones que se alimentaron con proteína vegetal produjeron las enzimas digestivas erráticamente. Se sabe que las enzimas digestivas son secretadas por el "gránulos de secreción con mezcla de enzimas" y no uno por uno.

Tabla12- Actividad específica de los enzimas de postlarvas (Brito, 2006).

	HP soluble prot.mg ml ⁻¹	total protease	trypsin	chymo trypsin	carbo xy A	carbo xy B	leu aminop	amyla se	glucosi dase
50% CP	26	32	15	0.5				5	0.025
42%CP veget	36	28	30	0.6				0.4	0.012
37%PV	25	10	3	4	0.6	0.6	0.35	20	0.1
39%PA	25	30	7	11	0.3	0.45	0.5	43	0.2
PV17-cbh44	19	70	12	18	0.7	0.75	1.3	130	0.3
PV37-cbh32	25	10	3	3	0.6	0.55	0.3	20	0.12

Esto evidencia que la hidrólisis de la proteína podía ser más alta con PA que PV y entonces el pool de aminoácidos libres puede ser más elevado en PA que en PV. En términos de la síntesis de la proteína para los tejidos de músculo la situación parece más favorable con PA, aunque la promoción del crecimiento era similar durante el período cubierto entre P₁₆ y P₆₂.

Como se mencionó anteriormente, desde el punto de vista de la energía retenida (RE) fue encontrada similar para ambas dietas (Tabla 11). Ello puede significar que el nivel de degradación (catabolismo de aa) sería similar en ambas condiciones de alimentación.

3.2. Juveniles

Por otro lado es importante hacer notar que de manera general la actividad enzimática durante la fase postlarval es baja y sólo cuando el heptopancreas está formado en su totalidad, la actividad aumentó significativamente (figura 5), y es hasta ese momento que se expresan también las diferencias significativas entre los tratamientos. En general la actividad digestiva fue

Gaxiola, G., Brito, A., Maldonado, C., Jimenez, Y., Guzmán, E Arena, L., Brito, R., Soto, LA y Cuzon, G. 2006. Nutrición y Domesticación de *Litopenaeus vannamei*. En: Editores: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Villarreal Cavazos, Ana C. Puello Cruz y Armando García Ortega. Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 15-17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. ISBN 970-694-333-5.

significativamente más elevada en los juveniles tempranos alimentados con la proteína animal marina, con excepción de la carboxipeptidasa B y la glucosidasa.

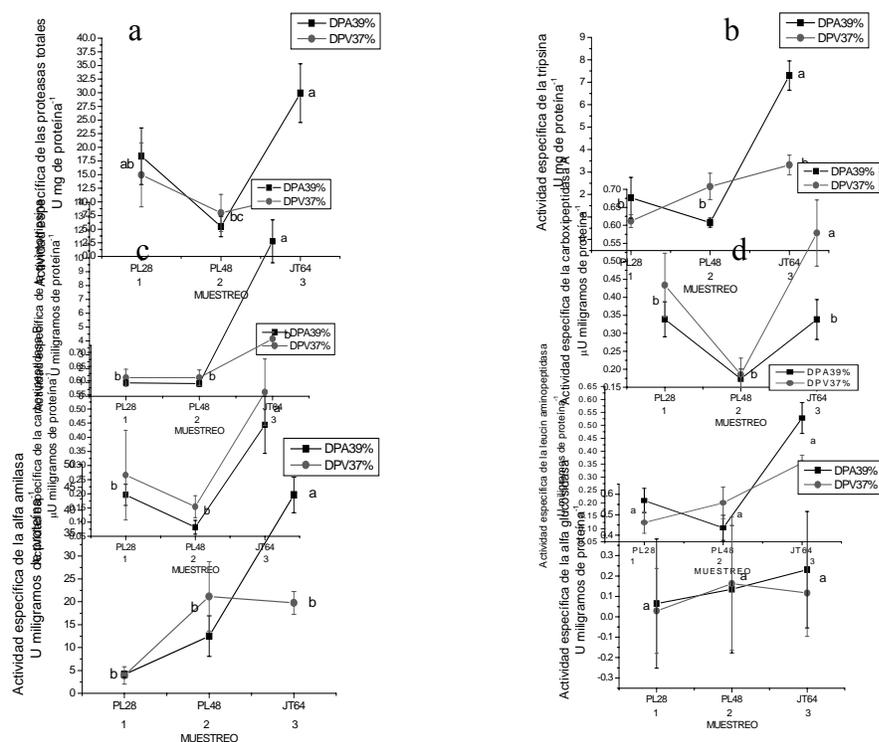


Figura 5. Actividad enzimática de la(s) Proteasas Totales (a), Tripsina (b), Quimotripsina (c), Carboxipeptidasa A (d) Carboxipeptidasa B (e), Leucin aminopeptidasa (f), α -amilasa (g) y α -glucosidasa (h), a través del tiempo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Valores expresados en promedio \pm error estándar.

