

## 20 años de Investigación sobre la nutrición acuícola a la UNAM

Gaxiola, G., Cuzon, G.

UNAM Umdi-Sisal

E-mail: [g\\_gaxiola@hotmail.com](mailto:g_gaxiola@hotmail.com)

---

### Resumen

Desde 1991 nuestro grupo de trabajo ha desarrollado un extenso programa de nutrición de organismos marinos. Básicamente son resultados sobre la nutrición clásica, que incluye los estudios de los requerimientos de proteína, lípidos, carbohidratos y energía de diferentes fases de desarrollo del ciclo de vida de los camarones peneidos nativos de México (*L. setiferus*, *L. vannamei*, *F. duorarum*, *F. brasiliensis* y *L. schmitti*). Para la fase larval, se realizaron diversos trabajos sobre la sustitución del alimento vivo con microencapsulados de alta calidad y con una buena estabilidad en el agua de mar. La sustitución es prácticamente total y las postlarvas son de calidad con buen nivel de sobrevivencia. Las postlarvas y juveniles han sido un buen modelo para verificar las calidades de diferentes fuentes de proteína vegetal como la pasta de soya, el gluten de trigo, canola, *espirulina* y concentrados proteicos vegetales. Este modelo explicativo útil se ha construido a través de la bioenergética para obtener el nivel de la energía retenida para crecimiento y la estimación de la energía digerible, que se transforma en ración óptima diaria. Otro aspecto muy estudiado es la fisiología digestiva en todas las fases del ciclo de vida de los camarones y las respuestas de las enzimas digestivas en frente de varios tipos de dietas experimentales en todas las fases de desarrollo de los camarones peneidos. Además se ha realizado el análisis de las isoformas de las enzimas digestivas para entrar en otra disciplina que es la nutrigenómica con muchas perspectivas de resultados. El cambio de proteína marina con proteína vegetal ha dado la oportunidad para estudiar la variación de la textura del músculo de camarón y la cantidad de colágeno contenido en este, como un indicador molecular del cambio en la textura del músculo. En relación con los metabolitos (colesterol, acilglicéridos, glucosa, glucógeno), se ha logrado determinar su papel como indicadores del estado fisiológico y nutricional en todas las fases del ciclo de vida de los camarones peneidos. Este modelo explicativo se aplicó también en relación con el ciclo de la muda para reducir el nivel de variabilidad estos de parámetros bioquímicos. Algunos de estos aspectos de la nutrición también se han desarrollado para los peces marinos y para moluscos como el pulpo

## Abstract

All stages of the life cycle for different penaeid species native of the Gulf of Mexico were studied for their nutritional status, their physiology or their respective performances in captivity. Larvae were subject to many studies as well for feed formulation, type of presentation of the microfeed, as bioenergetics or digestive enzymes. Larvae represented an excellent tool because of the facility to obtain results in a short period of time (one week to 10 days) and larvae were tested for the replacement of live food and then to manufacture the most appropriate presentation of the feed (microbound, microparticles, capsules, atomised products, liquid product, etc) the replacement of algae and *Artemia* led to set a whole range of experimentation with an enormous challenge for the laboratory and next to the industry. Postlarvae were also subject to investigation to select the proper diet to let them reach rapidly their size of seeding to ponds. The aspect of osmoregulation centred much attention as well as the quality of water or the protection from pathogens. Juveniles represented another model largely used to find adequate formulation and to assess the main performances in clear water in terms of weight gain and survival rate. How to get the commercial size and see how the physiology of the animal adapted to a dry feed, how its digestive enzymes evolved, etc?. Finally all species were considered for the nutrition related to maturation and here again formulae a diet that could minimize the use of fresh food (squid, mussel). In final the prospect of all this research work was to produce solutions for adequate nutrition of several species at different stages of their life cycle to benefit farmers, and people in the industry of feeds but in final to provide a product, a seafood that was acceptable to the consumers at a reasonable price; all aspects of shrimp quality (texture, health, etc.) was a main preoccupation along this long way to set a part of aquaculture along mexican coast in a stage of production, sustainable and profitable.

## Introducción

De Campeche a Mérida, a través de Ciudad del Carmen, la UNAM cuenta con un equipo de investigadores que son biólogos interesados en los camarones en el Golfo de México. Estos camarones nativos han sido muy importantes para la economía local, y son parte de la fuente de alimento de la zona costera. Por lo tanto, nuestro equipo de trabajo se ha concentrado en estudiar la biología de estas especies y, para determinar el potencial de cada uno de ellos para su cultivo o repoblación debido a la disminución de los recursos debido a las sobre explotación de los mismos. En este contexto, el equipo generó un programa de investigación sobre la fisiología nutricional de las especies y en particular la bioenergética y los enfoques nutrición en la nutrigenómica. Al mismo tiempo, difundir el conocimiento entre los estudiantes y crear conciencia de los problemas relacionados con la protección de la zona costera.

En la parte nutricional, muchos estudios se han realizado para entender el comportamiento de los camarones en cautiverio, el impacto de cautiverio en la fisiología digestiva, la elaboración de alimentos balanceados para las larvas, postlarvas, juveniles y reproductores. Cada etapa del ciclo de vida del camarón ha sido un problema experimental nuevo. Los parámetros estudiados no se redujeron al crecimiento y la supervivencia, sino también la bioquímica de la digestión. Un estudio comparativo de las especies de camarón reveló diferencias de actividad alimenticia y del metabolismo respiratorio. Así mismo se ha analizado la energía proveniente del alimento y la distribución de la misma, lo que le da una apertura al manejo de los desechos (fósforo y nitrógeno) de las granjas. Este concepto es cada vez más acuciante en el contexto actual de la protección del medio ambiente. Recientemente, algunos enfoques de la nutrigenómica han ofrecido resultados interesantes en cuanto al nivel de expresión de ciertos genes en función de la composición de la dieta que se ofrece a los camarones. Un estudio con post-larvas de camarón demostró que una aclimatación temprana de los organismos a alimentos ricos en proteína vegetal podría ser eficaz para la generación de alimentos balanceados que sin duda serán más bajos en proteína de origen marino (Naylor *et al.*, 2009) por lo tanto más rico en carbohidratos. El

camarón es un producto del mar que podría llegar a ser popularmente conocido como «pollo del mar» (Kuhn *et al.*, 2009). Todas estas líneas de investigación se presentan en este documento y los resultados resumidos en un panorama con 25 años de investigación y desarrollo en las especies nativas, alguno cultivadas a largo plazo en otras regiones de México, otros reservados para repoblación en lugares privilegiados, zonas de pesca cerca de la zona costera de la península de Yucatán.

### **Dietas purificadas**

Se evaluó el crecimiento y metabolismo de las postlarvas (Pl's) de *Litopenaeus setiferus* producidas en el laboratorio, a partir de adultos provenientes de la costa de Campeche, fueron alimentadas con dietas purificadas. En un primer experimento, diez dietas caseína-basadas fueron preparadas en una gama de contenido proteínico crudo entre CP 20-60%. Dos niveles de energía fueron ajustados: 14-17 kJ g<sup>-1</sup>, con los lípidos era constante (el ~8%) y los carbohidratos (cbh) variaron por consiguiente. En un segundo experimento, diez dietas caseína-basadas fueron preparadas en una misma gama de proteína, **de cambiado del lípido y cbh de mantenido el constante contenido el at~11%**. Ambos experimentos duraron 40 días. El aumento de peso medio final era 63 y 28 mg en el experimento 1 y 2 respectivamente. El aumento de peso fue trazado según la proteína digestible (DP) y la energía digestible (DE) de alimentaciones experimentales con P/E óptimo para 40% CP y 14kJ g<sup>-1</sup>. La distribución de la energía fue medida y el incremento del calor (HiE) aumentó con el contenido proteico a partir del 37 a 79 con la dieta en la que se fijaron los lípidos (FLD) y de 35 a 113 J h<sup>-1</sup>g dw<sup>-1</sup> (FCD) respectivamente. *L. setiferus* podría mantener un nivel de gasto energético que diferenció de los juveniles. La diferencia reside en que en las postlarvas hay una menor proporción de la energía recuperada (RE) con una más grande porción dedicada a la actividad que busca para el alimento. Diferencias interespecíficas se han reportado para *L. vannamei*, *L. schmitti* y *F. duorarum* (Gaxiola, 1994; Brito *et al.*, 2001; Rosas *et al.*, 1995).

