

Selección de Alimentos y Estrategias de Alimentación acordes a las Condiciones de Cultivo del Camarón

Luis Rafael Martínez Córdova¹, Marcel Martínez Porchas², Anselmo Miranda Baeza³ y José Antonio López Elías¹

¹Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora. Blvd Colosio, entre Reforma y Sahuaripa, Edificio 7G. Hermosillo, Sonora, 83000, México.

E-mail: lmtz@guaymas.uson.mx

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Carretera a La Victoria, Km 1.5, Hermosillo, Sonora, México

³Universidad Estatal de Sonora, Carretera a Huatabampo Km 5, Navojoa, Sonora 85800, México

Resumen

El presente documento es el producto de una exhaustiva revisión bibliográfica, enriquecido con experiencias de los autores e instituciones participantes, sobre los alimentos y estrategias de alimentación que mejores resultados han dado para el cultivo del camarón bajo diferentes condiciones. El documento se divide en dos secciones, una relativa a los alimentos en sí, en donde se contemplan aspectos de composición química proximal y características físicas, especialmente hidroestabilidad; la otra sección se refiere a las estrategias de alimentación abarcando cuestiones de ajuste de la ración, formas de distribución y frecuencias de alimentación. En cada uno de los casos se dan referencias sobre el desempeño, ya sea de los alimentos o de las estrategias de alimentación, bajo diferentes condiciones, principalmente formas y sistemas de cultivo, talla o edad de los organismos, variables ambientales, participación de la productividad natural, entre otros. Como conclusión de la revisión se elaboró una tabla que se sugiere como una guía básica para la selección de los alimentos y las estrategias de alimentación más adecuados para diferentes niveles de intensificación, talla de los organismos y participación de la productividad natural.

Palabras clave: *alimentación, camarón, estrategias*

Introducción

Siendo el alimento y la alimentación dos de los principales costos operativos en la actividad camaronícola, y al mismo tiempo dos de los aspectos que mayormente influyen en la respuesta productiva de los organismos en cultivo, es de la mayor importancia un manejo adecuado de ambos en aras de una camaronicultura sustentable (Martínez Córdova, 2009).

Actualmente el cultivo de camarones peneidos se lleva a cabo principalmente en sistemas semi-intensivos y en menor medida en intensivos e hiperintensivos. Sin embargo aún dentro de estos sistemas, sobre todo dentro del semi-intensivo, existen variaciones muy amplias en las condiciones de cultivo en diversos aspectos tales como:

- a. Tipo de estructuras utilizadas
- b. Densidad de siembra, la cual puede ir desde 8 hasta más de 50 Pl's/m²
- c. Recambio diario de agua, que fluctúa entre 0 y más de 20 %
- d. Salinidad la cual puede variar desde <2 hasta >60 UPS
- e. Temperatura, que fluctúa en un rango de 18 hasta 35 °C.
- f. Sólidos suspendidos totales y orgánicos (turbidez) que puede variar entre casi cero y hasta más de 500 mg/L. (>60 y <20 cm en el disco de Secchi)
- g. Alcalinidad y pH, cuyos valores fluctúan entre < 20 y > de 400 mg eq de CaCO₃/L, y entre 5 y 11, respectivamente.
- h. Disponibilidad de alimento natural (bacterias, fitoplancton, zooplancton, bentos, etc.), que puede ir desde insignificante hasta muy abundante.

Aún dentro de una misma granja en la que se pretende manejar todos los estanques de manera homogénea, suele haber a través del tiempo, o incluso entre unas unidades y otras, variaciones muy significativas en algunos de los parámetros antes mencionados.

Todas estas variaciones tienen en mayor o menor medida un efecto en el consumo, asimilación y aprovechamiento de alimento y consecuentemente en la respuesta productiva del camarón. Adicionalmente, aspectos intrínsecos al camarón mismo como especie, talla o

estadio de desarrollo, condición nutricional e inmune, estadio de muda, entre otros, tienen también una marcada influencia en estos aspectos de la alimentación.

El presente documento es una revisión, que incluye experiencias de los propios autores, sobre la selección y desempeño de los alimentos y las estrategias de alimentación bajo las diversas condiciones de cultivo de camarón en sistemas semi-intensivos y en menor medida, intensiva e hiperintensiva.

La primera sección se refiere a la calidad de los alimentos en aspectos de composición bioquímica e ingredientes, valor nutricional, frescura e hidroestabilidad.

La segunda parte está enfocada a las estrategias de alimentación, considerando: formas de suministro, ajuste de la ración y frecuencias.

I. Selección y Desempeño de Alimentos.

1.1 Formulación y Composición Química Proximal (FCQP)

Partiendo del hecho de que en cultivos semi-intensivos de camarón, el alimento artificial que se suministra es, o debiera ser un complemento de lo que el organismo puede obtener como alimento natural dentro del sistema, es muy importante que estos alimentos tengan una composición química proximal, realmente complementaria al alimento natural. Es muy usual que se utilicen alimentos completos o sobre-formulados aún en cultivos en los que la abundancia del alimento natural es alta; es común sobre todo, la inclusión de altos niveles de proteína de origen animal. Esto impacta no solamente la rentabilidad de la granja, sino además aumenta el potencial impacto ambiental tanto dentro del sistema como en los ecosistemas receptores de los efluentes (Martínez-Porchas y Martínez-Córdova, 2012).