En el contrario, el camarón que se alimentó con la dieta PV produjo irregularmente un nivel de actividad específica de enzimas digestivas. Esta diferencia puede ser debido a la presencia de un cierto efecto inhibitorio sobre las enzimas digestivas de los concentrados proteicos, por lo que la dieta a pesar de contener concentrado proteico de solubles de pescado, no produjo un efecto secretagogo. Estos resultados contradicen los reportados para la *Artemia* que produjo mayor actividad de las enzimas digestivas, como respuesta a un alimento pobre en digestibilidad (Samain *et al.*, 1983). También Le Moullac *et al.*, (1996) observó un aumento de la actividad específica de la amilasa cuando los juveniles de *L.vannamei* recibieron una dieta alta en caseína (40% contra el 20%), y fue mayor con una dieta alta en de caseína en comparación el alimento control (caseína 20%). Este efecto secretagogo ha sido discutido en larvas de camarón alimentadas con alimento vivo tal efecto fue atribuido a las algas mientras que usaba las partículas inertes que contenían las varias sustancias clasificadas como hidrolizado (Ravallec, 2000; Gallardo, 2005) y se encuentra otra vez posiblemente al estudiar el reemplazo posible de la harina de pescado con fuente de proteína vegetal mientras que mide actividades digestivas específico de las enzimas. ¿Si es así permanece ser adición discutida de la hormona CGH por ejemplo con dieta PV? y vea cualquier efecto positivo.

Conclusion

Las fuentes animales de la proteína y de la proteína vegetal produjeron cada una diversa respuesta en el nivel fisiológico en los PI's y tal diferencia fue registrada durante período del intermuda en las etapas principales para reducir la variabilidad entre los animales; La incidencia de un efecto secretagogo de la proteína animal demostrada ya previamente (Gallardo *et al.*, 1999) es una parte principal de la interpretación del actual trabajo. Una tentativa para una explicación global del conjunto estudió los parámetros ayudados a segregar entre los parámetros que podrían presentar una desventaja verdadera para sostener el crecimiento de PI's en las condiciones de cautiveria y resultados experimentales más últimos deben considerar el nivel del polimorfismo. Pero, de nuevo a capacidades digestivas de *L.vannamei* para la proteína, y a su extensión a las fuentes de proteína vegetal incluyendo los carbohidratos complejos, la discusión tomará en la consideración la acción de las enzimas segregadas (proteasas, amilasas) por la secreción en el lumen de HP sin regulación.

4) Respuestas de biología molecular.

Los cambios en las frecuencias alélicas en los 2 sistemas del gen del α -amilasa, determinados para este proyecto de investigación (Arena *et al.*, 2006) confirman la hipótesis de que la expresión génica, puede ser modulada en cierto grado por la dieta a la cual son sometidos los camarones. Estudios previos han demostrado que la forma en que los carbohidratos son mejor asimilados es cuando se incluyen en la dieta en forma de almidón (Cuzon *et al.*, 2004). En este sentido Abdel-Rahman (1979) demostró que la velocidad con la que se absorbe la glucosa, en el tubo digestivo, es mucho más rápida que cuando se utiliza al almidón como fuente de carbohidratos (CBH).

Existe una gama de estudios que demuestran los cambios en las frecuencia alélica $FA=2(\text{homozygote})+(\text{heterozygote})/(2*n)$ del gen de la α -amilasa, los cuales analizan individuos silvestres y cultivados (Van Wormhoudt y Sellos, 2003; Arena *et al.*, 2003; Arena, *et al.*, 2004; Arena, 2004; Arena *et al.*, 2006) consignaron a partir del análisis de una población silvestre, proveniente de las costas de Sinaloa, la cual fue sometida a dos dietas con altos valores de CBH (acbh) y bajos valores de los mismos (bcbh); mientras que en otro estudio se reporta la frecuencia alélica de individuos provenientes de otra población silvestre de origen panameño (van Wormhoudt y Sellos 2003). En ambas poblaciones se presenta el mismo patrón de bandas, el cual fue observado y descrito por Arena (2004.), conformado por dos sistemas: el primero constituido por 3 alelos (a, b y c) y el segundo constituido por 5 alelos (a, b, c, d, y e), donde las diferencias son notables en primer sistema, en el cual la población proveniente de Sinaloa, perdió la capacidad de expresión del alelo "c" en ambos casos (hcbh y lcbh), mientras que la población silvestre de Panamá se expresa este alelo (Arena, 2004; van Wormhoudt *et al.*, 2003). El segundo sistema está activado por completo en ambos casos, siendo esta nuestra primera fuente de explicación de la modulación por el alimento.

