

REQUERIMIENTOS VITAMONICOS PARA CAMARONES PENEIDOS

Addison L. Lawrence y Haiqi He

**Shrimp Mariculture Research
Texas Agricultural Experiment Station
Texas A&M University System,
Port Aransas, TEXAS 78373**

Traducción: Roberto Mendoza Alfaro y Carlos Aguilera González

Las técnicas involucradas en la producción acuícola de camarón han evolucionado de los sistemas extensivos a los intensivos, e incluso ultra intensivos en estanques y raceways debido a la presión económica y protección ambiental. La continua intensificación de la acuicultura de camarón requiere un mayor avance en cuanto a información nutricional y tecnología de alimentos. El alimento es normalmente el rubro más costoso en la acuicultura de camarón. A medida que la producción de camarón se intensifica, el camarón se vuelve más dependiente del alimento artificial para cubrir sus necesidades nutricionales. Esta intensificación requiere, por lo tanto, de dietas económicas y más completas nutricionalmente para el éxito comercial del cultivo de camarón. Sin embargo, la formulación de dietas eficientes requiere de información nutricional precisa de la especie cultivada.

Las vitaminas son un grupo de nutrientes esenciales requeridos en la mayor parte de las formas vivas. Aproximadamente 15 vitaminas han sido identificadas positivamente y son tradicionalmente subdivididas dentro del grupo de liposolubles las que incluyen al retinol (vitamina A), colecalciferol (vitamina D3), tocoferol (vitamina E), y menadiona (vitamina K3), y el grupo de vitaminas hidrosolubles las que incluyen a la tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2), piridoxina (vitamina B6), ácido pantoténico, ácido nicotínico, biotina, ácido fólico, cianocobalamina (vitamina B12), ácido L-ascórbico (vitamina C), colina, e inositol (National Research Council, 1983). De los requerimientos nutricionales estudiados en los camarones, la nutrición de vitaminas esta considerada como una de las áreas más limitadas (New, 1976; Kanazawa, 1985a,b; Chung, 1990; Chen, 1993; Lim y Akiyama, 1995).

El interés en determinar los requerimientos vitamínicos dietarios para los camarones peneidos se ha incrementado durante las dos últimas décadas debido a la importancia económica de estas especies para la acuicultura. Los requerimientos de vitaminas han sido principalmente investigados en *P. japonicus* (Kitabayashi et al., 1971; Guary et al., 1976; Kanazawa et al., 1976; Deshimaru y Kuroki, 1976, 1979; Sedgwick, 1980; Kanazawa, 1985a, b; Shigueno y Itoh, 1988), *P. monodon* (Catacutan y De la Cruz, 1989; Chen et al., 1991; Chen y Hwang,

1992; Shiao y Lung, 1993; Catacutan y Lavilla-Pitogo, 1994; Chen Y Chang, 1994; Shiao y Hsu, 1994; Shiao y Hwang, 1994; Reddy y Jones, 1995; Trino y Sarroza, 1995) y *P. vannamei* (He, 1993; He y Lawrence, 1993a, b; Montoya y Molina 1995). Se han llevado a cabo pocos estudios para investigar los requerimientos vitamínicos dietarios de otras especies de peneidos (Lightner et al., 1979; D'Abramo et al., 1994; Chen y Li, 1994; Shiao y Liu, 1994b). La Tabla 1 presenta un resumen de la información disponible concerniente a los requerimientos vitamínicos del camarón y los signos de deficiencias vitamínicas. El objetivo de este manuscrito es revisar la nutrición vitamínica y los requerimientos para camarones peneidos.

VITAMINAS HIDROSOLUBLES

TIAMINA (VITAMINA B1)

