

La importancia nutricional de la productividad natural en operaciones de pre-cría y engorda de camarón indicada mediante isótopos estables

Julián Gamboa-Delgado, David Villarreal-Cavazos, Martha G. Nieto-López,
Mireya Tapia-Salazar, Alberto Peña-Rodríguez, Denis Ricque-Marie,
L. Elizabeth Cruz-Suárez

Programa Maricultura, Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad Autónoma de Nuevo León, A.P. F-67. San Nicolás de los Garza N.L. 66451,
México. Tel/Fax: +52 81 8352-6380 e-mail: julian.gamboad@uanl.mx

Resumen

La productividad natural de los estanques de cultivo semi-intensivo está frecuentemente representada por una gran cantidad de elementos que continuamente aportan nutrientes a los organismos en cultivo. Estos componentes dietarios pueden exhibir firmas isotópicas naturalmente distintas y por lo tanto permiten establecer relaciones entre los organismos consumidores y sus respectivas dietas. Los valores isotópicos pueden medirse e integrarse en modelos simples para cuantificar la contribución relativa de múltiples fuentes nutritivas al crecimiento del organismo consumidor. De esta forma, es posible estimar la contribución dietaria relativa de los diversos elementos presentes ya sea en los ambientes naturales de cultivo o incluidos en dietas y regímenes de alimentación experimentales. Los análisis isotópicos proveen información no solo acerca de la selección, captura e ingestión de material, sino también acerca de las cantidades de nutrientes asimilados en los tejidos del consumidor. El presente documento resume la importancia nutricional que presenta para el camarón algunos de los diversos elementos encontrados en la productividad natural. De la misma forma, se expone una síntesis de los resultados encontrados en estudios en los que se han utilizado valores isotópicos para determinar las contribuciones de diversos elementos nutricionales al crecimiento del camarón en las fases de pre-cría y engorda.

Palabras clave: Isótopos estables, carbono, nitrógeno dietario, contribuciones al crecimiento, *Litopenaeus vannamei*, *Ulva clathrata*

Introducción

Actualmente, la forma predominante para producir camarón por medio de acuicultura es a través de operaciones tipo semi-intensivo. El manejo de este tipo de producción está típicamente caracterizado por la aplicación periódica de fertilizantes para estimular el crecimiento de la productividad natural y por la adición de alimento formulado suplementario. Los estanques de producción acuícola manejados de formas extensiva y semi-intensiva son muy semejantes a pequeños ecosistemas y por lo tanto, muchos de los eventos y procesos que rigen en estos últimos son también observados en los sistemas acuícolas. Frecuentemente, las poblaciones naturales establecidas en los estanques de cultivo para camarón están representadas por comunidades altamente diversas de organismos, los cuales son cambiantes en el tiempo debido a sucesiones naturales y en mayor medida, debido al consumo continuo por parte de los animales en cultivo. El comportamiento alimenticio continuo que presentan los camarones (excepto en condiciones de pre- y post-muda), provoca una fuerte influencia sobre las comunidades naturales de organismos; sin embargo, diversas técnicas de manejo y monitoreo apropiado permiten fomentar de forma eficiente la presencia de una buena productividad natural durante todo o la mayor parte del ciclo de cultivo.

La productividad natural o biota natural

En el medio acuático, las microalgas y las macroalgas son las responsables de convertir la energía solar en la energía química que se almacena en sus tejidos y que a su vez, representa una muy importante fuente de alimento para los organismos de los siguientes niveles tróficos. El fitoplancton o comunidades de microalgas, responden rápidamente a variables óptimas de temperatura, salinidad y concentración de nutrientes. En los estanques

de cultivo, una buena turbidez asociada a poblaciones saludables de microalgas asegura el fomento de zooplancton y la estabilidad de las concentraciones de oxígeno disuelto. Sin embargo, recientemente fue revelado que juveniles de *L. vannamei* pueden ingerir y digerir microalgas suspendidas en el medio (Kent et al., 2011), por lo tanto es posible que los camarones Peneidos puedan aprovechar otros microorganismos suspendidos en la columna de agua. El término fitobentos se emplea para referirse a las comunidades de microalgas que se encuentran adosadas a diversos sustratos tales como el suelo, rocas y material vegetal sumergido. Si bien la presencia de macroalgas no es deseada debido a diversas razones relacionadas a la competencia por nutrientes y debido a que su presencia dificulta las operaciones de cosecha, existen cultivos piloto en los cuales se promueve la presencia de macroalgas de ciertas especies con el fin de proveer de alimento y sustrato a los camarones, de la misma forma, las macroalgas son cosechadas e involucran diversos niveles de valor económico que van desde su uso como forrajes hasta la extracción de sustancias con diversas actividades biológicas.