1.1.1. Desempeño de la FCQP en relación a la talla

La edad o talla de los organismos es un aspecto muy importante a tomar en cuenta para la selección del alimento más adecuado. Los requerimientos del camarón varían significativamente durante su desarrollo y los alimentos experimentales o comerciales tienen un desempeño diferente según la edad y talla. Se ha documentado desde hace mucho tiempo que para postlarvas y juveniles tempranos, los niveles proteicos deben ser altos (alrededor de 40 %), sin embargo niveles de proteína superiores a 40 % no son necesarios e inclusive son menos eficientes que dietas con niveles proteicos menores (Venkataramiah *et al.* 1975). Kureshy y Davis (2002) evaluaron los requerimientos de proteína para mantenimiento y máximo crecimiento de juveniles y sub-adultos de *L. vannamei* y encontraron que los requerimientos son mayores para los juveniles y además que la eficiencia del alimento aumenta al aumentar el nivel proteico del alimento y disminuye al aumentar la frecuencia de alimentación. Traducido a términos prácticos esto significa que para camarones más pequeños, se requieren o mayores niveles de proteína o mayores cantidades de alimento por biomasa, o una combinación de ambos, pero es necesario también tomar en cuenta que la frecuencia de alimentación sea moderada. En muchas granjas semi-intensivas de camarón en México y de otros países del mundo esto no se toma en cuenta y se ofrece el mismo alimento desde el principio hasta el final del cultivo.

1.1.2. Desempeño de la FCQP en relación a condiciones ambientales

Los parámetros ambientales como temperatura y salinidad afectan el desempeño de los alimentos para el camarón. Trabajos tan anteriores como el de Robertson *et al.* (1993) documentaron que la salinidad interactuó con el nivel proteico de la dieta para el crecimiento del camarón blanco. A salinidades de 46 ‰ los camarones crecieron mejor con una dieta de 45 % de proteína cruda (PC) que con una de 25 o de 35 %; mientras que a una salinidad de 12 ‰ el crecimiento fue mejor con la dieta de 35 %, de PC que con la de 45 y 25 %. Teichert-Coddington y Rodríguez (2007) reportaron una producción de camarón blanco en Honduras 240 % mayor en la estación de lluvias (baja salinidad) que en la

estación seca (alta salinidad), lo cual confirma que a salinidades moderadamente bajas el desempeño de los alimentos es mejor.

La respuesta de los camarones a los alimentos suministrados difiere mucho cuando la evaluación se lleva a cabo bajo condiciones controladas de laboratorio o condiciones naturales de granja. Hari *et al.* (2004) evaluaron el desempeño de *P. monodon*, en ambas condiciones; para el laboratorio utilizaron dietas de 40 % y de 25 % de PC, ambas con o sin la adición de carbohidratos en el agua (para la promoción de bacterias heterótrofas), mientras que para condiciones de granja, se evaluaron dietas de 25 % + carbohidratos y de 40 % sin ellos. En laboratorio la menor tasa de crecimiento específico y las mayores tasas de conversión alimenticia (TCA), se obtuvieron con la dieta de 25 % sin carbohidratos y no hubo diferencias en los demás tratamientos; mientras que la mejor producción fue obtenida en el tratamiento de 25 % de proteína más carbohidratos. Para condiciones de granja, la mayor producción, la menor TCA, y la mayor eficiencia de asimilación proteica, se obtuvieron en el tratamiento con 25 % de proteína más la adición de carbohidratos en el agua. Igualmente se encontró que la mejor relación costo-beneficio se obtuvo en ese tratamiento, influida sobre todo por la reducción de un 35 % en el costo del alimento.

1.1.3. Desempeño de la FCQP en relación a la intensificación y recambio

La respuesta productiva de los camarones en términos de sobrevivencia y crecimiento, es por lo general inversamente proporcional a la densidad de organismos (Arnold *et al.* 2005), lo cual está relacionado en parte con el estrés por hacinamiento, pero principalmente con la disponibilidad de alimento natural, que disminuye en la medida que la densidad aumenta, a menos que se diseñen estrategias para revertir esta tendencia, como lo sería el uso de substratos artificiales o la promoción directa de las comunidades bióticas (Martínez *et al.* 2006; Audelo-Naranjo *et al.* 2011). Teichert-Coddington y Rodríguez (1995), sugieren que para densidades de 5 a 11 org/m², los alimentos suplementarios no deben contener más de 20 % de proteína, mientras que a mayor intensificación, es necesario aumentar estos niveles. Esto implica que en cultivos más intensificados y en los que no se promueva de alguna manera el alimento natural, se tendría que utilizar necesariamente una mayor

proporción de alimento suplementario y/o formulaciones más completas sobre todo en cuanto a proteína animal (harina de pescado). Sin embargo es posible que también a altas densidades se utilicen alimentos con niveles bajos de proteína animal, siempre y cuando sean enriquecidas con determinados componentes. Por ejemplo Browdy *et al.* (2012) alimentaron juveniles de *L. vannamei* con una dieta basal conteniendo 15 % de harina de pescado y dos dietas experimentales en que el 50 y 100 % de la harina de pescado se sustituyó con harina de soya; las dietas experimentales fueron suplementadas o no con 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid (HMTBa). La respuesta productiva fue similar entre la dieta basal y las experimentales suplementadas con HMTBa, pero inferior en aquella que no se suplementaron. Con relación al recambio diario de agua de los estanques, se ha sugerido que en sistemas con bajo o cero recambio, los nutrientes son más eficientemente aprovechados, debido a la recuperación a través de la cadena trófica que se desarrolla en los estanques, especialmente el material floculado compuesto principalmente por bacterias, cianobacterias y microalgas (Burford *et al.* 2004). La disminución en las tasas de recambio aumentan el tiempo de retención del agua y permiten una mejor utilización de los nutrientes, esto puede disminuir los factores de conversión alimenticia Miranda-Baeza *et al.* (2007). En base a esto es factible utilizar menos cantidad de alimento suplementario y/o formulaciones menos completas (por ejemplo con menores niveles de proteína). Burford *et al.* (2003) en un cultivo hiper-intensivo (120 Pl/m²) de camarón blanco con cero recambio, utilizaron dietas con 24 y 31 % de proteína, con resultados en cuanto a recuperación de nitrógeno y fosforo, superiores a los obtenidos en sistemas abiertos.