La función biológica de la tiamina es la de una coenzima, cocarboxilasa, requerida para la descarboxilación oxidativa en el metabolismo de carbohidratos. Deshimaru y Kuroki (1979) encontraron que juveniles de *P. japonicus* (0.5g) exhibían bajas tasas de crecimiento y una disminución en el contenido tisular de tiamina al ser alimentados con una dieta deficiente en tiamina durante 12 semanas. Se determinó que la tiamina dietaria era requerida a 60 y 120 mg/kg para que los camarones alcanzaran un crecimiento normal y un máximo contenido tisular, respectivamente. Kanazawa (1985b) reportó que la tiamina era requerida a 40 mg/kg de dieta para la sobrevivencia normal de larvas de *P. japonicus*. Juveniles de *P. monodon* mostraron una disminución de las células B en el hepatopáncreas después de recibir una dieta deficiente en tiamina durante 35 días (Catacutan y De la Cruz, 1989). Chen et al., (1991) encontraron que después de un bioensayo de alimentación de 9 semanas el suministro de una dieta deficiente en tiamina (0.12 mg/kg) reducía el crecimiento y sobrevivencia, y además resultaba en una pobre tasa de conversión alimenticia en juveniles de *P. monodon* (1.4 g peso inicial). Basados en el crecimiento y la concentración de tiamina hemolinfática, se sugirió que el requerimiento de tiamina para juveniles de *P. monodon* era de aproximadamente 14 mg/kg de dieta. En un estudio reciente (He, 1993), el requerimiento dietario de tiamina para *P. vannamei* fue establecido en dos bioensayos de alimentación independientes. A pesar de que el requerimiento dietario mínimo de tiamina no fue definido, los resultados de los bioensayos de crecimiento indicaron que la suplementación de tiamina-HCl a 25 mg/kg era adecuado para cubrir los requerimientos de juveniles de *P. vannamei*.

RIBOFLAVINA (VITAMINA B2)

La riboflavina es un componente de las coenzimas, flavina mononucleotido (FMN) y flavina adenin dinucleotido (FAD), requeridas para numerosas reacciones de oxidoreducción en el metabolismo de carbohidratos, ácidos grasos y aminoácidos así como en la producción de energía. Se encontró una baja sobrevivencia en larvas de *P. japonicus*, después de haber sido alimentadas con una dieta deficiente en riboflavina durante 10 días (Kanazawa, 195b). La suplementación dietaria de riboflavina a 80 mg/kg fue necesaria para evitar la mortalidad. Catacutan y De la Cruz (1989) reportaron que juveniles de *P. monodon* exhibieron cambios histopatológicos en las células R del hepatopáncreas al ser alimentados con una dieta libre de

riboflavina por 6 semanas, sin embargo los camarones no redujeron su crecimiento. Chen y Hwang (1992) encontraron que la suplementación con 22.3 mg de riboflavina/kg de dieta era necesaria para obtener una saturación corporal de esta vitamina en *P. monodon* (0.13 g de peso inicial). A pesar de que no se encontraron diferencias en crecimiento (1.4-1.9 en ganancia de peso) o sobrevivencia (45-60 %) de camarones alimentados con dietas conteniendo riboflavina de 0 a 80 mg/kg durante 15 semanas, los camarones alimentados con una dieta sin suplementación de riboflavina exhibieron signos de deficiencias los cuales se manifestaron como una coloración clara, irritabilidad, protuberancia cuticular en las intersomitos, y un enanismo a nivel del cefalotorax. He (1993) encontró que el crecimiento de juveniles de *P. vannamei* se reducía al ser alimentados con dietas semi-puras sin suplementación de riboflavina. La riboflavina dietaria a 38 mg/kg resultó necesaria para el crecimiento normal de *P. vannamei*.

PIRIDOXINA (VITAMINA B6)