Uno de los elementos más importantes de la productividad natural es el zooplancton, el cual incluye una diversa comunidad de organismos consumidores de fitoplancton, entre los cuales se encuentran larvas de moluscos, peces y otros crustáceos, así como individuos adultos de especies minúsculas (copépodos, nematodos, etc). Los representantes animales del plancton que permanecen en el fondo del estanque o adheridos a algún sustrato reciben el nombre colectivo de zoobentos y entre ellos se encuentran algunos representantes nutricionalmente importantes para el camarón. Por ejemplo, gusanos poliquetos, nematodos, copépodos y rotíferos sésiles. Diversas comunidades de organismos presentes en la productividad natural reciben colectivamente el nombre de perifiton. El perifiton está

representado por una rica comunidad de microorganismos, microcrustáceos, microalgas bentónicas y otros organismos que representan alimento constante. El perifiton también ofrece una forma de filtro biológico natural debido a la actividad de las bio-películas bacterianas asociadas a estos sustratos (Azim et al., 2003; Milstein et al., 2009). Dadas estas ventajas, diversos métodos se han desarrollado para dar sustrato al perifiton, los cuales, además de ampliar el área efectiva de cultivo, fomentan el crecimiento de organismos bentónicos. Una gran cantidad de revisiones y experimentos a nivel global se han desarrollado con el objetivo de optimizar las producciones acuícolas mediante el fomento, el manejo y el control del perifiton.

El material detrital presente en el fondo de los estanques de cultivo fue considerado por muchos años como una característica indeseable y asociada a una mala calidad de suelo o agua; sin embargo, diversos estudios han confirmado que los camarones consumen cantidades importantes de detritos, siendo este material uno de los elementos más comúnmente encontrado en los estómagos de varias especies de camarones Peneidos cultivados. El material detrital provee cantidades importantes de proteína proveniente de las comunidades bacterianas asociadas a estos. La digestibilidad del material detrital es alta. Los microorganismos asociados a las masas detritales pueden constituir hasta el 5 y 10% de este peso (Moriarty, 1997) y por lo tanto ha sido sugerido que estos microorganismos poseen un valor nutritivo mayor que los mismos detritos (Fenchel 1970). Las bacterias pueden representar una fuente de alimento para el camarón debido a que una vez digeridas las paredes celulares, los nutrientes pueden ser utilizados (Hood & Meyers, 1974) y adicionalmente pueden representar una buena fuente de vitaminas y enzimas digestivas (Ceccaldi, 1997).

Hunter et al. (1987) evaluaron la composición bioquímica de la biota de estanques de producción y determinaron que la composición del material detrital (en una base seca) es de 14.8% proteína, 1.6% lípidos y 1.1% carbohidratos. De forma notable, la proporción proteína:energía fue mayor para el material detrital que para cualquier otro elemento presente en la productividad natural de los estanques. Pruebas de digestibilidad evaluadas con *Metapenaeus monoceros* han indicado que la digestibilidad del material detrital es tan alta como 93%; sin embargo, su contenido energético es bajo (458 cal g⁻¹ sobre una base de peso húmedo).

Establecimiento de las poblaciones naturales

La productividad natural de un estanque se establece generalmente de forma secuencial y es sustentada por nutrientes y organismos presentes en los afluentes. La fertilización sistemática constituye una forma de fomento para permitir un rápido desarrollo de estas poblaciones. El principio de la fertilización es aumentar la producción del alimento natural dentro del cuerpo de agua para finalmente proveer de alimento a los organismos en cultivo. Todos los organismos (incluyendo autótrofos y heterótrofos), consisten químicamente de carbono (C) y nitrógeno (N). Por ejemplo, la composición del fitoplancton creciendo en un medio rico en nutrientes es de alrededor de 45–50% C y 8–10% N (Edwards, 1982), y consecuentemente son dependientes del abastecimiento biológico de estos nutrientes primarios para su crecimiento. La productividad natural de los cuerpos de agua semi-cerrados se puede incrementar con un manejo y monitoreo cuidadoso de las variables asociadas al cultivo. Se fomenta una adición controlada de fertilizantes químicos inorgánicos para alimentar a los organismos autótrofos (fitoplancton, algas bentónicas y plantas vasculares) y/o abonos orgánicos para fomentar el crecimiento de organismos

heterótrofos (zooplancton, zoobentos y animales en cultivo). El suelo del fondo del estanque (la interfase suelo-agua), se considera como “el almacén de los nutrientes primarios” del ecosistema del estanque, y como tal, juega un papel importante en el mantenimiento de la productividad del mismo (FAO, 1998). Existe una gran cantidad de técnicas y métodos de fertilización enfocados a maximizar la productividad natural de los estanques de cultivo. La mayoría de técnicas de fertilización arrojan mejores resultados cuando se programa un buen monitoreo de la dinámica de nutrientes y organismos en cada estanque individual.

Productividad natural en condiciones de precría

Los tanques o canaletas destinados a operaciones de precría son frecuentemente manejados en una forma en la cual se fomenta una pequeña explosión de poblaciones específicas de microalgas; sin embargo, la relativamente corta estancia de los organismos en cultivo a las altas densidades reclutadas y el diferente manejo del cuerpo de agua, no permiten un establecimiento y desarrollo completo de toda la cadena trófica observada en los estanques de cultivo (Burford et al., 2004b). Varias empresas eligen fomentar la producción de microalgas bentónicas tales como *Navícula* y *Amphora* con la intención de proveer de alimento natural adicional a las postlarvas antes de que sean sembradas. La disponibilidad de alimento natural bajo estas condiciones es muy limitada debido a las altas tasas de ingestión características de los estadios de vida más tempranos del camarón. Una vez que los organismos han tomado hábitos bentónicos, el consumo de material adherido a sustratos se incrementa notablemente. La adición de diversas formas de sustratos durante esta etapa es común. La fase de pre-cría representa la última etapa del ciclo de producción en donde hay cierto control de las variables de crianza en comparación con los estanques de cultivo.