## Dietas prácticas

Este tipo de alimentos fue probado en diferentes etapas de desarrollo del camarón. En las larvas se realizaron trabajos con microparticulados y microencapsulados (Pedroza *et al.*, 2000). La sustitución total del alimento vivo, por un microencapsulado rico en proteína animal marina fue reportado por Gallardo (2005). Para las postlarvas y los juveniles, tanto para *L.setiferus* como para *L.vannamei* se confirmaron los resultados previos obtenidos con dietas purificadas, pero ya empleando dietas prácticas (Brito *et al.*, 2000; Jiménez-Yan, *et al.*, 2007; Maldonado *et al.*, 2009). En cuanto a las larvas y las postlarvas, en donde es difícil competir con el alimento vivo, la selección de los ingredientes es de suma importancia, así como el equilibrio entre los nutrientes para mantener un rendimiento óptimo en términos de supervivencia y aumento de peso (Rosas *et al.*, 2001<sup>a</sup>; Brito *et al.*, 2004; Pedroza, *et al.*, 2004; Gallardo *et al.*, 1995) Otro aspecto evaluado como parte de los estudios de nutrición es el relacionado con la respuesta fisiológica de los organismos, por ejemplo el nivel de actividad de enzimas digestivas (Fig 1). En relación con el cambio rápido de aumento de peso de larvas y la demanda de energía en cada muda, que ocurre casi cada día se decidió calcular el balance de energía y tratar de ajustar la densidad de energía del alimento. Los resultados se describen en el Tabla 2. Para postlarvas y juveniles, debe adaptarse el nivel de energía con el equilibrio apropiado de la alimentación con buena digestibilidad ( $ADC_{\text{energía}}$  y proteína) debido principalmente los animales tienden a satisfacer su demanda de energía para mantener un estado de salud y desarrollo normal.

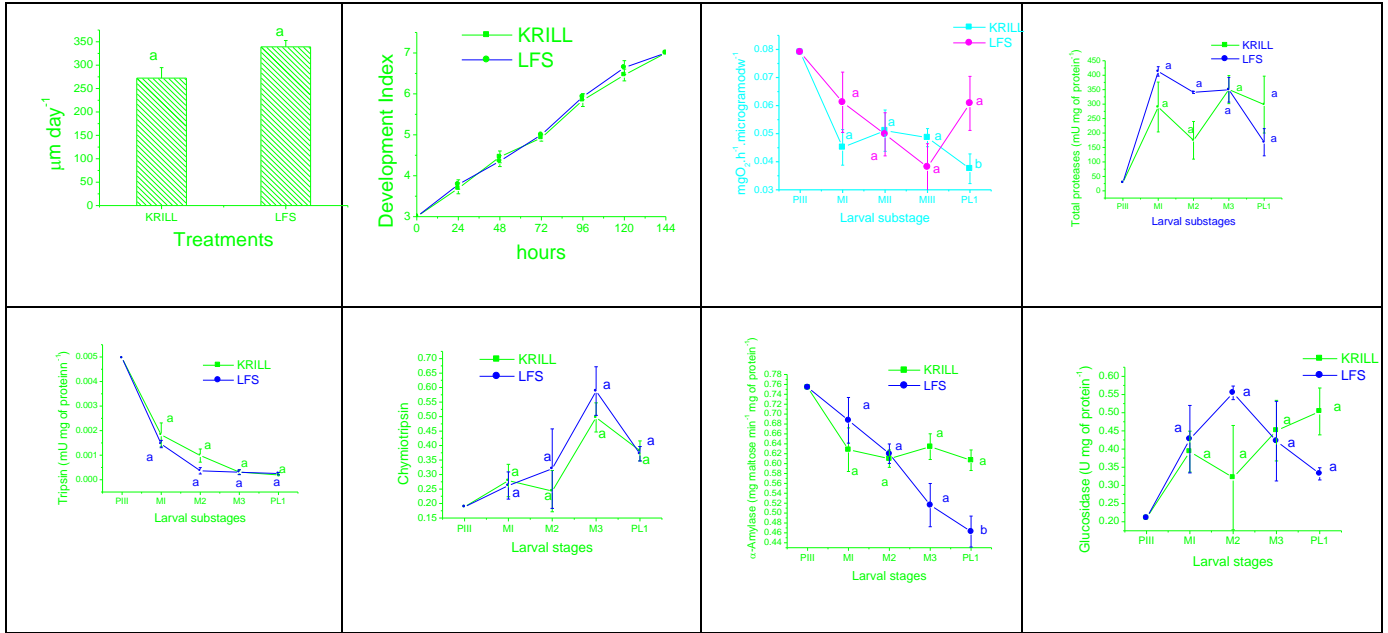


Fig. 1. Larvas de *L. vannamei* (Pz<sub>3</sub>-Pl<sub>1</sub>) alimentadas con microcapsulas de krill y alimento vivo (LFS) Coeficiente diario de crecimiento (DGC, %) y tasa de crecimiento en longitud ( $\mu\text{m day}^{-1}$ ) (mean $\pm$ S.E)

Table 2. Resumen de trabajos de 3 especies con presupuesto de energía, fuente de proteína y estados diferentes.

|                       | Lalo 2004 | Brito 2004 | Gaxiola et al., | Rosas et al. |
|-----------------------|-----------|------------|-----------------|--------------|
| <i>F.brasiliensis</i> |           |            | X               |              |
| <i>L.vannamei</i>     | X         | X          |                 |              |
| <i>P.setiferus</i>    |           |            |                 | X            |
| Larvae                |           |            | X               |              |
| PL's                  | X         | X          | X               |              |
| Juveniles             | X         |            |                 |              |
| caséine               |           |            | X               |              |
| animal protein        | x         |            | X               |              |
| plant protein         | X         |            | X               |              |
| intake DE             |           |            | X               |              |
| excretion             | X         | X          | X               | X            |
| HiE+Hem               | X         | X          | X               | X            |
| RE(ou P)              | X         | X          | X               | X            |
| energy balance        |           | X          |                 |              |

Gaxiola, G. y G. Cuzon. 2010. 20 años de Investigación sobre la nutrición acuícola a la UNAM. En: Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds), Avances en Nutrición Acuícola X - Memorias del Décimo Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp. 294-320.