Las formas biológicamente activas de piridoxina, piridoxal y fosfato de piridoxamina son requeridas como coenzimas para muchas reacciones enzimáticas en el metabolismo de aminoácidos incluyendo la transaminación, desaminación, descarboxilación y sulfhidración de aminoácidos. Deshimaru y Kuroki (1979) observaron tanto una reducción en el crecimiento como una baja sobrevivencia en juveniles de *P. japonicus* (0.5 g de peso inicial) cuando fueron alimentados con una dieta deficiente en piridoxina durante 4 semanas. Se encontró un requerimiento de piridoxina-HCl de 120 mg/kg de dieta basado en crecimiento y contenido de piridoxina corporal. Sin embargo, al doblar este nivel en la dieta (240 mg de piridoxina/kg) disminuía el crecimiento y el contenido tisular de piridoxina. Cuando larvas de *P. japonicus* fueron alimentadas con una dieta conteniendo piridoxina-HCl de 0 a 240 mg/kg durante 10 días la mayor tasa de sobrevivencia fue encontrada en grupos alimentados con 120 mg de piridoxina-HCl/kg de dieta (Kanazawa, 1985b). Catacutan y De la Cruz (1989) encontraron que una dieta deficiente en piridoxina resultaba en daños severos a las células epiteliales del hepatopáncreas de *P. monodon*, pero el crecimiento de los camarones no se vio afectado. He (1993) demostró que una dieta deficiente en piridoxina provocaba un crecimiento reducido y baja actividad de alanina y aspartato aminotransferasas musculares en *P. vannamei*. Se determinó un requerimiento dietario de piridoxina-HCl de 80 mg/kg para el máximo crecimiento y actividad de aspartato aminotransferasa en el músculo abdominal de camarón. Sin embargo, el exceso de piridoxina-HCl (160 mg/kg de dieta) también disminuía el crecimiento de camarón. El perfil de aminoácidos libres de músculo abdominal de camarón fue significativamente influenciado por la ingestión de piridoxina-HCl. Todos los aminoácidos dispensables: ácido aspártico, alanina, ácido glutámico, glicina, prolina, serina, y treonina y cuatro aminoácidos indispensables: arginina, histidina, lisina, y fenilalanina cambiaron significativamente con diferentes niveles dietarios de piridoxina-HCl.

ACIDO PANTOTÉNICO

El ácido pantoténico es un componente de la coenzyma A (Co A), la cual, especialmente como acetyl-CoA, juega un papel esencial en el metabolismo de proteínas, lípidos y carbohidratos y en la síntesis de colesterol, hormonas esteroideas, fosfolípidos, hemoglobina, así como en una variedad de otros componentes. Se conoce poco sobre los requerimientos de ácido pantoténico

para camarones peneidos. Kanazawa (1985b) indicó que *P. japonicus* podría no requerir suplementación de ácido pantoténico, debido a que el excluir el ácido pantoténico de la dieta no se observó efecto en la sobrevivencia de larvas de *P. japonicus*; mientras que la mayor parte del resto de las vitaminas hidrosolubles al ser excluidas de las dietas produjeron baja sobrevivencia en un bioensayo de 10 días. De igual manera He (1993) observó que no existía un efecto del ácido pantoténico dietario sobre el crecimiento y sobrevivencia del camarón *P. vannamei*, en dos bioensayos separados de alimentación, indicando que el requerimiento dietario de ácido pantoténico para camarón era relativamente bajo y que la suplementación dietaria de la vitamina podría no ser necesaria.

ÁCIDO NICOTÍNICO

El ácido nicotínico o niacina es un componente de dos importantes coenzimas, nicotinamida adenin dinucleótido (NAD) y nicotinamida dinucleótido fosfato (NADP). Estas dos coenzimas son requeridas por un gran número de oxidoreductasas para la producción de energía y el metabolismo de proteína, lípidos y carbohidratos. A diferencia de otras vitaminas, la niacina puede ser sintetizada de novo a partir del triptófano por la mayor parte de los animales; sin embargo, una baja tasa de conversión y cantidades limitadas de triptófano en la dieta propician que esta vitamina sea esencial para la mayoría de los animales (National Research Council, 1987). Kanazawa (1985b) reportó que el ácido nicotínico era necesario en concentraciones de 400 mg/kg de dieta para evitar la mortalidad de larvas de *P. japonicus*. Catacutan y De la Cruz (1989) encontraron que juveniles de *P. monodon* mostraban cambios histopatológicos que implicaban el desprendimiento de las células epiteliales hepatopancreáticas al ser alimentados con una dieta libre en ácido nicotínico durante 35 días. En un estudio reciente, He (1993) demostró que el ácido nicotínico era esencial para juveniles de *P. vannamei*. La falta de ácido nicotínico en las dietas resultó en un crecimiento reducido y baja sobrevivencia. El crecimiento del camarón aumentó al ser alimentado con dietas en las cuales se incrementó la concentración de ácido nicotínico de 0 a 50 mg/kg de dieta y no se encontró una mayor ganancia en peso cuando el ácido nicotínico fue incrementado de 50 a 200 mg/kg de dieta. El requerimiento dietario mínimo de ácido nicotínico de *P. vannamei* fue estimado en 50 mg/kg por medio de un análisis de regresión de línea partida.