¿Cómo contribuye la productividad natural y el alimento a la nutrición del camarón?

Diversas metodologías se han utilizado para evaluar nutricionalmente el desempeño de dietas naturales y artificiales (así como de los ingredientes que componen estas últimas) en organismos marinos con interés comercial o viabilidad para cultivo. Tales estudios han generado importante información acerca del tipo de nutrientes que los animales en cultivo eligen. Algunos de los indicadores utilizados para determinar la selección y contribución de diversos nutrientes son los siguientes:

Indicador 1: Determinación del contenido estomacal. La digestión es un proceso complejo que incluye la secreción de enzimas y la movilidad gástrica. En el caso de los crustáceos, el proceso de ingestión es complejo y es iniciado por un arreglo de apéndices y mecanismos que trituran y separan partículas finas de alimento; sin embargo, la mayor parte de la acción masticadora ocurre en el estómago (Ceccaldi, 1997). El análisis de contenido estomacal presenta la ventaja de permitir la identificación del material que fue seleccionado, capturado e ingerido por los camarones. Generalmente este material se clasifica en las siguientes categorías: Material vegetal, alimento formulado, detritos, minerales y material digerido o no reconocible. Este tipo de técnica de disección y aislamiento del material consumido permite el análisis cuantitativo y cualitativo respecto a lo que un organismo consumidor ha ingerido, y por lo tanto también provee información acerca de variaciones biológicas asociadas al tamaño/peso, el ciclo de muda y las condiciones tróficas del sistema de cultivo (Nunes et al., 1997; Focken et al., 1998; Gamboa-Delgado et al., 2003). Las desventajas asociadas a esta técnica residen en la habilidad requerida para realizar minuciosas disecciones e identificar el material ingerido, ya que el corto tiempo de residencia del alimento en el tracto digestivo provoca la rápida

degradación de material suave, tornándolo irreconocible. En adición al carácter laborioso de la técnica, en ocasiones es difícil distinguir entre el alimento artificial y los detritos. Sin embargo, es posible recurrir a diversas tinciones que colorean los gránulos de almidón presentes en el alimento artificial encontrado en los contenidos estomacales. La fluorescencia natural de los pigmentos encontrados en dietas artificiales, también ha sido utilizada para estimar ingestión (Kelly et al., 2000). Una última desventaja es que el análisis del contenido estomacal no permite determinar las contribuciones nutricionales reales al crecimiento del camarón.

Indicador 2: Análisis químicos del material ingerido y consumidores

Diversas técnicas permiten estimar la transferencia de nutrientes al tejido, por ejemplo el análisis del perfil de ácidos grasos y aminoácidos en los elementos tróficos y después en los organismos que los consumen (González-Félix et al., 2009). Ensayos inmunológicos también se han aplicado para determinar la presencia de partículas alimenticias específicas dentro del tracto digestivo (Feller, 1991). Técnicas alternativas han tenido como objetivo aplicar estimaciones serológicas para estimar el tiempo de residencia de la proteína encontrada en las presas consumidas, así como para estimar la cantidad de alimento ingerido (Hoyt et al., 2000).

Indicador 3: Análisis isotópico de los alimentos y consumidores

Una de las formas más confiables para determinar eficiencias de asimilación es por medio de evaluaciones isotópicas. La mayoría de los elementos con interés biológico tienen dos o más isótopos estables (por ejemplo ^{12}C y ^{13}C para carbono, ^{14}N y ^{15}N para nitrógeno) y usualmente uno de estos isótopos está presente en abundancia mucho mayor que el isótopo

“pesado” (Ehleringer & Rundel, 1989). Una vez analizados, los valores isotópicos se expresan en notación delta (δ) simplemente para indicar que el valor reportado es una proporción de isótopos que se comparó con un estándar. Los isótopos son parte integral natural en los tejidos orgánicos pero también pueden ser adicionados a cierto componente a fin de marcarlo o enriquecerlo isotópicamente. En contraste con los radio-isótopos, los isótopos estables no presentan peligro, nos son invasivos y varias estimaciones pueden efectuarse sobre una población, individuo o tejido específico. La disponibilidad de estas técnicas y equipos de laboratorio cada vez más sensibles, ha permitido trazar el destino de estos isótopos dentro de diversos organismos consumidores; por lo tanto, es posible estimar la ingestión, la asimilación y las tasas de recambio metabólico elemental por medio de métodos directos en lugar de las técnicas indirectas usadas tradicionalmente (Verschoor et al., 2005). El uso de proporciones de isótopos estables como trazadores nutricionales se presenta como una poderosa herramienta para estimar procesos, conexiones y flujos de energía dentro de sistemas acuáticos (Michener & Schell, 1994). Esto es posible debido a que la firma isotópica de un organismo consumidor refleja el perfil isotópico del material asimilado y provee información sobre la alimentación en un periodo de tiempo (Peterson & Fry, 1987). La proporción isotópica natural de un elemento puede ser entonces utilizada para evaluar contribuciones dietarias e inferir relaciones tróficas (DeNiro & Epstein 1978, 1981; Van der Zanden et al., 1999). En nutrición acuícola, esta relación se ha utilizado previamente para identificar componentes dietarios contribuyentes al crecimiento de los organismos en estanques acuícolas (Schroeder, 1983; Nunes et al., 1997; Burford et al., 2004a) y en sistemas de cultivo larval (Schlechtriem et al., 2004; Jomori et al., 2008; Gamboa-Delgado et al., 2008; Gamboa-Delgado, 2009; Gamboa-Delgado & Le Vay, 2009a, 2009b). La estimación de incorporación de nutrientes utilizando isótopos estables

tiene también varias aplicaciones prácticas en la estimación del desempeño nutricional que presentan diversos ingredientes propuestos para reducir o sustituir la harina de pescado como fuente de proteína en dietas acuícolas (Gamboa-Delgado & Le Vay, 2009a).