1.1.4. Desempeño de la FCQP en relación a la productividad natural

Un aspecto de gran relevancia en la alimentación de camarones en cultivo, es la contribución nutricional de la productividad natural considerando diversos grupos de organismos desde bacterias, microalgas, zooplankton y organismos bentónicos. Eppet *et al.* (2002) estimaron que hasta el 31% de los requerimientos de nitrógeno de *L. vannamei* fueron obtenidos de la productividad natural de los estanques. Se ha documentado a través de varios estudios, que en sistemas en donde la contribución de la productividad natural es alta, es factible utilizar alimentos con menores niveles de proteína sin que se afecte la

respuesta productiva de los organismos cultivados. Martínez-Córdova *et al.* (2002, 2003), evaluaron alimentos con 25, 35 y 40 % de proteína para el cultivo semi-intensivo alto (25 pL/m²) de camarón blanco (*L. vannamei*) y camarón azul (*L. stylirostris*), en estanques en que la productividad natural se había incentivado; se encontró que para el camarón blanco, alimentos con 25 % de proteína fueron tan eficientes o más que aquéllos con 35 y 40 %; sin embargo para camarón azul, los mejores resultados se encontraron con alimentos de 35 y 40 % de proteína, pero sin diferencias significativas entre ellos. Xia *et al.* (2010) evaluaron dietas con diferentes niveles de proteína cruda para *L. vannamei* pero en cultivos hiperintensivos y ausencia de productividad natural. Encontraron que para estas condiciones se requieren alimentos con un 43 % de PC, para obtener un buen crecimiento, sobrevivencia y tolerancia al estrés.

El uso de alimento natural exógeno puede ser otra alternativa para disminuir la utilización de alimento formulado en el cultivo del camarón. Martínez *et al.* (2013) utilizaron insectos (*Tricocorixa sp*) para sustituir el alimento formulado en un 25, 50, 75 y 100 % en la pre-engorda intensiva de *L. vannamei*. La sustitución de 25 y 50 % resultó exitosa en términos de la respuesta productiva del camarón y la calidad del agua del sistema. En un estudio similar, Campaña-Torres *et al.* (2010) utilizaron *Artemia* adulta para incorporarla en la pre-engorda intensiva del camarón blanco en condiciones de laboratorio, encontrando que la incorporación a niveles de 2 a 4 organismos por litro, tuvo un efecto significativo en la mejora del crecimiento y producción, y en la disminución de la TCA. Anand *et al.* (2013) evaluaron 3 niveles (3, 6 y 9 %) de suplementación de perifiton promovido al exterior en bambú, en el cultivo intensivo al interior de *P. monodon*. Encontraron que el tratamiento con una suplementación de 6 %, mostró una mejor respuesta productiva del camarón, en términos de crecimiento, TCA y eficiencia de asimilación proteica.

Otro aspecto relevante en este sentido, es la contribución del material floculado, constituido principalmente por bacterias y fitoplancton. Burford *et al.* (2004) evaluaron la respuesta productiva de *L. vannamei* en sistemas hiperintensivos con cero recambio de agua, utilizando diferentes concentraciones de material floculado y alimento formulado con solo 31 % de proteína. Encontraron que la contribución del material floculado fue de entre 18 y

29 % para camarones de 1 y 9 g, respectivamente y que los organismos respondieron bien a las dietas de baja proteína y mejor cuando la concentración de material floculado fue 20 % más alta. Coyle *et al.* (2008), probaron diferentes intensidades y fuentes de luz en un cultivo de *L. vannamei* basado en bioflocs y alimento suplementario con 35 % de proteína; encontraron que en condiciones de luz natural, luz halógena y luz fluorescente de baja intensidad, la respuesta productiva del camarón fue muy buena. Ballester *et al.* 2010, evaluaron alimentos con 25, 30, 35, 40 y 45 % de proteína cruda para *Farfantepenaeus paulensis* en sistemas basados en bioflóculos, No encontraron diferencias en sobrevivencia, mientras que el crecimiento con dietas de 35 % de proteína o mayores, fue mejor que con dietas de 25 y 30 %. Concluyen que en estos sistemas se deben mantener niveles proteicos de 35 %, no siendo necesarias inclusiones mayores. Zhao *et al.* (2012) cultivaron intensivamente *Marsupenaeus japonicus* en un sistema de cero recambio con y sin bioflóculos y encontraron que con el uso de bioflóculos se obtuvo una producción 41.3 % mayor y una TCA 7.7 % menor. Lopez-Tarin (2011) realizó un cultivo de camarón blanco *L. vannamei* en biofloc con distintos porcentajes de restricción en la ración alimenticia (0, 85, 70 y 55%) a nivel hiperintensivo (750 PL 14) /m² y durante 45 días se evaluó el efecto del biofloc como complemento de un alimento comercial en el crecimiento, sobrevivencia y factor de conversión alimenticia; el contenido de PC del biofloc varió de 28.19 a 30.60 %, el de carbohidratos de 14.54 a 15.93 % y de cenizas 44.06 a 51.06 %; y concluyó que el biofloc permite complementar la dieta cuando se reduce hasta un 30% del alimento peletizado, sin que se afecten significativamente el crecimiento y la sobrevivencia. Viau *et al.* (2013) evaluaron dos sistemas de cultivo hiperintensivo al interior para *F. paulensis*, uno con alimento formulado + bioflóculos y otro con solo alimento formulado. Encontraron que la supervivencia fue significativamente superior para el tratamiento con bioflóculos, peor no encontraron diferencias en el crecimiento.

Todos los anteriores resultados claramente indican que en sistemas en donde la comunidad microbiana es manejada de manera adecuada (bioflóculos o biopelículas), es factible utilizar menor cantidad de alimento formulado o bien formulaciones menos completas, o una combinación de ambos.