Estos resultados fueron comparados diferentes generaciones de la variedad de Panamá, en la Granja de Industrias Pecis, ya que se realizó un seguimiento desde sus primeros progenitores hasta la actualidad (Arena, 2004; Arena *et al.*, 2006). El estudio de este gen a lo largo de tres generaciones: F⁷, F⁸ (Fig 1) y F⁹ (Fig. 2) y comparado a la cepa de Tahití, 25 generación mostró

Gaxiola, G., Brito, A., Maldonado, C., Jimenez, Y., Guzmán, E Arena, L., Brito, R., Soto, LA y Cuzon, G. 2006. Nutrición y Domesticación de *Litopenaeus vannamei*. En: Editores: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Villarreal Cavazos, Ana C. Puello Cruz y Armando García Ortega. Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 15-17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. ISBN 970-694-333-5.

que ésta última variedad presentó pérdida de frecuencia alélica del 95% en el gen de la amilasa (Arena, 2004; Arena *et al.*, 2006). La regulación derivada de la presencia o ausencia de nutrientes como el almidón de trigo sobre el el gen de la amilasa, abrió la puerta a la discusión del papel mnolduador de los ntrientes sobre la expresión génica, en los camarones penecidos. PA 51%CP-PV 40%CP (Exp 1)

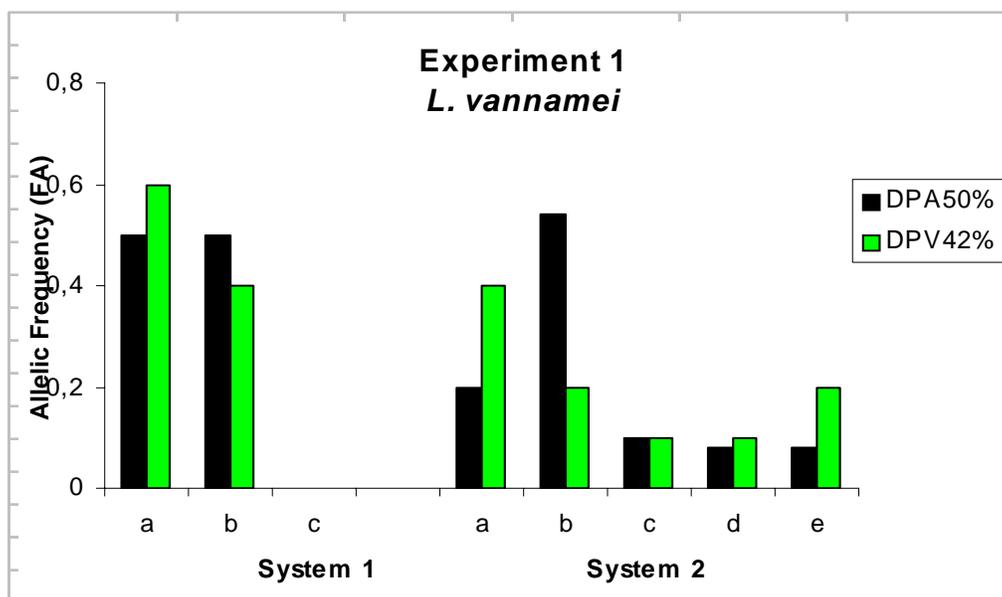


Fig 6. Frecuencias alélicas de la α -amilasa en *L. vannamei* juveniles tempranos alimentados con una dieta con proteína animal (dieta #1: 50% proteína/6% cbh) y una que contenía dieta vegetal (dieta #2: 42% proteína/20% cbh.).

La frecuencia alélica de alelo *a* era significativamente más alta en camarones alimentados con la proteína vegetal, cuando fue comparado con camarones alimentado con la proteína animal, donde como para este último tratamiento, la frecuencia allelic de allele *b* era más alta. (Fig. 6).

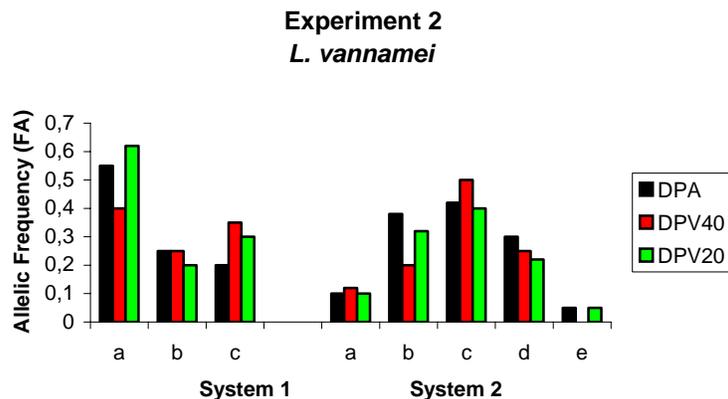


Fig 7. Frecuencias alélicas de la α -amilasa en *L. vannamei* juveniles tempranos alimentados con PA40%CP-PV40%CP-PV20%CP (Exp 2).