¿Cuáles son las contribuciones nutricionales que los diversos elementos dietarios suministran al crecimiento del camarón?

Diversos estudios muestran que incluso cuando se administra alimento artificial diariamente, los camarones consumen y derivan la mayoría de su carbono y nitrógeno dietario a partir del alimento natural (Tabla 1).

Tabla 1. Volumen estomacal (a) y contribución dietaria (b) de elementos tróficos vivos e inertes y su contribución real al crecimiento de camarones Peneidos. Estimaciones efectuadas por medio de análisis isotópicos.

Especie - Ambiente	Volumen estomacal (a) o proporción dietaria (b), %		Contribución real al crecimiento (%)		Referencia
	Alimento artificial	Alimento natural	Alimento artificial	Alimento natural	
<i>L. vannamei</i> Estanques	2-20 ^a	80-98			Gamboa-Delgado et al., 2003
<i>P. japonicus</i> Estanque	4 ^a	37-47	-	-	Reymond & Lagardare, 1987
<i>P. japonicus</i> Estanque	-	-	23-47	53-77	Anderson et al., 1987
<i>P. subtilis</i> Estanque	16 ^a	84	25	75	Nunes et al., 1997
<i>P. monodon</i> Estanque	22-29 ^a	71-88			Focken et al., 1998
<i>F. chinensis</i> Estanque	-	-	93	7	Su et al., 2008
<i>L. vannamei</i> PL Lab.-Matraces	50 ^b	50	27	73	Gamboa-Delgado & Le Vay, 2009
<i>P. esculentus</i> Estanque	-	-	47-61	39-53	Burford et al., 2004
<i>L. vannamei</i> Tanques	49 ^b	51	20	80	Gamboa-Delgado et al., 2011

Por ejemplo, en el caso de un experimento realizado con *P. subtilis* en Brasil, el análisis estomacal indicó que 16 % del material ingerido fue alimento artificial, mientras que el 84 % estuvo representado por diversos elementos de la productividad natural. En este mismo estudio, análisis isotópicos indicaron que al final de un ciclo de cultivo, el alimento artificial contribuyó al 25 % del carbono estructural incorporado como crecimiento, mientras que el remanente 75 % se atribuyó a la productividad natural del estanque (Nunes et al., 1997). En otro estudio realizado con camarón *L. vannamei* desde los 2 hasta los 10 gramos, Gamboa-Delgado et al. (2003) determinaron una contribución del alimento natural al contenido estomacal tan alta como 80-98 % durante un ciclo de cultivo semi-intensivo en Ecuador.

Cuantificación de la contribución nutricional de diversas fuentes dietarias

1) Estudios de campo

Dado que los diversos componentes dietarios pueden exhibir firmas isotópicas naturalmente distintas, es posible establecer una relación “organismo consumidor-dieta”. Estos valores pueden integrarse en modelos de mezclado isotópico (*e.g.* Phillips & Gregg 2001, 2003; Fry, 2006) para cuantificar la contribución relativa de múltiples fuentes nutritivas al crecimiento. Por lo tanto, en estudios nutricionales es posible estimar la contribución dietaria de diversos elementos presentes en el ambiente natural o en dietas y regímenes de alimentación experimentales. La utilización relativa de diversas fuentes dietarias (proteína, lípidos) en alimentos vivos y formulados también puede ser cuantificada. Por ejemplo, Schlechtriem et al. (2004) manipularon las firmas isotópicas de nematodos al alimentarlos con harinas de plantas con vías fotosintéticas C₃ y C₄. Los nematodos fueron a su vez ofrecidos como alimento a carpas (*Cyprinus carpio*) para determinar la asimilación de

lípidos y material libre de lípidos. El uso de modelos de mezclado isotópico requiere que ciertas asunciones y condiciones sean satisfechas en el diseño experimental (ver revisión de Martínez del Rio et al., 2009). Una de estas asunciones indica que el consumidor debe de estar en equilibrio isotópico con su dieta. Por otro lado, en la dinámica de transferencias isotópicas, existe un efecto fisiológico llamado enrutamiento isotópico (Gannes et al., 1997) en el cual los elementos dietarios y sus isótopos no son homogéneamente mezclados y dirigidos a los tejidos, sino que son selectivamente metabolizados e incorporados. En el caso de la nutrición larval, este efecto es comúnmente evitado porque debido al tamaño limitado, se utilizan organismos completos para análisis (Le Vay & Gamboa-Delgado, 2010). Alternativamente, es posible trazar un elemento específico dietario (*e.g.* N) hacia un tejido-reservorio específico (*e.g.* músculo). Los valores $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ presentes a niveles de abundancia natural en los organismos son frecuentemente contrastantes y permiten el diseño de experimentos para determinar la incorporación de nutrientes. Adicionalmente, la facilidad de manipular los valores isotópicos por medio de nutrientes y medios de cultivo específicos, amplía el alcance de futuros estudios sobre la fisiología y ecología nutricional de organismos acuáticos.