BIOTINA

La biotina es un nutriente esencial para los animales debido a su papel como coenzima de la acetil-CoA carboxilasa, piruvato carboxilasa, y propionil-CoA carboxilasa, las cuales participan en numerosas reacciones de carboxilación y descarboxilación. Las vías metabólicas en las cuales participa la biotina incluyen la biosíntesis de ácidos grasos, niacina, nucleótidos, y el catabolismo de aminoácidos. Generalmente, la cantidad de biotina que debe ser incluida en la dieta para la mayoría de los animales es aparentemente muy pequeña (National Research Council, 1987). Kanazawa (1985b) demostró que la biotina dietaria es esencial para larvas de *P. japonicus*; biotina suplementada a 4 mg/kg de dieta es requerida para la sobrevivencia normal de camarón. El requerimiento de biotina para otras especies de camarones no ha sido estudiado.

ACIDO FOLICO

El ácido tetrahidrofólico, una forma reducida del ácido fólico, es un acarreador intermediario de unidades de un solo carbono en la síntesis de hemoglobina, glicina, metionina, colina, tiamina y purina así como en el metabolismo de los aminoácidos indispensables fenilalanina, tirosina, e histidina. Como un constituyente del ácido fólico, el ácido p-aminobenzoico es un precursor esencial para la biosíntesis intestinal del ácido fólico por los microorganismos. Kanazawa (1985b) reportó que larvas de *P. japonicus* alimentadas con una dieta libre de ácido fólico desarrollaban severas mortalidades en 10 días, pero al excluir el ácido p-aminobenzoico de la dieta no se observó efecto en la sobrevivencia de las larvas. Juveniles de *P. monodon* exhibieron cambios histopatológicos en las células R del hepatopáncreas cuando eran alimentados con una dieta sin suplementación de ácido fólico durante 35 días (Catacutan y De la Cruz, 1989). He (1993) mostró que *P. vannamei* alimentado con dietas conteniendo ácido fólico de 20 a 80 mg/kg (sin ácido p-aminobenzoico) tenían ganancias en peso significativamente mayores que camarones alimentados con dietas en las cuales fueron excluidos tanto el ácido fólico como el ácido p-aminobenzoico. La ganancia en peso de camarones alimentados con dietas conteniendo diferentes niveles de ácido p-aminobenzoico (sin ácido fólico) también fue mayor que la de camarones alimentados con dietas carentes en ácido fólico y ácido p-aminobenzoico. No se observaron diferencias en el crecimiento entre camarones alimentados con dietas suplementadas con ácido fólico y aquellos alimentados con dietas conteniendo ácido p-aminobenzoico. Los resultados de este estudio indicaron que el ácido fólico dietario fue necesario para el crecimiento normal de camarones de la especie *P. vannamei* y que la suplementación dietaria de ácido fólico a 20 mg/kg fue adecuada.

CIANOCOBALAMINA (VITAMINA B12)

La vitamina B12 es una molécula grande y compleja que contiene el metal cobalto en su centro. La cobalamina es una coenzima involucrada en el metabolismo de unidades de un solo carbón, síntesis de ácidos nucleicos, catabolismo de ácidos grasos, la regeneración del ácido tetrahidrofólico y la metilación de homocisteína a metionina y es esencial para la formación de eritrocitos y el mantenimiento del tejido nervioso. La vitamina B12 es exclusivamente sintetizada por bacterias. Esta se encuentra presente en el hígado de los animales donde existe en varias formas activas como metil-, adenosil-, o hidroxil-cobalamina. A diferencia de la situación de otras vitaminas hidrosolubles, el almacenamiento de la vitamina B12 por los animales es significativo (National Research Council, 1987). Solo se requieren cantidades traza de vitamina B12 para la mayoría de los animales. Se ha demostrado que la vitamina B12 es eficaz para propiciar la sobrevivencia de larvas de *P. japonicus* (Kanazawa, 1985b). La vitamina B12 dietaria también puede ser necesaria para juveniles de *P. monodon* debido a cambios histopatológicos en células del hepatopáncreas detectados en camarones que han sido alimentados con una dieta libre de vitamina B12 durante 35 días (Catacutan y De la Cruz, 1989). Shiao y Lung (1993) en un estudio reciente reportaron que la suplementación de vitamina B12 en la dieta promueve el crecimiento del camarón. El requerimiento estimado de vitamina B12 dietario para *P. monodon* fue de 0.2 mg/kg de dieta.