### 3. Bioenergética

La bioenergética se ha aplicado con diversas fases del ciclo vital de los camarones. Se han mantenido dos acercamientos principales: uno reportado por Lucas (1996) para los estudios en bivalvos y un modelo descrito para los vertebrados superiores (Bureau *et al.*, 2000). La diferencia entre estos dos enfoques en el hecho de que gente que trabaja en los pequeños animales (larvas, PL) encuentran cierta dificultad para la determinación de los parámetros de la ecuación del balance energético (RE, HeE, HiE y UE+ZE para conseguir una estimación de la energía digestible (absorción). Animales más grandes (juveniles) permiten más fácilmente la determinación de los coeficientes de digestibilidad para las proteínas, los lípidos y la energía. Como parte de la distribución de la energía se pueden calcular los compartimientos metabólicos para la excreción nitrogenada, el incremento del calor y el mantenimiento (estas dos últimas a través de la respiración). Finalmente se obtiene un valor para la energía retenida para el crecimiento (RE= producción en el sistema de Lucas). La energía retenida para el crecimiento es difícil de determinar en larvas, a diferencia de los juveniles, ya que disminuye por el alto gasto energético en respiración que es dependiente de la ración. La energía retenida para crecimiento es dependiente de factores tales como la composición del alimento, el contenido de energía, el estado alimenticio (ayuno o alimentado), tamaño de la ración alimenticia, la textura de los alimentos, y sigue siendo el punto más débil para cualquier balance que incluye el factor de conversión de la alimento, la retención de nitrógeno o de la energía. Por ejemplo, con los juveniles Cuzon y Guillaume (1997) expresaron la producción, según densidad en energía en tres fases, (i) una alta producción con alimentos de valores de energía digerible (ED) bajos (12kJ/g) con la única limitación debida a la capacidad física de la zona digestiva (ii) a la fase de producción óptima entre 14-16 kJ/g (iii) con una producción baja con alimentos con valor de ED de 16 kJ/g. En las larvas de camarón entre  $Z_I$  y PL, el peso aumentó cerca de 200 veces y cerca de 13 J son necesarios para las larvas, lo que representa un producción de la energía de 7.3 J pero como la supervivencia está alrededor de la mitad y la ración diaria de alimento es equivalente la producción de los joules es  $7.3*2=14,6J$ .

Usando una mezcla de alimento vivo fue posible recientemente proponer un modelo de ingestión con *F. brasiliensis* (Gaxiola *et al.*, 2002 y Gaxiola *et al.*, 2010). Básicamente, la composición de los alimentos va a ejercer la mayor influencia sobre el consumo y el presente estudio ofrece una comparación entre las partículas de alimento inerte, y la secuencia regular de alimentos vivos. A primera vista, el consumo sería diferente, pero el uso de un hidrolizado marino produjo un incremento de la actividad de las enzimas digestivas (Gaxiola *et al.*, 2003). Cuando el consumo se controla con precisión, es posible considerar el balance energético y determinar el beneficio de ambos regímenes. Las microcápsulas proporcionan suficiente energía para el crecimiento y la progresión sucesiva de una etapa a otra sin aumento significativo en el tiempo. Sin embargo, la ingesta de la dieta microparticulada fue menor que el alimento vivo. Microcápsulas formuladas con un hidrolizado de proteína marina, llevaron a un reemplazo exitoso de nauplios de *Artemia* de Mysis a la etapa de PL's (Tabla 2). Otro parámetro de la ecuación de balance energético es la energía dedicada a la exuvia que se reporta con relativa baja frecuencia (Lemos y Phan, 2001; Read y Caulton, 1998). Se reporta, por ejemplo un valor de 1.4 kJ correspondiente a los gastos de energía para la formación del esqueleto y la muda, que es aproximadamente del 25% de la energía acumulada durante intermuda. Sin embargo, este valor no significa lo mismo para las larvas (que mudan cada día) que en adultos que presentan una muda cada 28 días. Entonces, la expresión de la energía dedicada a la exuvia debe ser tomado con cautela en los modelos de distribución de energía. La energía conservada lleva a una cierta clase de modelado para obtener una buena estimación de la cantidad de alimento necesaria realmente para el crecimiento. A la luz de tales diferencias, llega a ser más fácil analizar datos de muchos autores. Algunas dificultades todavía quedan orientadas la expresión de los resultados, incluso si la mayoría de autores ahora están expresando en Joules, por la materia seca de g, y raramente se reportan en relación con el organismo entero. Algunos autores (Truchot, 1993) intentaron considerar el peso metabólico para comparar valores energéticos entre diversos tamaños del camarón. En tal contexto, se presentan algunos resultados en larva y PL's de *L.vannamei* alimentadas en dos diversas dietas: una basada en las fuentes animales de la proteína, otras en la proteína vegetal para explorar su capacidad adaptativa (en términos de enzimas digestivas y algunos



parámetros metabólicos). Se desarrollaron los modelos de distribución de la energía. Esos datos se comparan con situaciones similares con otras especies de los crustáceos (Tabla 1). De acuerdo con las especies de camarones peneidos y en diversas etapas de sus ciclos vitales y presentadas, se puede concluir que aunque los esquemas de alimentación son diferentes (alimento vivo vs alimento artificial por ejemplo, alga-*Artemia* contra dietas microcapsuladas), los modelos de distribución de la energía señalan que son las larvas las que dedican una mayor cantidad de energía a la respiración, disminuyendo en las PL's y especialmente los juveniles. Un ejemplo del balance energético en la relación con la entrada de energía para PL's se reportó por Brito *et al.* (2004). Resultados relacionados con los estudios de calidad de la proteína vegetal en una dieta para las larvas (Z<sub>I</sub> a Z<sub>III</sub>), PL de 15 a 30 días de edad y juveniles a partir del peso medio 3-6g se reportan por Maldonado *et al.* (2009).

Tabla 1. Presentación sinóptica de autores relacionados en estudios de bioenergética.

| larvae                    | attempts for measuring energy expenditure in µcosme  |
|---------------------------|--|
| Anger 1987                | Energética, ciclo de muda y ecdysteroides en larvas de cangrejo                                  |
| Kurmaly, 1987             | Nutrición con dietas micro encapsuladas  |
| Sick and Beaty, 1972      | Presupuesto de energía en larvas de <i>M. rosenbergii</i>  |
| Lemos et Phan 2001        | Energía particionada en larvas de <i>F.paulensis</i>   |
| Jones et Yule 1997        | Nutricion de larvas  |
| Capuzzo, 1980             | Alimentos con proteína baja & bioenergética en langosta juvenil                                  |
| Logan & Epifanio, 1978    | Balance de energía para larvas de langosta & juveniles   |
| Durruty, 2001             | Comp. requerimiento de proteína para <i>L.setiferus</i> y <i>L.vannamei</i>                      |
| Gaxiola et al, 2002       | Dietas artificiales y cultivo de larvas  |
| Gaxiola et al, 2005       | Modelo de tasa de ingestión y metabolismo en larvas de <i>F.brasiliensis</i>                     |
| Gaxiola et al, 2009       | Revisión de nutrición de larvas <i>L.vannamei</i>  |
| Teshima et al.; 1982      | Composición de lípidos en desarrollo de larvas de <i>P.japonicus</i>                             |
| <b>PL's</b>               |  |
| <b>Brito et al., 2001</b> | Efecto de enzimas digestivas de dietas de PL's   |
| Lalo et al 2004           |  |
| Gaxiola et al., 2010      | Peso ganado y metabolismo de postlarvas de <i>L.setiferus</i> alimentadas con dietas purificadas |
| <b>juveniles</b>          |  |

---

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| Teshima; 1998                  | Nutricion of <i>P.japonicus</i>  |
| Tchung                         | Increment del calor en alimentación (HiE) en <i>L.stylirostris</i>       |
| Ocampo                         | Presupuesto de energía en <i>P.californiensis</i>                        |
| Lalo (Brito).                  |  |
| Martinez <i>et al.</i> ,       |  |
| Cuzon <i>et al.</i> ,2004      | Nutrición de <i>L.vannamei</i> cultivado en tanques o estanques          |
| <b>pre-breeders</b>            |  |
| Gauquelin <i>et al.</i> , 2007 | Presupuesto de energía en juveniles <i>L.stylirostris</i>                |
| <b>breeders</b>                |  |
| Cuzon <i>et al</i> 2004        | generación 25 <sup>th</sup> de <i>L.vannamei</i> criadores en cautiverio |