2) Experimentos en laboratorio

Diversos ensayos en laboratorio han tenido como objetivo evaluar la contribución nutricional del alimento natural y del alimento artificial. Por ejemplo, en el caso de la etapa de cultivo larvario, estos experimentos han demostrado que en larvas y postlarvas de camarones y peces, la incorporación del carbono dietario proveniente de presas vivas (*Artemia* y rotíferos) es significativamente mayor que la incorporación de carbono dietario suministrado por el alimento artificial (Gamboa-Delgado et al., 2008; Gamboa-Delgado &

Le Vay, 2009b). De la misma forma, como se describe a continuación, se ha determinado en camarones juveniles co-alimentados con alimento artificial y biomasa de macroalga viva, que la contribución nutricional de esta última es mucho mayor. Sin embargo, altas cantidades de nutrientes suministrados por la macroalga no producen un aumento rápido de tamaño corporal debido a la restricción de nutrientes en *U. clathrata* (bajo contenido de lípidos y energía) (Gamboa-Delgado et al., 2011).

Evaluación de la incorporación de nutrientes en camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* co-alimentado con biomasa viva de macroalga *Ulva clathrata* y alimento inerte

Introducción y método. Con el objetivo de determinar la contribución nutricional del carbono y nitrógeno dietario suministrados por medio de co-alimentación de biomasa viva de macroalga *Ulva clathrata* y alimento inerte, camarones juveniles *Litopenaeus vannamei* de 0.2 gramos fueron cultivados bajo regímenes de alimentación en los cuales 75, 50 and 25% de la biomasa de macroalga consumida diariamente fue sustituida con alimento artificial. Tratamientos con animales recibiendo solamente alimento artificial (100I) y biomasa de macroalga (100U) también fueron establecidos a fin de obtener controles isotópicos positivo y negativo, respectivamente. El experimento por lo tanto consistió en cinco regímenes de alimentación establecidos por duplicado en acuarios de 60 l conectados a un sistema de recirculación de agua marina artificial y bajo parámetros controlados. La presencia de macroalga fue constante (suministrada entre sustratos plásticos) y el alimento artificial se suplió dos veces por día. Muestras de alimento artificial, macroalga y tejido muscular de camarón fueron colectadas en 6 diferentes tiempos, secadas a 60 °C durante 24

horas y homogeneizadas utilizando un mortero y pistilo. Muestras de 1 mg fueron enviadas para análisis elemental e isotópico dual (carbono y nitrógeno) a niveles de abundancia natural en el Departamento de Ciencias de las Plantas de la Universidad de California (Davis, CA, EU). A fin de examinar diferencias entre los contenidos elementales de carbono y nitrógeno y sus respectivos valores isotópicos medidos en la macroalga y el alimento artificial, se realizaron comparaciones por medio de pruebas *t* de Student. Por otro lado, pruebas ANOVA fueron aplicadas para detectar diferencias en supervivencia, ganancia de peso y valores isotópicos en los camarones. Comparaciones múltiples por medio de la prueba de Tukey fueron efectuadas cuando fue requerido. Pruebas de bondad de ajuste fueron aplicadas para determinar si la proporción de nutrientes ofrecidos en los regímenes alimenticios fue similar a las proporciones observadas en tejido muscular y cuerpo completos de camarones.

Resultados y discusión. Las mayores tasas de crecimiento fueron observadas en camarones alimentados bajo un régimen 75% alimento / 25% macroalga, seguidos por camarones alimentados solamente con alimento artificial. Animales alimentados solamente con suministro de macroalga mostraron un mínimo crecimiento (Tabla 2). Al final del experimento, los valores isotópicos de carbono y nitrógeno ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) en el tejido de camarón estuvieron fuertemente sesgados hacia los valores isotópicos de la macroalga *U. clathrata.*, de esta forma indicando una alta proporción de carbono y nitrógeno dietario asimilados a partir de esta última (Fig. 1).

Tabla 2. Crecimiento, tasa de supervivencia y consumo de alimento estimado (peso seco) por juveniles de camarón *Litopenaeus vannamei* mantenidos bajo diferentes regímenes de alimentación por 28 días (n= 8-20, valor medio \pm DE).

Régimen	Supervivencia (%)	Peso húmedo (mg)	Incremento en peso (%)	Alimento Inerte consumido (g)	Macroalga consumida (g)
100A	95 \pm 13 ^a	995 \pm 289 ^a	429	0.94	-
75A/25U	93 \pm 11 ^a	1067 \pm 364 ^a	467	0.81	0.40
50A/50U	78 \pm 11 ^{ab}	768 \pm 273 ^{ab}	308	0.43	0.44
25A/75U	60 \pm 21 ^b	424 \pm 207 ^b	125	0.14	0.65
100U*	23 \pm 4 ^c	221 \pm 49 ^c	18	-	1.32

Peso húmedo inicial = 188 \pm 28 mg.