Las frecuencias alélicas de la amilasa de los descendientes de padres alimentados con una dieta de proteína animal durante su ciclo de vida, produjo diferencias significativas en el sistema 2. Una frecuencia más alta en alelo *a* un fue observada en camarones alimentados con la proteína vegetal. Cuando los organismos provinieron de padres alimentados con la proteína de animal, en el alelo *b* frecuencia fue significamente más alta que con los camarones alimentados con la dieta vegetal. En ese mismo tratamiento el alelo *c* estuvo ausente (Fig. 7). Los descendientes provenientes de camarones alimentados con fuentes de proteína vegetal mostraron diferencias significativas de frecuencias alélicas en el sistema 2 para alelo *a*, *b* y *c*. El alelo *a* no se expresó cuando el camarones recibieron la dieta que contenían fuentes de proteína vegetal (Fig.6). Por otro lado, la expresión del alelo *b* se indujo en los camarones alimentados con proteína animal. En resumen los alelos *a*, *b* y *c* en el sistema 2 fueron los más sensibles a los cambios de la dieta. Es útil mencionar que organismos eran hermanos, de tal modo que las variaciones en frecuencias alélicas fueron debidas al cambio de la composición de la dieta (Fig.8).

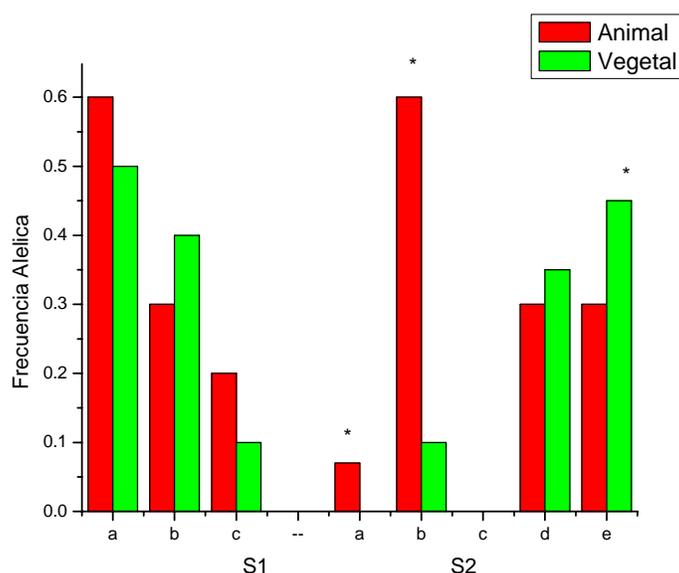


Fig 8. Frecuencia alélica de la α -amilasa de los camarones descendientes de padres alimentados con la dieta de proteína animal (Exp. 4a). * Sobre la columna indica diferencias significativas entre tratamientos en cada alelo.

En el mismo tiempo, considerado el nivel del herbivoría en la variedad de Pecis del *L.vannamei* después de 8 generaciones en cautiverio. En los animales silvêtres, los juveniles del camarón respondieron menos a la variación en la composición de alimentación lo cual significa que a pesar de los cambios en la composición de alimento, el aumento del peso fue similar en un ensayo de 60 días (Arena, 2004).

En los camarones alimentados con 2-3 dietas PA o PV o PV+cbh (cbh para el almidón de trigo), los alelos no frecuentes por ejemplo el alelo *c* del sistema II presentaron respuesta significativa.

Considerando el nivel de herbivoría de *L.vannamei* durante los primeros ensayos, si alimentados con fuentes de proteína vegetal o animal, P¹s presentaron una misma tasa de supervivencia (80%). Con el PA el camarón fue más pequeño pero con mayor que con el PV y el contenido proteínico en contenido creciente y en agua del músculo disminuyó. Los individuos F⁰ alimentados con el PA se evidenció una sobrerregulación de los alelos de la α amilasa, con una respuesta phenotypica fuerte y una diferencia clara entre el PA y PV. Un trabajo previo (LeMoullac *et al.*, 1996) explicó la variación de los isoformas de la amilasa de acuerdo con las fuentes de proteína como la caseína o calamar o hidrolizado de pescado (CPSP⁸⁰). La amilasa respondió a la proteína de la calidad con por ejemplo más isoformas con CPSP⁸⁰ que con caseína. Las frecuencias alélicas refieren a uno o todos los tres genes, y actividades específicas de la amilasa se relacionan con las frecuencias alélicas que diferencian según fuentes de la proteína (PA o PV), la respuesta es la más alta con PA (Fig 9)