---

Todos los experimentos conducidos en este estudio fueron puestos en condiciones similares de laboratorio. Entonces ha sido posible comparar los índices del desarrollo, de supervivencia, pero también actividades específicas de enzimas digestivas según el tipo de dietas purificadas, prácticas, o microcapsuladas. Tales dietas fueron basadas en la caseína en la etapa inicial de la investigación, después fue posible obtener los óptimos en nivel de la proteína. De allí y con dietas de multi-ingredientes fue posible observar la reducción de la ingestión de algas y de nauplios de *Artemia* /ml. Como parte de la fisiología de las larvas se estudió la variación en actividades específicas de las enzimas digestivas. Dichas actividades son dependientes en dos factores principales, la cantidad de alimento disponible y la naturaleza de la fuente de la proteína. Esas fuentes de la proteína son esenciales de sus características físicas (nativa o procesada por ejemplo). Por ello comenzaron los estudios relacionados con los coeficientes de digestibilidad (ADC). En las larvas se emplearon proteínas hidrolizadas (los péptidos de liberación de la hidrólisis suave y controlada) y parecen especialmente beneficiosas a las larvas, particularmente en las etapas de Zoea. A los péptidos menores se les atribuye un efecto secretagogo que se evidenció mediante el estudio de las actividades de las enzimas digestivas (“maduración “del tubo digestivo). De allí, tomado en cuenta tales conceptos, la viabilidad del reemplazo de alimento *vivo* está llegando a ser cada vez más una realidad en los laboratorios comerciales. La idea de preparar las microcápsulas no es nueva, pero abrió posibilidades para cubrir los requerimientos nutrimentales de las larvas de una manera más apropiada, con un mejor

control del valor nutritivo, producto de la alimentación, contaminación de agua baja, control de la flotabilidad (Pedroza *et al.*, 2004; Gallardo *et al.*, 2002).

Además de estimar la viabilidad de dichas microcápsulas a partir de estimular la actividad de las enzimas digestivas durante la primera fase del desarrollo larvario, se formuló la siguiente pregunta: ¿sería posible que variaciones ontogenéticas obtenidas en las actividades enzimáticas fueran suficientemente fuertes para colocar a juveniles en la posición de tolerar dosis grandes del almidón de trigo (dieta del hasta 40%)? Si esta pregunta se respondía afirmativamente, quedaría demostrado que el camarón puede ser aclimatado para utilizar completamente los alimentos artificiales que contienen un mínimo de proteína proveniente de la harina de pescado y su sustitución por proteína de origen vegetal y por los carbohidratos (Jiménez-Yan *et al.*, 2007; Maldonado *et al.*, 2009). Tal resultado abrió un acercamiento interesante del cultivo de *L.vannamei*. Este tipo de trabajo también se relacionó con el programa de la domesticación y fue planteada la pregunta de si la selección mediante la composición del alimento puede producir una mejor aptitud en relación con dietas de bajo costo, tal como lo señala Naylor *et al.* (2009).

#### 4. **Bioquímica**

Uno de los aportes más relevantes en la fisiología de los camarones peneidos es el relacionado con la evaluación de las reservas lipídicas durante la fase larvaria, postlarval, juvenil y de los adultos de diversas especies de camarones peneidos, tanto provenientes del medio natural, como cultivados en muy diversas condiciones. Para la fase larval fue posible determinar el uso diferencial de las reservas de lípidos cuando se alimenta a las larvas con diferentes regímenes, incluidos aquellos en los que se sustituyeron uno o todos los componentes de alimento vivo (Gallardo *et al.*, 2004; Gallardo, 2005). Del mismo modo se han usado para determinar el efecto de diversos alimentos balanceados en las postlarvas y juveniles. Recientemente se han referido las variaciones en las reservas lipídicas de los juveniles en relación con el ciclo de la muda (Galindo *et al.*, 2009).

## 5. Nutrigenómica

En relación con la nutrigenómica de los camarones peneidos, nuestro grupo de trabajo se enfocó al estudio de los cambios de expresión de algunas enzimas digestivas, especialmente la  $\alpha$  amilasa, que es una enzima polimórfica que presenta dos sistemas con diferentes alelos cada uno (Arena *et al.*, 2003). En esta enzima se ha utilizado la frecuencia alélica como un parámetro para evidenciar dos sistemas, uno relativamente estable y el otro donde puede haber cambios significativos detectados en % especialmente para los alelos c y d del sistema II. Estas variaciones fueron relacionadas con un cambio en regímenes alimenticios en juveniles de *L. vannamei* durante el proceso de domesticación. Los experimentos demostraron una gran capacidad de adaptación de esta enzima en relación con la composición de la dieta. Tal resultado fue demostrado previamente en un nivel de actividad específica cuando el camarón recibió diversas fuentes de la proteína tales como CPSP, caseína, calamar y la tripsina presentaba una variación significativa (Maldonado, 2007). Tal cambio radical en la composición de la dieta es experimentado por las larvas con un cambio drástico entre las etapas de Zoea y Mysis y un cambio de estado herbivoría a la carnivoría (Brito *et al.*, 2001; Gallardo *et al.*, 2004). Todos estos cambios cualitativos influyen la actividad específica o la frecuencias alélica o ambas (Arena *et al.*, 2003). Hay estudios anteriores que demuestran un efecto cuantitativo del alimento sobre la expresión de esta enzima, con el ejemplo de la cantidad de algas unicelulares como alimento. Basado en tales observaciones fue propuesto el concepto de sobre-regulación de genes de la amilasa (Samain *et al.*, 1995). Tal activación tendría una incidencia en la capacidad adicional del animal de hacer frente a los cambios de abundancia de alimento. En camarón en cultivo, no hay evidencia real de tal respuesta porque en cautiverio hay una estrategia de una fuente regular de alimento vivo o balanceado. Eso puede diferenciar entre las dos observaciones; en las postlarvas y juveniles tempranos del camarón existe una mayor flexibilidad fenotípica para hacer frente a la variación en la composición de la dieta. De hecho tal capacidad existe ya en la fase de las larvas debido al cambio rápido en régimen. En vista de esta capacidad los juveniles de *L. vannamei* crecerán en cautiverio con alimentos basados en proteína vegetal o animal. Entonces, el camarón engordado en estanques podrá utilizar

dietas de diferente calidad proteica con una eficacia evidente, así como otra fuente de proteína contenida en las bacterias. Estos comentarios preliminares en nutrigenómica se aplican también en el proceso de domesticación. Como se mostró con la especie *L.vannamei* la cual se cultivó durante 35 años, sin ingreso de sangre nueva, y que recibió la misma gama de composición de alimento. Tales alimentos contenían los carbohidratos en un 23%. Los juveniles adaptados a tal régimen presentaron una pérdida del 95% de frecuencia alélica en genes de la amilasa, aunque mantuvo funcionamiento normales en términos de crecimiento y reproducción (Arena *et al.*, 2007). Un proceso de selección massal llevó a un perfil de isoformas permitiendo que los animales utilizaran una cantidad dada de carbohidratos digestible (almidón de trigo). Se espera que más información del conocimiento en el genoma de *L.vannamei* (Chavez-Calvillo *et al.*, 2010) y de la posibilidad la especie se adapte a un estado herbivoría para utilizar menos proteína compensada con más niveles de inclusión carbohidratos digestibles, sin perder sus características físicas del músculo abdominal (textura) y sabor (composición de aminoácidos, Maldonado, 2010 en preparación).