1.1.5. Desempeño de la FCQP en condiciones de co-cultivo o policultivo.

Existe información confiable que indica que las dietas pueden tener un desempeño diferente cuando el camarón es cultivado con otra u otras especies. Cruz-Suárez *et al.* (2010) documentan que el camarón en co-cultivo con macroalgas tiene una respuesta productiva muy adecuada y que en estas condiciones, se puede reducir el uso de alimento suplementario. Ellos encontraron que el consumo de *Ulva clathrata* por parte del camarón fue tal que aun reduciéndoles la ración de alimento suplementario de 10 a 45 %, su crecimiento se incrementó en un 60 %, y además hubo un aumento en los lípidos y carotenoides corporales de los organismos en co-cultivo. Lombardi *et al.* (2006) cultivaron *L vannamei* en jaulas flotantes a densidades de 100 juveniles/m² con y sin la macroalga *Kappaphycus alvarezii*. El camarón presentó una muy alta tasa de crecimiento y producciones de más de 3 kg/m² (más de 30 ton/ha), mientras que la macroalga tuvo producciones de más de 23 kg/m². No se observaron diferencias en el crecimiento de los camarones en los tratamientos. Anaya-Rosas *et al.* (2012) cultivaron *L. vannamei* en un sistema intensivo de recirculación con cortinas plásticas colonizadas con las macroalgas *Ulva* sp., *Lyngbya* sp., *Cladophora* sp. y *Ulva* flexuosa, y obtuvieron un FCA de 0.9:1 y un rendimiento de 6.1 kg/m². Martínez-Córdova y Peña-Messina (2005) cultivaron camarón blanco (*L. vannamei*) y camarón azul (*L. stylirostris*) en mono y policultivo y encontraron que el camarón blanco tuvo mejor crecimiento, sobrevivencia, producción y TCA en el policultivo, mientras que el camarón azul solo tuvo un mejor crecimiento en policultivo pero menor sobrevivencia y producción, sin que se observaran diferencias en la TCA.

1.1.6. Desempeño de Dietas con Ingredientes Alternativos

Existe en la literatura científica mucha información relacionada con el uso de ingredientes alternativos en las dietas para camarón, sobre todo para sustituir parcial o totalmente la harina de pescado (Gaxiola *et al.* en prensa); sin embargo pocos de estos estudios precisan la eficiencia de estas dietas bajo diversas condiciones de cultivo. Investigaciones de hace ya algunas décadas (Venkataramiah *et. al.* 1975) mostraban que para juveniles de *Penaecus aztecus* el crecimiento disminuía cuando el nivel de proteína se incrementaba por encima de

40 % y que la inclusión de ingredientes vegetales mejoraba la eficiencia de asimilación proteica. Amaya *et al.* (2007) substituyeron la harina de pescado en la dieta de *L. vannamei* cultivado al exterior, por harina de soya y gluten de trigo a diferentes niveles de inclusión; al final del experimento de 18 semanas en estanques de 0.1 Ha, no encontraron diferencias significativas en ninguno de los parámetros de producción. En otro estudio los mismos autores (Amaya *et al.* 2007b), utilizaron harina de subproductos avícolas para substituir parcialmente la harina de pescado, fabricando dietas con 9, 6, 3 y 0 % de harina de pescado y comparándola con una dieta basada en ingredientes vegetales; los resultados no mostraron diferencias significativas en la respuesta productiva. Harter *et al.* (2011) substituyeron un 25 y 50 % de la harina de pescado en dietas de camarón blanco juvenil, por harina destoxificada de *Jatropha curcas* y encontraron un mejor crecimiento y ganancia de biomasa en las dietas con sustitución de la harina de pescado. Cruz-Suárez *et al.* (2007) demostraron que las macroalgas pueden ser incluidas como ingredientes de dietas para *L. vannamei* en sistemas con recirculación al interior, mostrando un desempeño adecuado en cuanto a la respuesta productiva de los camarones, sobre todo la especie *Ulva clathrata*. Un reciente estudio llevado a cabo por Bulbul *et al.* (2013) evaluó dietas para *Marsupenaeus japonicus* reduciendo la harina de pescado desde un 40 %, a 28, 24, 20 y 16 %, substituyéndola por una mezcla de harina de soya y harina de canola. Se encontró que la reducción hasta el nivel de 20 % no tuvo efectos significativos en la respuesta productiva del camarón.

Los anteriores resultados implican que el camarón blanco puede utilizar eficientemente dietas basadas mayormente en ingredientes vegetales, siempre y cuando se le cultive en condiciones en que la productividad natural tenga una participación importante en su nutrición.

1.2. Características físicas de los alimentos

Los alimentos acuícolas deben cumplir con ciertas características para poder ser eficientemente aprovechados por los organismos que se cultivan. Entre estas características destacan: tamaño, forma, flotabilidad e hidroestabilidad. Para el caso del camarón se ha encontrado que los alimentos no deben tener ninguna flotabilidad ya que el organismo se alimenta en el fondo; la forma más adecuada es la de chorizos o “pellets” con un tamaño y grosor que van aumentando con la talla del organismo. Respecto a la hidroestabilidad, se requiere que sea de al menos 4 horas dados los hábitos alimenticios del camarón que es un comedor lento e intermitente (Cruz-Suárez *et al.* 2006). Desde luego pueden utilizarse alimentos con menos hidroestabilidad, siempre y cuando se aumente la frecuencia de alimentación y se disminuya el tamaño de las raciones. La hidroestabilidad de los alimentos depende en gran medida de factores ambientales, sobre todo de la temperatura y la salinidad. Obaldo *et al.* (2002), llevaron a cabo un estudio en donde encontraron que tanto la temperatura como la salinidad afectaron significativamente la retención de materia seca y la lixiviación del alimento, siendo menor el porcentaje de retención y mayor la pérdida de nutrientes, a más altas temperaturas y más bajas salinidades. Esto dependió también de la dieta utilizada (experimental o comercial) y del método de agitación empleado: estático, agitación horizontal o agitación vertical. La mayor retención se encontró con el método estático para dietas comerciales, a temperaturas bajas y salinidades altas (93%) y la menor con el método de agitación vertical en dietas experimentales a temperaturas altas y salinidades bajas (72%). Esto traducido a términos prácticos, implica en primer término que las dietas deben ser fabricadas con procesos e ingredientes que garanticen una adecuada hidroestabilidad, lo cual no se logra siempre al fabricar dietas experimentales; en segundo término, que para establecer los tamaños de las raciones y las frecuencias de alimentación, se deben considerar la temperatura y la salinidad de la columna de agua. Si por ejemplo, se tienen temperaturas altas y salinidades bajas, el tiempo entre raciones debe disminuirse, o lo que es lo mismo, aumentar la frecuencia de alimentación, disminuyendo el tamaño de las raciones. El caso contrario sería cuando se tienen bajas temperaturas y altas salinidades, aquí es factible aumentar el tamaño de las raciones y disminuir la frecuencia. Igualmente es necesario considerar que si se está trabajando en estanques con agitación

vertical (aireadores de paleta), las raciones deben ser menores y las frecuencias mayores que si se trabaja en sistemas sin agitación (aireación).