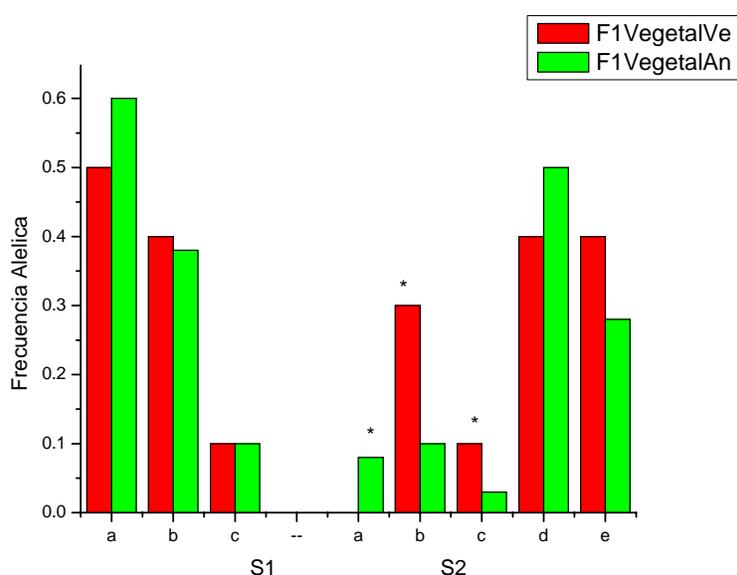


Figura 8. F¹ (proveniente de padres alimentados con proteína vegetal) alimentados con una dieta que contiene proteína vegetal y otra con proteína animal. * Sobre las columnas indica diferencias significativas.

Los descendientes de padres alimentados con proteína vegetal, al ser alimentados con proteína animal, no expresaron el alelo a del sistema II (fig 9), mientras que los que se alimentaron con PV se presentó una respuesta más homogénea en el nivel de la frecuencia alélicas.

Se puede concluir desde un punto ontogenético hay consecuencias de los cambios en la composición del alimento, en la expresión génica en los juveniles tempranos tanto en la F⁰ como en F¹ y una respuesta útil según la característica principal de la composición de la dieta. . Había una conservación de algunos alelos durante el proceso de la domesticación en Sisal (Pecis), y era evidencia una cierta clase de problema a dar vuelta de nuevo a una alimentación basada animal que se utiliza para utilizar para la maduración por ejemplo. Una carencia de los ácidos grasos omega-3 es parte de la respuesta, porque aunque una dieta fortificada fue proporcionada, los criadores todavía seguían siendo incapaces desove y hay en esta etapa

respuesta no genética. El heritabilidad no se podría medir entre F^0 y F^1 pero un efecto sobre descendiente estaba allí por lo que la composición de alimentación era considerada y conduce para concluir que no era la expresión genética así que una cuestión de variabilidad genética de la especie pero ligada a la alimentación.

Conclusiones:

El trabajo de efecto del alimento en la expresión génica debe ser considerado para una estrategia de la alimentación del camarón en cautiverio. Por esta razón, la relación entre los alimentos y la genética debe ser investigada tanto en la producción animal, además de la medicina (Paoloni, 2003). En la domesticación de los camarones debe realizarse sin la reducción de la estructura genética original de las especies. Este trabajo ha consignado resultados relativos solamente una enzima digestiva sin embargo en estudios futuros debe incluirse otras enzimas. Estos estudios deben contemplar aumentar el número de muestras para describir el desequilibrio observado entre las frecuencias allelico (FA) con valores sobre 0 y debajo de 1.

Conclusión general

Después de haber trabajado 3 años en la investigación sobre la domesticación de *L.vannamei*, la nutrición de larvas, las postlarvas, los juveniles, preadultos y adultos, con alimentos que contienen harina de pescado, y otras ricas en las fuentes vegetales de proteína, y niveles variables de carbohidratos se puede concluir lo siguiente.

- a) Las postlarvas alimentadas con una mezcla de fuentes de proteína vegetal mantuvieron un aumento de peso, indicadores metabólicos, y balance energético similares a las alimentadas con la dieta rica en proteína animal marina.
- b) Una mayor plasticidad hacia los cambios en la composición del alimento fue demostrada con en las postlarvas de camarón, inclusive cuando se usaron niveles de proteína bajos (20%).
- c) Por otra parte, entre los diferentes alimentos probados, los alimentos con bajos contenidos de proteína (alimentos extremos) han producido una interrupción en el desarrollo del ovario.
- d) Los camarones alimentados con mezclas de proteína vegetal en una dieta con 40% de proteína total, desde la fase postlarval hasta la etapa de adultos, presentaron buena probabilidad de producir descendencia. Basado en estos resultados se podrá establecer un programa de selección genética que produzca una cepa mejor que pueda utilizar eficientemente dietas con fuentes de proteína vegetal.