## 6. Immunología

Diversos parámetros han sido relacionados con la respuesta inmune en los camarones. Factores abióticos y bióticos tales como ambiente o estado fisiológico y su estado nutricional pueden modificar la hematopoyesis y por ende modificar la resistencia a las infecciones debido a patógenos tales como vibriones (por ejemplo *V.penicidiae*, *V. Nigripulchritud* *V. havey*). La respuesta inmune evaluada vía el conteo de los hemocitos, (número de granulocitos), contenido de hemocianina, fue estudiada en la relación el ciclo de la muda en varias especies de camarón (Le Moullac *et al.*, 1996; Pascual *et al.*, 2003). Las variaciones en diversos parámetros inmunes se observaron entre el estadio C (intermuda) y los estadios D<sub>1</sub>' , D<sub>1</sub>'', D<sub>1</sub>'''' de la premuda principalmente, porque en los estadios de la postmuda (A y B) las variaciones son menores debido a que en general el estado fisiológico del camarón se deprime. La nutrición y la alimentación podrían ser parte de la solución, que consiste en la elevación de la respuesta inmune y a los

immunostimulantes tales como  $\beta$ -glucanos y la vitamina C para mejorar el estado inmune en *L.vannamei* (López et al., 2003). Los lípidos dietéticos fueron probados también, y la naturaleza de triglicéridos dio una respuesta positiva. Presencia de HUFA tendidos para mejorar parámetros principales del sistema inmune. Las membranas celulares pudieron convertirse en una entrada limitadora más resistente de patógeno; hay una acción posible en los diversos caminos en cascada del mecanismo complejo de la respuesta inmune (Pascual et al., 2006). El contenido proteínico dietético fue probado con *L. vannamei* junto con el balance energético (Pascual et al., 2004; Goimier et al., 2006). En *L. stylirostris* demostró poseer una tendencia para una mejor respuesta inmune con bajo nivel proteico en la dieta. Los carbohidratos (Pascual et al., 2003) produjeron un potente efecto sobre la respuesta inmune de los juveniles de *L.vannamei* concluyendo que los carbohidratos complejos mejoran dicha respuesta cuando fueron comparados con los azúcares simples. El ayuno produjo en los juveniles de *L.vannamei* produjo cambios no sólo en a nivel bioquímico y fisiológico, sino también en la respuesta inmune (Pascual et al., 2006).

## Conclusion

La UNAM seleccionó un lugar muy favorable al estudio sobre las especies de camarones del Golfo de México. La disponibilidad de 7 especies de interés comercial permitieron abrir un camino sobre el enfoque comparativo desde el punto de vista de la fisiología y la nutrición. El control del ciclo biológico a partir de organismos silvestres da un rápido impulso a la reproducción en cautiverio y a seguir a las investigaciones en microcosmos. La definición de las raciones alimentarias en *F. brasiliensis* condujo a generar un modelo de ingestión en la larvas de camarones peneidos. El establecimiento de los parámetros físicos-químicos ha permitido abordar la energética durante la ontogénesis del camarón y siempre bajo un aspecto comparativo. Por otro lado esta metodología ayuda al máximo aprovechamiento de la alimentación larval con partículas en sustitución de la secuencia alga-presas vivas. Pl's son objeto de los mismos enfoques en zootecnia, bioquímica (metabolitas y enzimas digestivos) y energética. En los juveniles, ganancia de peso y supervivencia son los parámetros básicos para medir los alimentos compuestos

tradicionales luego los que contienen proteínas vegetales y los estudios de digestibilidad *in vivo* establecen respuestas útiles a la formulación. En relación con las actividades específicas de las enzimas digestivas han dado información relevante sobre la capacidad de adaptación de los camarones hacia los alimentos de origen vegetal. El equipo ha propuesto modelos que integran los cambios de diversos factores con el ciclo de la muda, tanto en lo relacionado con las variaciones de las enzimas digestivas, como en relación con los metabolitos sanguíneos, y el transporte de éstos desde el hepatopáncreas al músculo, lo cual reduce las fuente de variación y aumentan el nivel de interpretación. La expresión de las enzimas digestivas aporta los primeros elementos a un estudio más fino en nutrigenómica y las isoformas indican el nivel de adaptación a los regímenes alimentarios propuestos. El concepto de silvestre y domesticado se tiene en cuenta para incluir el nivel de variabilidad genética residual después de varias generaciones en cautiverio. Por fin el primer banco de cDNA de los genes del hepatopáncreas en *F.duorarum* coloca las bases de los futuros trabajos en nutrigenómica. Los juveniles son el material conveniente para la medida de los parámetros inmunitarios que dan indicaciones en cuanto a la respuesta ante patógenos en presencia o no de inmunostimulantes. Los reproductores no fueron objeto de investigaciones más que en *L. setiferus* y *L. vannamei*, para solucionar los problemas vinculados a la reproducción en los machos. Con este conjunto de resultados de la investigación, el laboratorio puede abordar con seguro los proyectos sobre la zona costera que se destina a sostener el sector acuícola, a constituir un banco de reproductores y a abordar el espinoso problema de la repoblación sobre zonas donde la sobrepesca podría diezmar los stocks a corto y medio plazo.

## Lista de publicaciones

### 1993

Gaxiola, G., Garcia, T., Garcia, T., Pedroza, R; Lopez, NA., Soto, LA., Rosas, C.(1993). Evaluation of protein requirement of postlarval *Penaeus setiferus* and *P. duorarum* with the use of purified diets. Special Publication, European Aquaculture Society.

Rosas, C., Gaxiola, G., Garcia, T., Sanchez, A; Lopez, NA; Soto, LA; Pedroza, R., Diaz-Iglesia, E; Brito, R., Baez, M., de Lima, RN.( 1993) Apparent caloric increment and O:N ratio of postlarval *P. setiferus*, *P. duorarum*, *P. schmitti*, and *P. notialis* fed on different dietary protein levels. Special Publication, European Aquaculture Society

### 1994

Gaxiola, G. (1994) Requerimientos nutricionales de las postlarvas de *Penaeus setiferus* y *P. duorarum* (Crustácea:Peneidae). Ph.D. Dissertation, Universidad Nacional Autónoma de México, 91p.

### 1995

Rosas C., A. Sánchez, E. Díaz, L. A Soto, G. Gaxiola, R. Brito, M. Hidalgo, and R. Pedroza. (1995) Oxygen consumption and ammonium excretion of *Penaeus setiferus*, *P. schmitti*, *P. duorarum* and *P.notialis* postlarvae fed purified test diets:effect of protein level on substrate metabolism. *Aquatic Living Resources* 8:161-169.

Rosas, C., Sánchez A., Gallardo, P., Quiróz J., Gaxiola G., Díaz-Iglesia, E.and L.A. Soto. (1995) Oxygen consumption and ingestion rate of *Penaeus setiferus* larvae fed *Chaetoceros ceratosporum*, *Tetraselmis chuii*, and *Artemia nauplii*. *Aquaculture Nutrition* 1:13-20.

Gallardo, P., Alfonso, E. Gaxiola, G. Soto L.A. and Rosas C. (1995) Feeding schedule for *Penaeus setiferus* larval based on diatoms (*Chaetoceros ceratosporum*), flagellates (*Tetraselmis chuii*) and *Artemia nauplii*. *Aquaculture* 131:239-252.