II. Selección de estrategias de alimentación

II.1. Tasa de Alimentación (TA)

La cantidad de alimento suplementada por día puede y debe variar significativamente de acuerdo a diversos factores y condiciones de cultivo tales como: talla, edad o estado de desarrollo de los organismos; aporte de la productividad natural; intensificación y densidad de siembra; parámetros ambientales; estado de muda y de salud del camarón, entre otros.

II.1.1. Ajuste de la TA en base a la talla

Tal como se ha comentado previamente el metabolismo de todos los organismos, incluyendo los camarones, se modifica con su desarrollo, y en base a esto es que su tasa de alimentación debe ajustarse a estos cambios. En términos generales se ha encontrado que los camarones juveniles tienen un metabolismo más acelerado que los sub-adultos o adultos y que por lo tanto la ración alimenticia debe ser mayor respecto a su biomasa. Es necesario sin embargo tomar en cuenta, que por lo general la participación de la productividad primaria es comúnmente más alta al inicio del cultivo cuando los camarones están más pequeños, y por tanto la necesidad de alimento suplementario es menor. Nunes y Parsons (2000) reportan que para *Penaeus subtilis*, el consumo de alimento en términos de biomasa total se incrementó directamente en función de la talla, pero en términos de porcentaje, decreció con la talla. Diversos estudios han sugerido que para postlarvas y juveniles de hasta 0.5 g, se utilice una tasa de alimentación de 8 % diario de la biomasa; para organismos de 0.5 a 3 g; la tasa se baje a 6 %; de 3 a 5 g, al 5 %; de 5 a 10 g, al 4 % y de 10 g en adelante al 3 %. Sin embargo esto varía significativamente de acuerdo a las condiciones previamente mencionadas. En condiciones de alta productividad, se ha encontrado que los camarones crecen adecuadamente, aún sin alimento (Martínez Córdova, 2006).

II.1.2. Ajuste de la TA en base a las condiciones ambientales

Considerando que los parámetros ambientales, especialmente la temperatura, tienen una influencia significativa en el metabolismo de los camarones y consecuentemente el consumo y asimilación de alimento, las tasas de alimentación deben ser congruentes con esto. Wyban *et al.* (1995) realizaron 5 experimentos para evaluar el efecto de la temperatura en el consumo de alimento, crecimiento y tasa de conversión alimenticia del camarón blanco de diferentes tallas. En los tres primeros, probaron temperaturas de 23, 27 y 30 °C, y un control de temperatura ambiental de 26.2 °C. Las tallas de siembra fueron de 3.9, 10.8 y 16 g. El consumo de alimento y el crecimiento se vieron incrementados con el aumento de la temperatura, pero en diferente proporción según la talla. La TCA no varió con la temperatura en la talla más pequeña, pero si lo hizo en la intermedia y grande. En base a esto se hizo un siguiente experimento probando dos tallas y tres temperaturas, en el que nuevamente el crecimiento y la TCA se vieron influenciadas por el aumento de temperatura, pero en el caso de la TCA fue mayormente dependiente de la talla. La conclusión del estudio fue que para camarones de menos de 5 g, la temperatura óptima es de alrededor de 30 °C, mientras que para organismos mayores de 10 g, es de 27 °C. Se esperaba que el crecimiento y consumo de alimento se redujeran para cualquier talla, cuando la temperatura sea menor de 23 °C y para tallas grandes, cuando sobrepasara los 30°C. Para propósitos prácticos, esta información nos indica que cuando la temperatura del estanque está por debajo de 23 °C (por ejemplo en abril cuando se siembra en Sonora y Sinaloa), la tasa de alimentación debería reducirse en una proporción que dependería de la talla de siembra, siendo la reducción un poco menor si se sembraran postlarvas o juveniles pequeños y un poco mayor si se sembraran juveniles más grandes.

II.1.3. Ajuste de la TA en base a la productividad natural

Varios estudios se han realizado para establecer la tasa de alimentación adecuada en relación a la productividad natural del sistema. Martínez *et al.* (1998) establecieron que para el camarón blanco, la tasa de alimentación podía reducirse de 3 hasta 1.5 % diario sin menoscabo del crecimiento y de la producción, cuando la biomasa de alimento natural útil

superaba los 40 g/m³. Roy *et al.* (2012) cultivaron camarón blanco en tres tipos de sistemas: estáticos, de flujo continuo y con reposición de agua; en todos los casos se usó agua verde proveniente de cultivos comerciales, ofreciendo a los organismos diversos porcentajes de la ración diaria normal. No encontraron diferencias entre ofrecer la ración completa y ofrecer un 60 o un 80 % de la misma, en términos de crecimiento y producción, demostrando con ello la significativa participación de la productividad natural en este tipo de cultivos. Estos estudios demuestran que las tasas de alimentación para sistemas con alta productividad natural debieran ajustarse a la baja, en relación a las que normalmente se utilizan en cultivos en donde no se promueve adecuadamente la productividad natural.