Diferentes letras indican diferencias significativas a un nivel $p < 0.05$.

* Parámetros en animales en régimen 100U fueron estimados en el día experimental 21.

Resultados a partir de un modelo de mezclado isotópico indicaron que las contribuciones de carbono fueron 52% a partir del alimento inerte y de 48% a partir de la macroalga en los animales alimentados bajo el régimen 75% alimento / 25% macroalga. Animales que recibieron proporciones de alimento inerte de 50% y 25% incorporaron la mayoría de nitrógeno dietario a partir de la macroalga; sin embargo, altas proporciones de incorporación de nitrógeno dietario a partir de la macroalga no fue reflejada en altas tasas de crecimiento en estos últimos tratamientos. El análisis proximal de la biomasa de macroalga reveló un bajo contenido de lípidos (1.5%) y energía, lo cual puede parcialmente explicar el menor desempeño biológico observado en los camarones alimentados solamente con macroalga o altas proporciones de esta. Se estimaron las tasas de recambio metabólico del nitrógeno y el carbono (datos no mostrados) y ambas fueron muy altas en organismos en el régimen incluyendo solamente macroalga. Este hecho apunta hacia un incremento del

metabolismo cuando hay una restricción de nutrientes específicos (menor deposición de carbono y nitrógeno en tejido, mayor uso para mantenimiento de funciones vitales). Los valores isotópicos para carbono y nitrógeno medidos en el alimento artificial ($\delta^{13}\text{C} = -23.0\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} = 9.7\text{‰}$) y en la macroalga ($\delta^{13}\text{C} = -13.1\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} = -3.5\text{‰}$) fueron muy contrastantes. Adicionalmente, ambos tipos de alimento rápidamente reflejaron sus valores isotópicos en el tejido de camarón, por lo tanto, fue posible estimar exitosamente las contribuciones nutricionales al crecimiento.

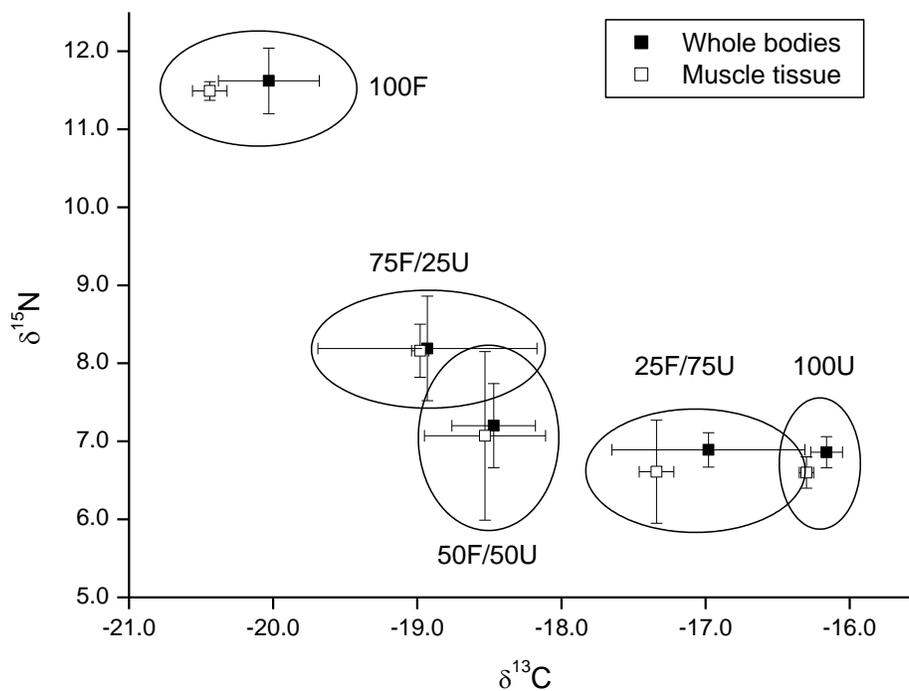


Fig. 1. Grafica dual para valores isotópicos (‰) de carbono y nitrógeno en cuerpos completos y tejido muscular de camarón blanco *L. vannamei* alimentados con diferentes proporciones de de alimento inerte y biomasa viva de macroalga *U. clathrata*. 100F y 100U corresponden a los valores isotópicos de camarones alimentados exclusivamente con alimento inerte y macroalga, y por lo tanto son considerados como valores isotópicos corregidos para ambas fuentes nutricionales. Distancias más cercanas a estos puntos representan mayores contribuciones de esa fuente. n= 2-4, valores medios \pm DS. (Gamboa-Delgado et al., 2011)

Conclusiones

El fomento y monitoreo constante de la productividad natural de los estanques de cultivo asegura la presencia constante de alimento suministrado por la biota natural. Varios estudios que han utilizado isótopos estables como trazadores indican que al final de los ciclos de cultivo (tanto larvario como de engorda), la mayor parte del nitrógeno y carbono dietario es suministrado por el alimento natural. Sin embargo, a pesar de que el alimento artificial contribuye con menores proporciones al contenido estomacal, su aporte al crecimiento es mayor debido a su comparativamente alta digestibilidad y alto contenido de proteína. Por lo tanto, el alimento artificial representa un excelente suplemento alimenticio en las operaciones de producción tipo semi-intensivo. Los valores isotópicos presentes a niveles de abundancia natural en los camarones y en sus dietas naturales pueden proveer información relevante para elucidar el flujo y la incorporación de nutrientes que contribuyen al crecimiento, definiendo a la vez periodos en los cuales los organismos se encuentran fisiológicamente mejor preparados para ingerir y asimilar nutrientes. Las evaluaciones nutricionales usando isótopos estables proveen una útil herramienta analítica para interpretar la fisiología digestiva de organismos acuáticos, siendo de particular asistencia en estudios de nutrición enfocados a determinar las contribuciones dietarias que ofrecen los diversos elementos de la productividad natural en los estanques de cultivo.