Rosas, C A. Bolongaro-Crevena, A. Sánchez, G. Gaxiola, and L Soto. (1995) Role of digestive gland in the energetic metabolism of *Penaeus setiferus*. *Biological Bulletin*. 168-174.



**1996**

Gaxiola G. 1996. Algunos aspectos de la nutrición de las postlarvas del camarón blanco (*Penaeus setiferus*) y el camarón rosado (*Penaeus duorarum*). En: Cruz-Suárez E., Rique-Marie Denis y Mendoza-Alfaro R(eds). Avances en Nutrición Acuícola III. Universidad Autónoma de Nuevo León, México, 81pp.

Gaxiola, G., García, T. Jaime B. y González R. (1996) Evaluación de diferentes razones de proteína animal/vegetal en dietas para postlarvas de *Penaeus schmitti*. *Revista de Investigaciones Marinas* 17(1):73-84.

Rosas, C., Sanchez, A., Díaz, E., Soto, L.A., Gaxiola, G., and Brito, R. (1996) Effect of dietary protein level on apparent heat increment and post-prandial nitrogen excretion of *Penaeus setiferus*, *P. schmitti*, *P. duorarum* and *P. notialis* postlarvae. *Journal of the World Aquaculture Society* 27:92-102.

**1997**

Rosas C, Sánchez A., Gaxiola G., Díaz E., Brito R., Soto L.A. (1997) Respiration rate of larval *Penaeus setiferus* Linnaeus and *Penaeus schmitti* Burkenraod (Decapoda:Penaeidae). *Revista de Investigaciones Marinas* 18(1):51-57.

**1998**

García T., Gaxiola G., García T., Pedroza, R., Soto, L.A., López N. y C. Rosas. (1998) Influence of dietary protein level on growth, survival and yield in postlarvae of white shrimp (*Penaeus setiferus*) and pink shrimp (*P. duorarum*) *Revista Electronica AquaTic* 2, 11pp.

Rosas, C., Martinez, E., Gaxiola G., Díaz, E., Brito, R., and Soto, L. (1998) Effect of dissolved oxygen on the energy balance and survival of *Penaeus setiferus* juveniles. *Marine Ecology Progress Series* 174:67-75.

Taboada, G., Gaxiola G., García T., Pedroza R., Sanchez A., Soto L., and Rosas, C. (1998) Oxygen consumption and ammonia-N excretion related to protein requirements for growth of with shrimp *Penaeus setiferus*. *Aquaculture Research* 29:1-11.

Pascual C., Valera E., Regis C., Gaxiola G., Sanchez A., Ramos L., Soto L.A. y Rosas C. (1998) Effect of water temperature on reproduction tract condition of *Penaeus setiferus* adult males. *Journal of World Aquaculture Society* 29(4) 477-480.

### 1999

Rosas C., Ocampo L., Gaxiola G. y Soto L.A. (1999) Effect of salinity on survival, growth and oxygen consumption of postlarvae (P<sub>10</sub>-P<sub>21</sub>) of *Litopenaeus setiferus*. *Journal of Crustacean Biology* 19(2)

Rosas C., Martínez E., Gaxiola G., Brito R., Sánchez A., Soto L.A. (1999) The effect of dissolved oxygen and salinity on oxygen consumption, ammonia excretion and osmotic pressure of *Litopenaeus setiferus* juveniles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 244:125-143.

### 2000

Cuzon, G., Gaxiola, G. (2000) Revision of the nutrition of *L.vannamei* larvae. Glasgow conference.

Cuzon G., Rosas C., Gaxiola G., Taboada G., and van Wormhoudt A. (2000) Utilization of carbohydrates by shrimp. To the V<sup>th</sup> Symposium International on Nutrition and Aquaculture. 19/22 Nov. Merida, Mexico.

Durruty C.V. (2000) Requerimientos nutrimentales de proteína en larvas de *L. setiferus* y *L.vannamei*. MS thesis, UNAM, Mexico, 37pp.

Rosas, C., Cuzon, G., Gaxiola, G., Arena, L., Lemaire, P., Soyez, C. and A. Van Wormhoudt (2000) Influence of dietary carbohydrates on the metabolism of juveniles *L. stylirostris*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 249(181-198).

Brito R., Chimal ME., Gaxiola G., y Rosas C. (2000) Growth, metabolic rate, and digestive enzyme activity in the white shrimp *Litopenaeus setiferus* early postlarvae fed different diets. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*: 255: 21-36.

### 2001

Brito, R., Rosas, C., Chimal, M., Gaxiola, G. (2001) Effect of different diets on growth and digestive enzyme activity in *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) early postlarvae. *Aquaculture Research*, 32(4) 257-266.

Rosas, C., Cuzon, G., Taboada, G., Pascual, C., Gaxiola G., and van Wormhoudt, A. (2001a) Effect of dietary protein and energy levels (P/E) on growth, oxygen consumption, hemolymph and digestive gland carbohydrates, nitrogen excretion and osmotic pressure of *Litopenaeus vannamei* and *L. setiferus* juveniles (Crustacea:Decapoda:Penaeidae). *Aquaculture Research* 32:1-20.

Rosas, C., Cuzon, G., Gaxiola, G.; Le Priol, Y. Pascual, C. Rossignol J., Contreras, F., Sanchez, A and van Wormhoudt, A. (2001b) Metabolism and growth of juveniles of *Litopenaeus vannamei*: effect of salinity and dietary carbohydrate levels *Journal of experimental Marine Biology and Ecology* 259(1) 1-22.

Taboada, G, Cuzon, G., Gaxiola, G., Pascual, C., Arena, L., van Wormhoudt A. and Rosas. C. (200) Carbohydrate requirement for growth of the white shrimp *L.vannamei*. *Aquaculture*,

Guzmán C., Gaxiola G., Rosas C., and Torre-Blanco (2001) The effect of dietary protein and total energy content of diet on digestive enzyme activities, growth and survival of *Penaeus setiferus* (Crustacea:Decapoda) postlarvae. *Aquaculture Nutrition* 7:113-122.

## 2002

Gaxiola G., Gallardo P.P., Ravallec R., Durruty C., Martínez G., Brito A., García T., Cuzon G y Pedroza R. 2002. Avances en el uso de alimentos artificiales en la larvicultura de camarón. En Cruz-Suarez, L. E., Rique Marie D., Nieto López M.G., Simoes N. y Gaxiola G. Avances en Nutrición Acuícola. VI Memorias del VI Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, Cancún, Quintana Roo, del 3 al 6 de septiembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Gaxiola G.,Martnez, Ramon, Martinez., Palomino, G., Paredes A., Gallardo, Rosas C., Goyard,E., and Cuzon G, (2002) Ingestion rate, digestive enzymes activities, metabolism and reserves of *Farfantepenaeus brasiliensis* larvae fed diatom or flagellate. JE.M.B.A.

Gallardo P.P. Pedroza-Islas R., García-Galano T., Pascual C., Rosas C., Sánchez A. and Gaxiola G. (2002) Replacement of live food with microbound diet in feeding *Litopenaeus setiferus* (Burkenroad) larvae. *Aquaculture Research*, 33:681-691.

Rosas, C., Cuzon, G., Gaxiola, G., Pascual, C., Taboada, G., Arena, L., van Wormhoudt, A. ( 2002) An energetic and conceptual model of the physiological role of dietary carbohydrates and salinity on *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 268:47-67.

Gaxiola, G. et al. 2002. Avances en el uso de alimentos artificiales en la larvicultura de camarón, VI SINA,

### 2003

Arena, L., Cuzon, G., Pascual, C., Gaxiola, G., Soyez, C., Van Wormhoudt, A., y Rosas, C. (2000). Physiological and genetic variations in domesticated and wild populations of *Litopenaeus vannamei* fed with different carbohydrate levels. *Journal of Shellfish Research* 22(1): 269-279.