Agradecimientos

Se agradece el financiamiento de los proyectos UNAM (IN220502-3; y 216406-3) y CONACyT 41513-Q. Se agradece a los siguientes técnicos académicos por su participación en la presente investigación: Inbg Míguelo Arévalo, maduración; Ing Adriana Paredes: cría de larvas; Biol. Gabriela Palomino: alimento vivo; Gabriela Taboada: elaboración de alimentos paletizados; M. en C. Ariadna Sánchez: análisis bioquímicos. Se agradece también la participación de los siguientes estudiantes: Sara

Literatura citada

- Anger, K. 2001. The biology of decapod crustacean larvae. Issue 14 (Eds) Swets & Zeitlinger B.V, Lisse 419 p.
- Aquacop, 1979. Penaeid reared broodstock: closing the cycle of *P.monodon*, *P.stylirostris* and *P.vannamei*. 10th annual meeting of the world Mariculture Society, Honolulu, Jan. 1979.
- Aquacop 1995. Determination of apparent digestive coefficient for three different quality of fishmeal fed post juveniles *Litopenaeus stylirostris*. Proceedings Annual Meeting WAS, San Diego, USA, Feb. 1995.
- Arena, L., Cuzon, G., Pascual, C., Gaxiola, G., Soyez, C., Van Wormhoudt, A., Rosas, C., 2003. Physiological and genetic variations in domesticated and wild populations of *Litopenaeus vannamei* fed with different carbohydrates levels. *J. Shellfish Res.* 22(1), 269-279.
- Arena L. 2004. Etude des populations de crevettes penaeidae; Aspects génétiques du métabolisme des glucides chez *Litopenaeus vannamei* (populations sauvage et cultivées). Thèse EPHE, Paris, 110 pp.
- Arena, L., Jimenez, L., Brito, A., Maldonado, C, Hernández, D, Soto, L., Cuzon, G. and Gaxiola G. 2006. Growth performances, specific activities and isoforms variation of α -amylase in *Litopenaeus vannamei* undergoing feed alteration. Congrès de génétique et aquaculture, Montpellier, Jul. 06.
- Brito, R., Chimal, M.E., Gaxiola, G., Rosas, C., 2000. Growth, metabolic rate, and digestive enzyme activity in the white shrimp *Litopenaeus setiferus* early postlarvae fed different diets. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 255, 21-36.
- Brito, R., Chimal E., Gelabert R., Gaxiola G., Rosas C., 2004. Effects of artificial and natural diets on energy allocation in *Litopenaeus setiferus* (Linnaeus, 1767) and *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) early postlarvae. *Aquaculture* 237, 517-531.
- Brito Bermúdez, A. 2002. Sustitución de los nauplios de *Artemia* sp. por dos alimentos microencapsulados para la alimentación de las mysis del camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* (Boone,1931). *Tesis de Licenciatura*, UNAM. Facultad de Ciencias, 95pp.
- Brito Bermúdez A. 2004. Utilización de fuentes de proteína vegetal y carbohidratos en la nutrición de postlarvas y juveniles tempranos de *Litopenaeus vannamei* y su efecto fisiológico y bioquímico en comparación con fuentes de proteína animal. Universidad Nacional Autonoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, 54pp.
- Cousin, M., 1995. Contribution à l'étude de l'utilisation des glucides et du rapport P/E chez *P. vannamei* et *P. stylirostris*. Thèse INA / PG. Paris, 201pp.
- Cuzon, G., Guillaume, J., 1997. Protein/Energy in shrimp. Book on Crustacea nutrition, International Working Group on Crustacea Nutrition, World Aquaculture Society, 51-70.
- Gallardo P.P., Brito A., Pedroza R., Gaxiola G., Cuzon G., Paredes A., Palomino G. Ramon F., Ravallec R., Cranque I., and van Wormhoudt A. 2002. Effect of fish solubles protein concentrate 80% (CPSP⁸⁰) on digestive enzyme activities, growth and survival of *Litopenaeus vannamei* larvae. WAS pékin.
- Gallardo, P. 2005. Alimentos artificiales con hidrolizados proteicos de origen marino en la nutrición de larvas del camarón blanco *L. vannamei* (Boone, 1931). Tesis de posgrado en Ciencias de mar y limnología. 146pp.
- Gallardo-Cigarroa, FJ; Koshio, S; Ishikawa, M; Teshima, S. 2001. The determination of optimal nutrient energy combination on the lipid and fatty acid contents of Kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicus*, juveniles. 6th Asian Fisheries Forum Book of Abstracts. p. 109.
- Garcia, D.K., Faggart, M.A., Rhoades, L., Alcivar-Warren, A.A., Wyban, J.A., Carr, W.H., Sweeney, J.N., Ebert, K.M., 1994. Genetic diversity of cultured *Penaeus vannamei* using three molecular genetic techniques. *Mol. Mar. Biol. Biotechnol.* 3: 270-280.
- García-Ortega, A., Verreth, J.A.J., Coutteau, P., Segner, H., Huisman, E.A., Sorgeloos, P. 1998. Biochemical and enzymatic characterization of decapsulated cysts and nauplii of the brine shrimp *Artemia* at different developmental stages. *Aquaculture* 161: 501-514.
- Gaxiola, G., Cuzon, G., García, T.J., Taboada, G., Brito, R., Chimal, M.E., Paredes, A., Rosas, C., 2005. Modelling ingestion rate and metabolism with *Farfantepenaeus brasiliensis* larvae fed microalgae. Poster Symposium Fourth Crustacean Larval Conference, University of Glasgow, July 2005, p 67.
- Guillaume, J., 1997. Protein and amino acid requirement in shrimp. In: D'Abrahamo, L.R., Conklin, D.E., and Akiyama, D. M. Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture vol, 6, World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, U.S.A., pp.26-50.
- Harper-Arabie RM, Wirth EF, Fulton MF, Scott GI, and Ross PE. 2004. Protective effects of allozyme genotype during chemical exposure in the grass shrimp, *Palaemonetes pugio*. *Aquatic Toxicology.* 70(1): 41-54
- Hemre, GI., 1992. Studies on carbohydrate nutrition in cod (*Gadus morhua*). Thesis University of Bergen, 328pp.
- Gaxiola, G., Brito, A., Maldonado, C., Jimenez, Y., Guzmán, E Arena, L., Brito, R., Soto, LA y Cuzon, G. 2006. Nutrición y Domesticación de *Litopenaeus vannamei*. En: Editores: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Villarreal Cavazos, Ana C. Puello Cruz y Armando García Ortega. Avances en Nutrición Acuicola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 15-17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. ISBN 970-694-333-5.