II.2 Formas de Suplementación y Distribución del Alimento

La forma en que se pone el alimento a disposición de los camarones cultivados puede ser variable y esta variación afectar la respuesta productiva de los organismos. Para los sistemas semi-intensivos e intensivos, las formas más comunes son la alimentación al boleo y la alimentación en charolas. Para sistemas hiperintensivos puede manejarse también la alimentación automatizada. La alimentación al boleo puede hacerse en forma manual utilizando lanchas que recorren el estanque, o puede hacerse mecánicamente a través de sopladores instalados en vehículos que recorren los bordes de los estanques. La selección de la mejor estrategia depende de varios factores entre ellos la intensificación y el tipo de instalaciones que se tengan. Para cultivos intensivos en donde es conveniente aumentar la frecuencia de alimentación, sería más práctico utilizar la alimentación mecanizada, porque se reduce el tiempo de suministro y es posible hacer más alimentaciones por día. En sistemas semi-intensivos bajos esta forma de suministro no es rentable por los costos que implica. Casillas-Hernández *et al.* (2007) evaluaron la alimentación al boleo y la alimentación en charolas para el cultivo semi-intensivo del camarón blanco, encontrando que el crecimiento promedio así como la recuperación de nitrógeno y fósforo como biomasa de camarón fueron mejores en donde se utilizó alimentación en charolas.

II.3. Frecuencia de Alimentación

La frecuencia de alimentación es un aspecto de gran trascendencia en el cultivo de organismos acuáticos incluyendo el camarón, ya que de ella depende en gran medida el aprovechamiento óptimo o la pérdida de materia orgánica y nutriente (lixiviación). No existe una frecuencia de alimentación ideal para todas las condiciones y sistemas de cultivo.

II.3.1. Ajuste de la frecuencia en base a la talla

Es por lo general un supuesto entendido que la frecuencia de alimentación debiera ser mayor a menor talla, considerando que a medida que los organismos crecen, su eficiencia de conversión alimenticia disminuye. Sedgwick (1979) encontró que juveniles tempranos de *Penaeus mergiensis* crecieron mejor y utilizaron más eficientemente el alimento, cuando se les alimentó 4 veces al día, que cuando se les alimentó solo una vez.

II.3.2. Ajuste de la frecuencia en base a la intensificación

En términos generales se ha encontrado que entre más intensivo sea el sistema, se requiere una frecuencia mayor; sin embargo esta no es una regla que aplique para todos los casos. Velazco et al. (1999) evaluaron 5 frecuencias de alimentación para el camarón en un sistema estático usando una dieta con 19.5 % de proteína. En un primer experimento en que las dietas se proporcionaron automáticamente a tiempos iguales (3, 5, 8, 11 y 15 veces al día), no se encontraron diferencias en sobrevivencia, crecimiento y acumulación de N en la columna de agua. En un segundo experimento en el que las dietas se distribuyeron manualmente a intervalos diferentes (1, 2, 3, 4 y 6 veces al día), no se encontraron diferencias en sobrevivencia y crecimiento, pero la acumulación de nitrógeno fue menor en aquellas alimentadas dos veces al día.

Aguilar Carvalho y Nunes (2006) realizaron un experimento en estanques al exterior cultivando *L. vannamei* a una densidad de 80 org/m², en el que evaluaron 5 diferentes frecuencias de alimentación (2, 3, 4, 5 y 6 veces al día). En este caso, la frecuencia de

alimentación no afectó significativamente la respuesta productiva de los organismos, aunque se obtuvo una respuesta ligeramente mejor a 5 veces por día; adicionalmente se encontró que después de una inmersión de 8 horas en el agua, el alimento perdió hasta casi un 40 % de proteína y más de 9 % de lípidos, aunque no se encontraron diferencias en la lixiviación ente los tratamientos sobre el período de estudio.

Para densidades más intensivas (100 Pl/m^2), Tacon *et al.* (2002) encontraron que alimentando 8 veces al día se obtuvieron mejores parámetros productivos. Contrariamente, para *P. monodon* a densidades de 25 org/m^2 , Smith *et al.* (2002) no encontraron diferencias en los parámetros de producción utilizando frecuencias de alimentación de 3, 4 y 5 veces al día.

Estos resultados confirman que para cultivos hiperintensivos, es necesario incrementar las frecuencias de alimentación, además de utilizar formulaciones más completas.

II.3.3. Distribución diaria de la ración alimenticia.

Existen informaciones contradictorias en relación a si los camarones deben alimentarse en el día o en la noche; mientras que hay reportes de que estos organismos comen mayormente de noche, hay quienes afirman que lo hacen mejor de día. Robertson *et al.* 1993, afirma que *L. vannamei* respondió mejor, en términos de crecimiento, a la alimentación diurna que a la nocturna. Tacon *et al.* (2002) probaron dietas experimentales y comerciales en una corrida de 8 semanas para engordar camarón a altas densidades ($100/\text{m}^2$) al interior y al exterior, usando 3 diferentes estrategias de alimentación: 4 veces en el día, 4 veces en la noche y 8 veces (4 día y 4 noche). Los mejores crecimientos se obtuvieron al exterior alimentando con dietas experimentales para camarón 8 veces al día. En cultivos semi-intensivos es recomendable la alimentación diurna debido a que en las etapas finales del cultivo la carga orgánica dentro de los estanques es elevada (Miranda *et al.* 2007), incrementando considerablemente la respiración que puede llegar a niveles cercanos a 2 mg/L en las primeras horas del día; bajo estas condiciones el camarón se encuentra en un estado de estrés fisiológico.

Conclusiones

A manera de conclusión y en base a todas las experiencias recabadas en la presente revisión, nos hemos permitido elaborar la siguiente tabla, como una guía general para seleccionar los alimentos y las estrategias de alimentación más adecuadas para diferentes tipos de cultivo, tallas y participación de la productividad natural. Es importante considerar que esto no es una receta y que las sugerencias se pueden modificar en razón de situaciones particulares de cada cultivo, por ejemplo: cambios en las condiciones ambientales; bajas importantes de oxígeno en la columna de agua, muda del camarón, períodos prolongados de alta nubosidad, etc. Si se utiliza la biotecnología actual para la promoción y aprovechamiento de los microorganismos en la nutrición de los camarones (biopelículas y bioflóculos), los niveles de proteína animal en la dieta y la tasa de alimentación se puede reducir aún más, aprovechando ingredientes vegetales alternos.