La posibilidad de manipular los perfiles isotópicos de ingredientes, dietas inertes y alimento vivo, presenta una oportunidad adicional para incrementar la resolución en tales estudios. La creciente adopción del uso de análisis isotópicos de compuestos específicos, particularmente para aminoácidos, representa una oportunidad para incrementar el conocimiento actual de la utilización de nutrientes específicos. La disponibilidad comercial

de sustratos específicos (aminoácidos, ácidos grasos, colesterol, vitaminas, etc.) pre-marcados hasta con isótopos pesados, aumenta las posibilidades de aplicación en estudios sobre la fisiología nutricional de especies acuáticas.

Agradecimientos

Agradecemos a Julio César Beltrán Rocha por realizar los análisis bromatológicos de las diferentes dietas, y a “Langostinos y Camarones de Oriente” (Veracruz, México) por la donación de animales experimentales. El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) apoya parte de los estudios presentados por medio de los proyectos I0007-2009-120628 y CB-2009-1-128314. El soporte a través del programa PAICYT de la UANL también es reconocido en el presente agradecimiento.

Referencias

- Azim, M.E., Verdegem, M.C.J., Singh, M., van Dam, A.A., Beveridge, M.C.M. (2003) The effects of periphyton substrate and fish stocking density on water quality, phytoplankton, periphyton and fish growth. *Aquacult. Res.* 34, 685–695.
- Burford, M.A., Preston, N.P., Minh, T.H., Hoa, T.T.T., Bunn, S.E., Fry, V.M. (2004a) Dominant sources of dietary carbon and nitrogen for shrimp reared in extensive rice-shrimp ponds. *Aquac. Res.* 35, 194-203.
- Burford, M.A., Sellars, M.J., Arnold, S.J. Keys, S.J, Crocos, P.J., Preston, N.P. (2004b) Contribution of the natural biota associated with substrates to the nutritional requirements of post-larval shrimp (*Penaeus esculentus*) in high-density rearing systems. *Aquac. Res.* 35, 508-515.
- Ceccaldi, H. J. (1997) Anatomy and physiology of the digestive system. En: *Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture, 1997 Vol. 6* (ed. By D’Abramo, L.R., Conklin, D.E.y Akiyama, D.M.). World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA. USA. pp 261-291.

DeNiro M.J., Epstein S. (1981) Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 45, 341–351.

DeNiro M.J., Epstein S. (1978) Influence of diet on the distribution of carbon isotope ratios in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42, 495–506.

Edwards, P. (1982) Lecture notes on utilization of animal and plant wastes. Report of consultancy at the Regional Lead Center in China for Integrated Fish Farming. Network of Aquaculture Centres in Asia (NACA), FAO Field Document, No. NACA/WP/82/6, Bangkok, Thailand, October 1982, 104 pp.

Ehleringer, J.R., Rundel, P.W. (1989) Stable isotopes: History, units and instrumentation. In: Rundel, P.W., Ehleringer, J.R. and Nagy, K.A. (Eds) *Stable Isotopes in Ecological Research*. Springer-Verlag. New York. pp.1-16.

FAO. (1989) Métodos de Alimentación. In FAO. *Nutrición y Alimentación de peces y camarones cultivados*. Manual de capacitación. ONU, Roma.
<http://www.fao.org/docrep/field/003/AB492S/AB492S15.htm>

Feller, R.J. (1991) Dietary analysis of penaeid shrimp: The immunoassay approach. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science* 22, 141–156.

Fenchel, T. (1970) Studies on the decomposition of organic detritus from the turtle grass *Thalassia testudinum*. *Limnology and Oceanography* 15, 14-20

Focken, U., Groth, A., Coloso, R. M., Becker, K. (1998) Contribution of natural food and supplemental feed to the gut content of *Penaeus monodon* Fabricius in a semi-intensive pond system in the Philippines. *Aquaculture* 164, 105–116.

Fry, B. (2006) *Stable Isotope Ecology*. Springer Science. NY, USA. 390 pp.

Gamboa-Delgado J. (2009) Application of natural stable isotopes in aquaculture nutrition. PhD Thesis. University of Wales-Bangor, UK. 180 pp.
http://www.programalban.org/listGrantees/teses/t_E05D056486MX.pdf

Gamboa-Delgado, J., Peña-Rodríguez, A., Cruz-Suárez, L.E., Ricque, D. (2011) Assessment of nutrient allocation and metabolic turnover rate in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* co-fed live macroalgae *Ulva clathrata* and inert feed: dual stable isotope analysis. *Journal of Shellfish Research* 30, 1–10.