COLINA

En contraste con las anteriores vitaminas hidrosolubles, la colina no tiene funciones de coenzima. La función biológica de la colina es como un precursor del neurotransmisor, acetilcolina, como un donador de grupos metilo en la síntesis de metionina, y como un componente del fosfolípido fosfatidilcolina, el cual esta involucrado en la estructura de las membranas celulares y en el metabolismo de lípidos. La colina puede ser sintetizada de novo por algunos animales a partir de la metionina, considerando que la metionina este disponible en cantidades suficientes (National Research Council, 1983). La información disponible concerniente a los requerimientos de colina para camarones peneidos es aún contradictoria. Kanazawa et al. (1976) reportaron una baja tasa de crecimiento y altas mortalidades en *P. japonicus* de 0.9 g de peso inicial cuando fueron alimentados con una dieta libre de colina. Un requerimiento dietario de cloruro de colina de 600 mg/kg fue determinado para *P. japonicus*. Kanazawa (1985b) también encontró que la deficiencia dietaria de colina reducía la sobrevivencia de larvas de *P. japonicus* y que la suplementación dietaria de cloruro de colina a 6,000 mg/kg era necesaria para prevenir mortalidad. La suplementación dietaria de cloruro de colina hasta 12000 mg/kg no mostró efectos adversos en las larvas. Catacutan y De la Cruz (1989) encontraron que *P. monodon* exhibía daños severos en las células epiteliales del hepatopáncreas cuando eran alimentados con una dieta libre de colina durante 35 días. En contraste, Deshimaru y Kuroki (1979) no observaron diferencias en la ganancia en peso y en el contenido de colina tisular en juveniles de *P. japonicus* (0.5 g de peso inicial) alimentados con una dieta libre de colina y con dietas conteniendo diferentes niveles de colina. En este estudio, un alto contenido de colina corporal fue encontrado en camarones alimentados con una dieta libre de colina durante 12 semanas, sugiriendo la posibilidad de biosíntesis de colina en los camarones. No obstante que la colina es un componente del fosfolípido fosfatidilcolina, en un estudio reciente (He, 1993) encontró que no existía interacción entre los efectos de la colina dietaria y la lecitina en el crecimiento de *P. vannamei*. Tanto la colina como la lecitina resultaron esenciales en la dieta para el crecimiento normal del camarón. Estos resultados indican que el camarón tiene una habilidad limitada para convertir la colina dietaria en fosfolípido. Se encontró que la suplementación dietaria de 1000 mg/kg de cloruro de colina era adecuada para cubrir el requerimiento dietario de colina para crecimiento normal de *P. vannamei*.

INOSITOL

El inositol, al igual que la colina, es un factor de crecimiento hidrosoluble para el cual no se conocen funciones de coenzima. El papel biológico del inositol es como constituyente del fosfolípido fosfatidilinositol, el cual es importante como un componente estructural de las membranas celulares. El inositol es estructuralmente similar a la glucosa y puede ser sintetizado de novo por muchos animales. De aquí que, aparentemente no se requiera en la dieta de la mayor parte de los animales (National Research Council, 1987). En camarones peneidos, el requerimiento dietario de inositol ha sido estudiado en *P. japonicus*. Kanazawa et al. (1976) reportaron que se requería una suplementación de inositol de 2,000 mg/kg de dieta para juveniles de *P. japonicus* (0.7-0.9 g de peso inicial). Camarones alimentados con una dieta libre de inositol mostraron una disminución del crecimiento y una elevada mortalidad. Deshimaru y Kuroki (1976) también encontraron que juveniles de *P. japonicus* (0.57 g de peso inicial) requerían de 2,000 a 4,000 mg de inositol/kg de dieta para el máximo crecimiento y una sobrevivencia normal. Para larvas de *P. japonicus* se reportó un requerimiento de inositol de 2000 mg/kg de dieta para

alcanzar una sobrevivencia normal (Kanazawa, 1985b). En *P. monodon*, el suministro de una dieta libre de inositol resultó en daño de las células epiteliales del hepatopáncreas, pero no tuvo efecto aparente en el crecimiento (Catacutan y De la Cruz, 1989). Para una especie diferente de camarón, *P. vannamei*, la ausencia de inositol en la dieta no mostró efectos en su crecimiento o sobrevivencia (He, 1993).