- Jiménez-Yan L., Brito A., Cuzon G., Gabriela G., García T, Taboada G., Soto L., Brito R. 2003. Energy balance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae fed on animal or vegetable protein based compounded feeds. *Aquaculture*, *in press*.
- Jones, D.A., Yule, A.B., and Holland D.L. 1997. Larval Nutrition *In: Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture*, Vol 6 (ed. by L.R. D'Abraham, D.E. Concklin and D.M. Akiyama), pp. 353-389. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA.
- Kolkovski, S. 2001. Digestive enzymes in fish larvae and juveniles- implications and applications to formulated diets. *Aquaculture* **200**:181-201.
- Lemos, D; Ezquerro, J.M; García-Carreño, F.L. 2000. Protein digestión in penaeid shrimp: digestive proteinases, proteinases inhibitors and feed digestibility. *Aquaculture*, **186**: 89-105.
- Lemos, D., García-Carreño, F.L., Hernández, P., Navarrete del Toro, A. 2002. Ontogenetic variation in digestive proteinase activity, RNA and DNA content of larval and postlarval white shrimp *Litopenaeus schmitti*. *Aquaculture* **214**: 363-380.
- Le Moullac, G., Klein, B., Sello, D., Van Wormhoudt, A., 1996. Adaptation of trypsin, chymotrypsin and α -amylase to casein level and protein source in *Penaeus vannamei* (Crustacea Decapoda). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 208: 107-125
- Lovett, D.L. and Felder D.L., 1990. Ontogenetic changes in enzyme distribution and midgut function in developmental stages of *Penaeus setiferus* (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). *Biol. Bull.* **178**, 160-174.
- Maldonado, C., 2005. Efecto de alimentos ricos en proteínas vegetales, en la nutrición, fisiología digestiva y balance bioenergético de los progenitores de *Litopenaeus vannamei*. Tesis Universidad Nacional Autónoma de México Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología
- Martínez-Córdova, L. R. 2002. Camaronicultura Avances y Tendencias. 1^{ra} Edición, AGT Editor, Mx. pp. 167.
- Menz, A., Blake, B.F., 1980. Experiments on the growth of *Penaeus vannamei* Boone. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **48**: 99-111.
- Mulhia-Almazán, A., García-Carreño, F.L. 2002. Influence of molting and starvation on the synthesis of proteolytic enzymes in the midgut gland of the white shrimp *Penaeus vannamei*. *Comp. Biochem. Physiol. B* **133**: 383-394.
- Ottogalli, L., Galinié, C. & Goxe, D. 1988. Reproduction in captivity of *Penaeus stylirostris* over ten generations in New Caledonia. *Journal of Aquaculture in the Tropics* 3: 111-125.
- Palacios, E., Perez-Rostro, C.I., Ramirez, J.L., Ibarra, A.M., Racotta, I.S. 1999. Reproductive exhaustion in shrimp (*Penaeus vannamei*) reflected in larval biochemical composition, survival and growth. *Aquaculture* **171**:309-321.
- Paoloni A., Grimble R., Pchard G. 2003. Genetics and Nutrition. *Clinical Nutrition* Vol 22 (5) 429-435
- Pedroza-Islas, R. 2000. Estudios de difusión de nutrimentos en alimentos microencapsulados para larvas de crustáceos Tesis Doctorado (Doctorado en Ciencias Químicas (Ingeniería Química)).UNAM, Facultad de Química. 142 pp.
- Ramos-Paredes, J. & Grijalva-Chon, J.M. 2003. Allozyme genetic analysis in hatchery strains and wild blue shrimp, *Penaeus (Litopenaeus) stylirostris* (Stimpson), from the Gulf of California. *Aquaculture Research* **34**: 221-234.
- Ravallec-Plé, R. 2000. Valorisation d'hydrolysats d'origine marine: optimisation de la concentration en peptides apparentés aux facteurs de croissance et aux agents secrétagogues. Essais *in vitro* et *in vivo*. Thèse de Docteur de L'Université de Bretagne Occidentale. 206 p.
- Renaud,L.,1949. Le cycle des réserves organiques chez les crustacés décapodes. *Ann. Ins. Oceanog.*, 24:249-357.
- Samain, J.F., Hernandorena, A., Moal, J., Daniel, J., LeCoz, J.R., 1985. Amylase and trypsin activities during *Artemia* development on artificial axenic media: effect of starvation and specific deletions. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 86: 255-270.
- Sbordoni, V., De Matthaëis, E., Cobolli-Sbordoni, M., LaRosa, G., Mattoccia, M., 1986. Bottleneck effects and the depression of genetic variability in hatchery stock of *Penaeus japonicus* (Crustacea, Decapoda). *Aquaculture* **57**: 239-251.
- Sbordoni, V., la Rosa, G., Mattoccia, M., Cobolli-Sbordoni, M. y de Matthaëis, E. 1987. Genetic changes in seven generations of hatchery stocks of the kuruma prawn, *Penaeus japonicus* (Crustacea, Decapoda).. *In: Selection, Hybridization and Genetic Engineering in Aquaculture* (K. Tiews, ed.) pp. 143-155. Berlin: Heenemann-Verlag.
- Sellos, D. and Wormhoudt. 1999. Polymorphism and evolution of collagenolytic serine protease genes in crustaceans. *Biochimica et Biophysica Acta.* 1432, 419-424
- Gaxiola, G., Brito, A., Maldonado, C., Jimenez, Y., Guzmán, E Arena, L., Brito, R., Soto, LA y Cuzon, G. 2006. Nutrición y Domesticación de *Litopenaeus vannamei*. En: Editores: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Villarreal Cavazos, Ana C. Puello Cruz y Armando García Ortega. Avances en Nutrición Acuicola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 15-17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. ISBN 970-694-333-5.