Pascual, C., Arena, L., Cuzon, G., Gaxiola, G., Taboada, G., Valenzuela, M., y Rosas, C. (2003) Effect of size-based selection program on blood metabolites and immune response of *Litopenaeus vannamei* juveniles fed different dietary carbohydrate levels. *Aquaculture* 230: 405-416.

Gallardo, P.P., Martínez, G., Brito, A., Barrera, J., Pedroza-Islas, R., Cuzon, G. and Gaxiola, G. (2003) Effect of *Artemia* nauplii replacement by an artificial feed containing krill hydrolysate on ingestion rate, oxygen consumption, and energy budget in the mysis of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Revista Nauplius* 11(2)69-81.

Pascual, C. Gaxiola, G. Rosas, C. ( 2003) Blood metabolites and hemocyanin of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: the effect of culture conditions and a comparison with other crustacean species. *Marine Biology* 142(4)735-745.

Arena, L; Montalvan, M; Espinosa, G; Gaxiola, G; Sanchez, A., Van Wormhoudt, A; Hernandez, D; Diaz, R; Rosas, C. (2003) Genetic relationship between *Litopenaeus setiferus* (L.) and *L. schmitti* (Burkenroad) determined by using 16S mitochondrial sequences and enzymatic analysis. *Aquaculture Research* 34(12)981-990.

Lopez, N; Cuzon, G; Gaxiola, G; Taboada, G; Valenzuela, M; Pascual, C; Sanchez, A; Rosas, C. (2003) Physiological, nutritional, and immunological role of dietary beta 1-3 glucan and ascorbic acid 2-monophosphate in *Litopenaeus vannamei* juveniles *Aquaculture*. 224(1-4)223-243.

### 2004

Comoglio, L., Gaxiola, G., Roque, A., Cuzon, G., y Amin, O., (2004) The effect of starvation on refeeding, digestive enzyme activity, oxygen consumption, and ammonia excretion in *Litopenaeus vannamei* juvenile white shrimp. *Journal of Shellfish Research*, 23(1) 243-249.

Pedroza-Islas, R., Gallardo, P., Vernon-Carter, E., Garcia-Galano, T., Rosas, C., Pascual, C., Gaxiola, G. (2004) Growth, survival, quality and digestive enzyme activities of larval shrimp fed microencapsulated, mixed and live diets *Aquaculture Nutrition* 10(3):167-173.

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.

Pascual, C., Zenteno, E., Cuzon, G., Sánchez, A., Gaxiola, G., Taboada, G., Maldonado, T., y Rosas, C. (2004) *Litopenaeus vannamei* juveniles energetic balance and immunological response to dietary protein. *Aquaculture*, 236: 431-450.

Brito, R., Chimal, M.E., Gelabert, R., Gaxiola G., Rosas C. (2004) Effect of artificial and natural diets on energy allocation in *Litopenaeus setiferus* (Linnaeus, 1767) and *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) early postlarvae. *Aquaculture* 237: 517-531.

Cuzon G., Guillaume, J., Gaxiola G. (2004) Review on amino acid requirement in shrimp. *Journal of Shellfish Research* 23(1): 285.

Gallardo, P., Pedroza R., Brito A., Cuzon G., **Gaxiola G.** 2004. Uso de alimentos artificiales con hidrolizados proteicos de origen marino en la larvicultura de camarones peneidos: efecto sobre la respuesta nutricional y balance energético. En Cruz-Suarez, L. E., Rique Marie D., Nieto López M.G., Villarreal Cavazos, D.A., Scholz LL., González- Felix M.L. Avances en Nutrición Acuícola VII. Memorias del Séptimo Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, 16-19 de noviembre del 2004, Hemosillo, Sonora. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México: 145-167.

Cuzon, G., Brito A., Jiménez-Yan, L., Brito R., García T., Taboada G., **Gaxiola G.** 2004. The effects of animal or plant protein diets on energy partitioning in selected ontogenetic stages of the shrimp *Litopenaeus vannamei* En Cruz-Suarez, L. E., Rique Marie D., Nieto López M.G., Villarreal Cavazos, D.A., Scholz LL., González- Felix M.L. Avances en Nutrición Acuícola VII. Memorias del Séptimo Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, 16-19 de noviembre del 2004, Hemosillo, Sonora. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México: 747-770.

## 2005

Gaxiola G., Cuzon, G., García, T., Taboada G., Brito R., Chimal, M.E., Paredes A., Soto L., Rosas C., Van Wormhoudt, A. (2005) Factorial effects of salinity, dietary carbohydrate and moult cycle on digestive carbohydrases and hexokinases in *Litopenaeus vannamei*. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 140:29-39.

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.

## 2006

Goimier, Y, Pascual, C., Sánchez, A., Taboada, G., Gaxiola, G., Sánchez, A., y Rosas, C. (2006) Relation between reproductive, physiological, and immunological conditions of *L. setiferus* adult males fed different dietary protein levels. *Animal Reproduction Science*. 92(2):193-208.

Pascual, C., Sánchez, A., Zenteno E., Cuzon, G., Gaxiola, G., Brito, R., Gelabert, R., Hidalgo E., y Rosas C. (2006) Biochemical, physiological, and immunological changes during starvation in juveniles of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 251 (2-4): 416-419.

Jiménez-Yan, Brito, A., Cuzon, G., Gaxiola, G., García T., Taboada, G. Soto, L.A. Brito R.. (2006) Energy balance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae fed on animal or vegetable protein based compounded feeds. *Aquaculture* 260(1-4) 337-345.

Maldonado, C. (2007) 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

**2007**

Gauquelin, F., Cuzon, G., Gaxiola, G., Rosas, C., Bureau, D.P., Arena, L., and Cochard, J.C. (2007) Effect of dietary protein level on growth and energy utilization by *Litopenaeus stylirostris* under laboratory conditions. *Aquaculture* 271: 439-448.

Arena, L; Mendez, MJ; Brito, A; Maldonado, C; Hernandez, D; Soto, L; Cuzon, G; Gaxiola, G. (2007) Growth performances, specific activities and isoforms variation of alpha-amylase with F<sup>0</sup> and F<sup>1</sup> juveniles *Litopenaeus vannamei* undergoing feed alteration *Aquaculture*. 272: 240-241.

**2008**

Gelabert R, Brito R, Gaxiola MG, Castro T, Rosas C. (2008) Efecto de dietas de *Artemia* enriquecida en el crecimiento, supervivencia y resistencia al estrés de postlarvas (Pl<sub>5</sub>-Pl<sub>40</sub>) de *L.vannamei* (Boone 1931) Universidad y Ciencia [www.ujat.mx/publicaciones/uciencia](http://www.ujat.mx/publicaciones/uciencia) 24:29-40.

Gaxiola, G., Arena, L., Lizama, G. and Cuzon, G. 2008. Some aspects of feeding and nutrition of native *Farfantepenaeus duorarum*. SINA IX

**2009**

Galindo, C., Gaxiola G., Cuzon G., Chiappa-Carrara, X. (2009) Physiological and biochemical variations during the molt cycle in juvenile *Litopenaeus vannamei* under laboratory conditions. *Journal of Crustacean Biology* 29 (4): 544-549.

Maldonado C, Cuzon G, Guzmán E, Brito R, Soto L, Arena L, Gaxiola G. (2009) Effect of an herbivorous diet on energy balance of *Litopenaeus vannamei* at selected ontogenetic stages. *Aquaculture*, 296:123-128.