Tabla 1. Guía para la selección de alimentos y estrategias de alimentación para diferentes tipos de cultivo, tallas y participación de la productividad natural en el sistema.

Tipo de cultivo	Talla de los organismos	Productividad natural	Alimento, frecuencia y tasa de alimentación	
Semi-intensivo Bajo en estanques de tierra 8 a 12 Pl/m ²	Postlarva a juvenil temprano (< 5 g)	Buena	Dieta estándar o RHP* con 25 a 30 % PC Boleo 2 veces al día; 6 a 4 % de biomasa por día	
		Baja	Dieta estándar o RHP, con 30 a 35 % de PC Boleo 2 veces al día; 8 a 5 % de biomasa por día	
	Juvenil a sub-adulto (> 5 g)	Buena	Dieta estándar o RHP, con 18 a 25 % de PC Boleo 2 veces al día; 4 a 2.5 % de biomasa por día	
			Dieta estándar con 25 a 30 % de PC Boleo 2 veces al día; 4 a 3.5 % de	

		Baja	biomasa por día
Semi-intensivo medio a alto en estanques de tierra 15 a 40 Pl/m ²	Postlarva a juvenil temprano (< 5 g)	Buena	Dieta estándar o RHP con 30 a 32 % de PC
			Boleo 2 veces al día Mecánica 3 veces al día; 6 a 4 % de biomasa por día
		Baja	Dieta estándar con 32 a 35 % de PC
			Boleo 2 veces al día Mecánica 3 veces al día; 7 a 4.5 de biomasa por día
	Juvenil a sub-adulto (> 5 g)	Buena	Dieta estándar o RHP con 30 a 32 % de PC
			Mecánica 3 veces al día; 4 a 3 % de biomasa por día
		Baja	Dieta estándar o HP** con 32 a 35 % de PC
			Boleo 2 veces a día o Mecánica 3 veces al día; 4.5 a 3.5 % biomasa por día
Intensivo a intensivo alto en estanques con liners, concreto; raceways. 50 a 100 Pl/m ²	Postlarva a juvenil temprano (< 5 g)	Buena	Dieta estándar a HP con 35 % de PC
			Mecánica 3 a 4 veces al día; 8 a 4 % de biomasa por día
		Baja	Dieta HP con 35 a 40 % de PC
			Mecánica 3 a 4 veces por día; 8 a 4.5 % de biomasa por día
	Juvenil a sub-adulto (> 5 g)	Buena	Dieta estándar a HP con 32 a 35 % de PC
			Mecánica 3 a 4 veces por día; 4 a 3 % de biomasa por día
		Baja	Dieta HP con 35 % de proteína
			Mecánica 3 a 4 veces por día; 4.5 a 3.5 % de biomasa por día.

RHP* Reducida en harina de pescado (ingredientes vegetales alternativos)

HP** Dieta alto desempeño (high performance) (uso de inmunoestimulantes, probióticos, etc.)

Referencias

- Anand, PSS; Kohli, MPS; Roy, SD; Sundaray, JK; Kumar, S; Sinha, A; Pailan, GH; Sukham, MK. 2013. Effect of dietary supplementation of periphyton on growth performance and digestive enzyme activities in *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 392:59-68
- Amaya, E.A., Davis, D.A., and Rouse, D.V. 2007. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions. *Aquaculture*, 262:393–401.
- Amaya, E., Davis, D.A. and Rouse, D.B. 2007b: Alternative diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 262:419-425.
- Anaya-Rosas R., Bückle Ramírez F. 2012. Cultivo de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) en un sistema con agua de mar recirculada, como alternativa a los cultivos semi-intensivos tradicionales. *Biotecnología*, 14:16-24.
- Arnold, S.J., Sellars, M.J., Crocos, P.J., and Coman, G.J. 2005. Response of juvenile brown tiger shrimp (*Penaeus esculentus*) to intensive culture conditions in a flow through tank system with three-dimensional artificial substrate. *Aquaculture*, 246:231-238.
- Ballester, E.L.C., Abreu, P.C., Cavalli, R.O., Emerenciano, M., I. de Abreu, Wasielesky Jr. W. 2010. Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system. *Aquaculture Nutrition*, 16:163-172.
- Browdy, CL; Bharadwaj.; Venero, JA.; and Nunes, AJP. 2012. Supplementation with 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid (HMTBa) in low fish meal diets for the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition* 18:432-440.
- Bulbul, M, Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, M., and Kader, M.A. 2013. Performance of kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicus* fed diets replacing fishmeal with a combination of plant protein meals. *Aquaculture*, 372-375: 45-51.
- Burford, M.A., Thompson, P.J., McIntosh, R.P., Bauman, R.H., and Pearson, D.C. 2003. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture*, 219:393-411.
- Burford, M.A., Thompson, P.J., McIntosh, R.P., Bauman, R.H., and Pearson, D.C. 2004. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. *Aquaculture*, 232:525–537.
- Campaña-Torres, A., Martínez-Cordova, L.R., Villarreal-Colmenares, H. & Cortés-Jacinto, E. 2010. Evaluation of different concentrations of adult live *Artemia franciscana* (Kellogg 1906) as natural exogenous feed on the water quality and production parameters of *Litopenaeus vannamei* (Boone 1931) intensively pre grown. *Aquaculture Research* 42(1): 40-46.