- Shiau, S-Y. 1998. Nutrient requirements of penaeid shrimps. *Aquaculture* **164**: 77-93.
- Teshima, S-I. Kanazawa, A. Koshio, S 1993. Recent developments in nutrition and microparticulate diets of larval prawns. *Israeli Journal of Aquaculture/Bamidgeh*. 45(4)175-184.
- Tsai, I.H., Chuang, K.L., Chuang, J.L., 1986. Chymotrypsins in digestive tracts of crustaceans decapods (shrimps). *Comp. Biochem. Physiol.* **85**: 235-240.
- van Wormhoudt, A., Bourreau, G., and Le Moullac, G. 1995. Amylase polymorphism in Crustacea Decapoda: electrophoretic and immunological studies. *Biochemistry, Systematics and Ecology*. 23: 139-149
- van Wormhoudt A., and Sellos, D., 2003. Highly variable polymorphism of α -amylase gene family in *Litopenaeus vannamei* (Crustacea Decapoda). *Journal of Molecular Evolution* 57: 1-13.
- Wolfus, G., Garcia, D.K., Alcivar-Warren, A., 1997. Application of the microsatellite technique for analyzing genetic diversity in shrimp breeding programs. *Aquaculture* **152**: 35-47.
- Xu, Zhenkang., Primavera, J.H., de la Pena, L.D., Pettit, P., Belak, J., Alcivar-Warren, A. 2001. Genetic diversity of wild and cultured Black Tiger Shrimp (*Penaeus monodon*) in the Philippines using microsatellites. *Aquaculture* **199**: 13-40.
- Zar, J.H., 1996. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliff, 718 pp.