Suarez, JA., Gaxiola, G., Mendoza, R., Cadavid, S., Garcia, G., Alanis, G., Suarez, A., Faillace, J., Cuzon, G. (2009) Substitution of fish meal with plant protein sources and energy budget for white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) *Aquaculture*. 289(1-2)118-123

**2010**

Gaxiola, G., Gallardo, PP., Cuzon G. and Simões N. (2010) A red shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817) larvae feeding regime based on live feed. *Journal of World Aquaculture Society*

Gaxiola, G. y G. Cuzon. 2010. 20 años de Investigación sobre la nutrición acuícola a la UNAM. En: Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds), Avances en Nutrición Acuícola X - Memorias del Décimo Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp. 294-320.

Chavez-Calvillo, G., Perez-Rueda, E., Lizama, G., Aguilar, JJ., Gaxiola, G., Cuzon, G. Arena-Ortiz, L. 2010. Differential gene expression in *Litopenaeus vannamei* shrimp in response to diet changes *Aquaculture* 300(1-4)137-141.

Gaxiola G., Pedroza R., García T, Gómez L., Sánchez A., Soto L., Rosas C and Cuzon G. 2010 Growth and metabolism of *Litopenaeus setiferus* postlarvae fed purified diets. *Aquaculture*



## Referencias

- Bureau D.P; Azevedo P; Tapia-Slazar M; Cuzon G. (2000) Pattern and cost of growth and nutrient deposition in fish and shrimp: Potential implications and applications. Quinto Simposio Internacional de Nutrición Acuícola. Telchak, Yucatán.
- Cuzon, G. and Guillaume J. (1997) Protein/Energy in shrimp. Book on Crustacea nutrition, International Working Group on Crustacea Nutrition, World Aquacult. Soc., pp51-70.
- Kuhn, DD; Boardman, GD; Lawrence, AL; Marsh, L; Flick, GJ. (2009) Microbial floc meal as a replacement ingredient for fish meal and soybean protein in shrimp feed. *Aquaculture* 296(1-2):51-57.
- Lemos, D; Phan, VN. (2001) Energy partitioning into growth, respiration, excretion and exuvia during larval development of the shrimp *Farfantepenaeus paulensis* *Aquaculture* 199(1-2)131-143.
- Le Moullac, G., Klein, B., Sello, D., Van Wormhoudt, A., (1996) Adaptation of trypsin, chymotrypsin and  $\alpha$ -amylase to casein level and protein source in *Penaeus vannamei* (Crustacea Decapoda). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 208: 107-125
- Lucas A. (1996) *Bioenergetics of Aquatics Animals*. Masson ed., Paris, 147pp.
- Naylor, RL. et al., (2009) Feeding aquaculture in an era of finite resources. *PNAS*, 106(36): 15103-09
- Read, G.H.L. (1981) The response of *Penaeus indicus* Milne Edwards, 1837 (Crustacea:Penaeidea) to purified and compounded diets of varying fatty acid composition. *Aquaculture*, 24, 245-256.
- Read, GHL. and Caulton, MS. (1980) Changes in mass and chemical composition during the molt cycle and ovarian development in immature and mature *Penaeus indicus* Milne Edwards. *Comp. Biochem. Physiol.*, 66A(3): 431-437.
- Truchot, JP. (1993) Crustaceans as experimental animals for metabolic and transport physiology. *Aqua. Liv. Resour.*, 6:343-349.

Table 3. All papers presented here on species, themes and developmental stages.

| tema                             | <i>schmitti</i> | <i>setiferus</i> | <i>duorarum</i> | <i>notialis</i> | <i>vannamei</i> | <i>stylirostris</i> | <i>brasiliensis</i> |
|----------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| O <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> | juveniles       |                  |                 |                 |                 |                     |                     |
| intake                           |                 | larvae           |                 |                 |                 |                     |                     |
| feeding                          |                 | larvae           |                 |                 |                 |                     |                     |
| nrj                              |                 | larvae           |                 |                 |                 |                     |                     |
| HP Pa/Pv                         | Pl's            |                  |                 |                 |                 |                     |                     |
| HiE                              | Pl's            |                  |                 |                 |                 |                     |                     |
| energetic                        | larvae          |                  |                 |                 |                 |                     |                     |
| survie,                          | O <sub>2</sub>  | juveniles        |                 |                 |                 |                     |                     |
| O <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> |                 | juveniles        |                 |                 |                 |                     |                     |
| ups                              |                 | Pl's             |                 |                 |                 |                     |                     |
| po                               |                 | Pl's             |                 |                 |                 |                     |                     |
| cbh                              | juveniles       |                  |                 |                 |                 |                     |                     |
| enzymes                          |                 |                  |                 |                 | Pl's            |                     |                     |
| P/E                              |                 |                  |                 |                 | juveniles       |                     |                     |
| metabolism                       |                 |                  |                 |                 | juveniles       |                     |                     |
| cbh                              |                 |                  |                 |                 | juveniles       |                     |                     |
| artific.feeds                    | larvae          |                  |                 |                 |                 |                     |                     |
| liv.food/diet                    |                 | larvae           |                 |                 |                 |                     |                     |
| energetic                        |                 |                  |                 |                 | juveniles       |                     |                     |
| blood<br>metabolites             |                 |                  |                 |                 | juveniles       |                     |                     |
| cbh wild/dom                     |                 |                  |                 |                 | juveniles       |                     |                     |
| enzymes µcap                     | larvae          |                  |                 |                 |                 |                     |                     |
| immune<br>response               |                 |                  |                 |                 | juveniles       |                     |                     |
| <i>Artemia</i> krill             |                 |                  |                 |                 | Mysis           |                     |                     |
| genetics                         | juveniles       |                  |                 |                 |                 |                     |                     |
| immune<br>response               |                 |                  |                 |                 | juveniles       |                     |                     |
| starvation                       |                 |                  |                 |                 | juveniles       |                     |                     |
| nutrition                        |                 |                  |                 |                 | juveniles       |                     |                     |
| immune/nut<br>nrj                |                 | Pl's             |                 |                 | juveniles       |                     |                     |

Gaxiola, G. y G. Cuzon. 2010. 20 años de Investigación sobre la nutrición acuícola a la UNAM. En: Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villareal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds), Avances en Nutrición Acuícola X - Memorias del Décimo Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp. 294-320.

|                                 |  |       |  |  |           |            |        |
|---------------------------------|--|-------|--|--|-----------|------------|--------|
| diets and nrj<br>balance        |  | Pl's  |  |  | Pl's      |            |        |
| aa require <sup>t</sup>         |  |       |  |  |           |            |        |
| cbh, ups,<br>enzymes            |  |       |  |  | juveniles |            |        |
| immune prot.<br>level           |  | males |  |  |           |            |        |
| immune<br>starvation            |  |       |  |  |           | juveniles  |        |
| nrj.balance<br>pa/pv            |  |       |  |  |           | Pl's       |        |
| isoformes $\alpha$ -<br>amylase |  |       |  |  |           | juveniles  |        |
| <i>Art.</i> & stress            |  |       |  |  |           | Pl's       |        |
| fishmeal                        |  |       |  |  |           | juveniles  |        |
| molt $\Phi$ bioch               |  |       |  |  |           | juveniles  |        |
| PV & nrj                        |  |       |  |  |           | all stages |        |
| gene express<br>diet            |  |       |  |  |           | juveniles  |        |
| FM/PVnrj                        |  |       |  |  |           |            |        |
| larv. liv. food                 |  |       |  |  |           |            | larvae |
| gene express.<br>& diet         |  |       |  |  |           | juveniles  |        |