- Casillas-Hernández, R., Magallón-Barajas, F., Portillo-Clarck, G., and Páez-Osuna, F. 2007. Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico using two feeding strategies: Trays and mechanical dispersal. *Aquaculture*, 258: 289-298.
- Cruz-Suárez, L.E., Ruiz-Díaz, P.P., Cota-Cerecer, E., Martha Nieto-López, M.G., Guajardo-Barbosa, C., Tapia-Salazar, M., Villarreal-Cavazos, D., and Ricque-Marie, D. 2006. Revisión sobre algunas características físicas y control de calidad de alimentos comerciales para camarón en México. *Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, Noviembre de 2006, Monterrey, N.L.
- Cruz-Suárez, L.E., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Guajardo-Barbosa, C., and Ricque-Marie, D. 2007. Comparison of *Ulva clathrata* and the kelps *Macrocystis pyrifera* and *Ascophyllum nodosum* as ingredients in shrimp feeds. *Aquaculture Nutrition*, 15:421-430.
- Cruz-Suárez, L.E., León, A., Peña-Rodríguez, A., Rodríguez-Peña, G., Moll, B., and Ricque-Marie, D. 2010. Shrimp/*Ulva* co-culture: A sustainable alternative to diminish the need for artificial feed and improve shrimp quality. *Aquaculture*, 301:64-68.
- Epp, M.A., Zeimann, D.A., Schell, D.M. 2002. Carbon and nitrogen dynamics in zero-water exchange shrimp culture as indicated by stable isotope tracers. *Aquaculture Research* 33, 839-846.
- Hari, B., Kurup, B.M., Varghese, J.T., Schrama, J.W., and Verdegem, M.C.J. 2004. Effects of carbohydrate addition on production in extensive shrimp culture systems. *Aquaculture*, 241:179-194.
- Kureshy, N., and Davis, D.A. 2002. Protein requirement for maintenance and maximum weight gain for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 204: 125-143.
- López-Tarin Francina. 2011. Efecto de la sustitución parcial de una dieta comercial complementada con floc en el crecimiento y la sobrevivencia de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en un sistema intensivo con cero recambio de agua. Tesis de Maestría en Ciencias en Tecnologías de Cultivos Acuícolas. Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora, Navojoa, Sonora 60p.
- Martinez-Cordova, L., Campaña-Torres, A. and Porchas-Cornejo, M. 2002. The effect of variation in feed protein level on the culture of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* in low water exchange experimental ponds. *Aquaculture Research*. 33:995-998.
- Martinez-Cordova, L., Campaña-Torres, A. and Porchas-Cornejo, M. 2003. Dietary protein level and natural food management in the culture of blue (*Litopenaeus stylirostris*) and white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in microcosms. *Aquaculture Nutrition*. 9(3):155-160.
- Martínez Córdova, L. 2009. *Camaronicultura Sustentable*. Editorial Trillas, México, D.F. 176 pp.
- Martinez-Cordova, L.R, Campaña-Torres, A., Villarreal-Colmenares, H., Ezquerro Brauer, J.M., Martinez-Porchas, M., and Cortes-Jacinto, E. 2013. Evaluation of partial and total replacement of formulated feed by live insects, *Trichocorixa* sp. (Heteroptera:Corixidae), on the productive and nutritional response and postharvest quality of shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone 1931). *Aquaculture Nutrition* 19:218–226

- Miranda-Baeza, A., Voltolina, D., Brambila-Gómez, M.A., Frías-Espericueta M.G., Simental, J. 2007. Effluent characteristics and nutrient loading of a semi-intensive shrimp farm in NW México. *Vie Et Milieu - Life And Environment* 57, 21-27.
- Nunes, A.J.P., and Parsons, G.J. 2000. Size-related feeding and gastric evacuation measurements for the Southern brown shrimp *Penaeus subtilis*. *Aquaculture* 187:133-151.
- Robertson, L., Lawrence, A.L., and Castille, F. 1993. Interaction of Salinity and Feed Protein Level on Growth of *Penaeus vannamei*. *Journal of Applied Aquaculture*, 2:43-54.
- Robertson, L., Lawrence, A.L., and Castille, F. 1993. Effect of feeding frequency and feeding time on growth of *Penaeus vannamei* (Boone). *Aquaculture Research*, 24:1-6.
- Roy, L.A; Davis, DA; Whitis, G.N. 2012. Effect of feeding rate and pond primary productivity on growth of *Litopenaeus vannamei* reared in inland saline waters of West Alabama. *North American Journal of Aquaculture*, 74:20-26.
- Sedgwick, R.W. 1979. Effect of ration size and feeding frequency on the growth and food conversion of juvenile *Penaeus merguensis* de Man. *Aquaculture* 16:279-298.
- Smith, D.M., Burford, M.A., Tabrett, S.J., Irvin, S.J., and Ward, L. 2002. The effect of feeding frequency on water quality and growth of the black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Aquaculture*, 207:125-136.
- Tacon, A.G.J., Cody, J.J., Conquest, L.D., Divakaran, S., Forster, I.P., and Decamp, O.E. 2002. Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. *Aquaculture Nutrition*, 8:121-137.
- Teichert-Coddington, D.R., and Rodriguez, R. 1995. Semi-intensive commercial grow-out of *Penaeus vannamei* fed diets containing differing levels of crude protein during wet and dry seasons in Honduras. *Journal of the World Aquaculture Society*, 26:72-79.
- Venkatarameiah, A., Lakshmi, G.J., and Gunter, G. 1975. Effect of protein level and vegetable matter on growth and food conversion efficiency of brown shrimp. *Aquaculture*, 6:115-125.
- Viau, VE; de Souza, DM; Rodriguez, EM; Wasielesky, W; Abreu, PC; Ballester, ELC. 2013. Biofilm feeding by postlarvae of the pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Decapoda, Penaeidae). *Aquaculture Research*, 44:783-794
- Wyban, J., Walsh, W.A., and Godin, D.M. 1995. Temperature effects on growth, feeding rate and feed conversion of the Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture*, 138:267-279.
- Xia, S., Li, Y., Wang, W., Rajkumar, M., Vasagam, K.P.K., and Wang, H. 2010. Influence of dietary protein levels on growth, digestibility, digestive enzyme activity and stress tolerance in white-leg shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), reared in high-density tank trials. *Aquaculture Research*, 41: 1845-1854.
- Zhao, P.; Huang, J.; Wang, XH.; Song, XL.; Yang, CH.; Zhang, XG.; Wang, GC. 2012. The application of bioflocs technology in high-intensive, zero exchange farming systems of *Marsupenaeus japonicus*. *Aquaculture*, 354:97-106.