Gamboa-Delgado J., Le Vay L. (2009a) Natural stable isotopes as indicators of the relative contribution of soy protein and fish meal to tissue growth in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed compound diets. *Aquaculture* 291, 115-123.

Gamboa-Delgado J., Le Vay L. (2009b) *Artemia* replacement in co-feeding regimes for mysis and postlarval stages of *Litopenaeus vannamei*: Nutritional contribution of inert diets to tissue growth as indicated by natural carbon stable isotopes. *Aquaculture* 297, 128-135.

Gamboa-Delgado J., Cañavate J.P., Zerolo R., Le Vay L. (2008) Natural carbon stable isotope ratios as indicators of the relative contribution of live and inert diets to growth in larval Senegalese sole (*Solea senegalensis*). *Aquaculture* 280, 190-197.

Gamboa-Delgado, J., Molina-Poveda, C., Cahu, C. (2003) Digestive enzyme activity and food ingesta in juvenile shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone 1931) as a function of body weight. *Aquac. Res.* 34, 1403–1411.

Gannes, L.Z., O'Brien, D.M., Martínez del Rio, C. (1997) Stable isotopes in animal ecology: assumptions, caveats, and a call for more laboratory experiments. *Ecology* 78, 1271–1276.

González-Félix, M., Perez-Velazquez, M., Quintero-Alvarez, J., Davis, D. (2009) Effect of various dietary levels of docosahexaenoic and arachidonic acids and different n-3/n-6 ratios on biological performance of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, raised in low salinity. *Journal of the World Aquaculture Society* 40, 194-206.

Hood, M. A., Meyers, S. P. (1974) Microbial aspects of penaeid shrimp digestion. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. Proceedings of the 27th Annual Session. Miami Beach, FL. USA. pp. 81-91.

Hoyt, M., Fleeger J.W., Siebeling, R., Feller, R.J. (2000) Serological estimation of prey-protein gutresidence time and quantification of meal size for grass shrimp consuming meiofaunal copepods. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 248, 105–119.

Hunter, B., Pruder, G., Wyban, J. (1987) Biochemical composition of pond biota, shrimp ingesta, and relative growth of *Penaeus vannamei* in earthen ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, Vol. 18, No. 3, 167-174.

Jomori R.K., Ducatti C., Carneiro D.J., Portella M.C. (2008) Stable carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) isotopes as natural indicators of live and dry food in *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) larval tissue. *Aquaculture Research* 39, 370–381.

Kelly, S.P., Larsen, S.D., Collins, P.M., Woo, N.Y.S. (2000) Quantitation of inert feed ingestion in larval sea bream (*Sparus sarba*) using auto-fluorescence of alginate-based microparticulate diets. *Fish Physiol. Biochem.* 22, 109-117.

Le Vay L., Gamboa-Delgado J. (2010) Naturally-occurring stable isotopes as direct measures of larval feeding efficiency, nutrient incorporation and turnover. *Aquaculture*, 315, 95-103.

Martínez del Rio C., Wolf N., Carleton S.A., Gannes, L.Z. (2009) Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. *Biology Reviews* 84, 91-111.

- Michener, R.H., Schell, D.M. (1994) Stable isotope ratios as tracers in marine aquatic food webs In: Stable isotopes in ecology and environmental science. Chapter 7. Vol 1 (ed. by Lajtha, K. and Michener, R.H.) Blackwell scientific publications. Oxford, UK. 138-157 pp.
- Milstein, A., Peretz, Y., Harpaz, S. (2009) Culture of organic tilapia to market size in periphyton based ponds with reduced feed inputs. *Aquacult. Res.* 40, 55–59.
- Moriarty, D.J.W. (1997) The role of microorganisms in aquaculture ponds. *Aquaculture* 151, 333-349.
- Nunes, A.J.P., Gesteira, T.C.V., Goddard, S. (1997) Food ingestion and assimilation by the Southern brown shrimp *Penaeus subtilis* under semi-intensive culture in NE Brazil. *Aquaculture* 149, 121–136.
- Peterson, B.J., Fry, B. (1987) Stable isotopes in ecosystem studies. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 18, 293-320.
- Phillips D.L., Gregg J.W. (2003) Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources. *Oecologia* 136, 261-269
- Phillips D.L., Gregg J.W. (2001) Uncertainty in source partitioning using stable isotopes. *Oecologia* 127, 171–179. (see also erratum, *Oecologia* 128, 204).
- Schlechtriem, C., Focken, U., Becker, K. (2004) Stable isotopes as a tool for nutrient assimilation studies in larval fish feeding on live food. *Aquat. Ecol.* 38, 93-100.
- Schroeder, G.L. (1983) Sources of fish and prawn growth in polyculture ponds as indicated by $\delta^{13}\text{C}$ analysis. *Aquaculture* 35, 29–42.
- Van der Zanden, M.J., Shuter, B.J., Lester N., Rasmussen. J.B. (1999) Patterns of food chain lengths in lakes: A stable isotope study. *Am. Nat.* 154, 406–416.
- Verschoor A.M., Boonstra H., Meijer T. (2005) Application of stable isotope tracers to studies of zooplankton feeding, using the rotifer *Brachionus calyciflorus* as an example. *Hydrobiologia*, 546, 535–549.