ÁCIDO L-ASCORBICO (VITAMINA C)

El ácido ascórbico (vitamina C) juega un papel esencial en un gran número de reacciones de hidroxilación y es particularmente importante para la formación de hidroxiprolina e hidroxilisina (Linder, 1985). La vitamina C es un nutriente esencial y ha sido estudiado extensivamente en muchas especies de camarones peneidos. La deficiencia en vitamina C en camarones ha sido caracterizada por un pobre crecimiento, reducida frecuencia de muda y mudas incompletas, una deficiencia en la formación de colágeno y mala recuperación de las heridas, síndrome de la “muerte negra” y alta mortalidad. El síndrome de la “muerte negra” fue descrito inicialmente en *P. californiensis* y *P. aztecus* por Lightner et al. (1979) como una melanización del tejido conectivo bajo el exoesqueleto y en el caparazón, branquias, abdomen e intestino, causada por una deficiencia dietaria de vitamina C (Lightner, 1977; Lightner et al., 1977; Magarelli et al., 1979). Magarelli y Colvin (1978) observaron que los camarones tenían una rápida disminución de ácido ascórbico tisular cuando la ingestión de ácido ascórbico era restringida. Se encontró que la vida media del ácido ascórbico era de 12.5 días y 4 días para *P. californiensis* y *P. stylirostris*, respectivamente. Sin embargo, se observó una rápida recuperación de los niveles tisulares de ácido ascórbico cuando el camarón tenía acceso a algas. Estos resultados explican porque el inicio de deficiencias de vitamina C ocurre de manera frecuente y rápidamente bajo condiciones de laboratorio, pero es raramente observado en sistemas de estanques de cultivo a pesar de tener cantidades limitadas de ácido ascórbico disponible en las dietas suministradas (Lightner, 1983). La deficiencia de vitamina C reduce la actividad de prolil-hidroxilasa y el contenido tisular de hidroxiprolina colágeno en camarones, lo que traduce en una recuperación deficiente de las heridas (Hunter et al., 1979; Lightner et al., 1979). Un suplemento dietario de 0.1% de vitamina C resultó ser efectivo para prevenir los signos de deficiencia observados en *P. californiensis* y *P. stylirostris* (Lightner et al., 1979). Para juveniles de *P. japonicus*, Kitabayashi et al. (1971) reportaron que un nivel de 0.22% de ácido L-ascórbico suplementado en una dieta a base de calamar producía el mejor crecimiento, sin embargo un exceso de ácido ascórbico en la dieta disminuía el crecimiento. Deshimaru y Kuroki (1976) estudiaron los efectos de la vitamina C en juveniles de *P. japonicus* utilizando dietas puras. Estos autores encontraron que la deficiencia en vitamina C dietaria resultaba en una alta mortalidad, pero no reducía el crecimiento. No obstante que al menos 3,000 mg de ácido L-ascórbico/kg de dieta fueron necesarios para evitar la mortalidad, se observó un mejor crecimiento en camarones alimentados con dietas carentes en vitamina C. Guary et al. (1976) reportaron que juveniles de *P. japonicus* exhibían un crecimiento reducido y una frecuencia reducida de mudas al ser alimentados con una dieta deficiente en vitamina C. El ácido ascórbico dietario en concentraciones de 10,000 mg/kg resultó necesario para un crecimiento normal. Se reportó un requerimiento dietario de 10,000 mg de ácido ascórbico/kg de dieta para la sobrevivencia normal de larvas de *P. japonicus* (Kanazawa, 1985b).

El ácido L-ascórbico es una vitamina muy sensible la cual es rápidamente oxidada y destruida en presencia de oxígeno, humedad, elementos traza, altas temperaturas, luz, y lípidos oxidados. Las pérdidas por procesamiento y almacenamiento de ácido ascórbico en alimentos para peces y camarones pueden llegar a ser del orden de 95% para el ácido L-ascórbico (Grant et al., 1989). Sin embargo, la pérdida de vitamina C puede ser reducida cuando se utilizan formas protegidas en las dietas, tales como el ascorbil-2-monofosfato y ascorbil-2-polifosfato (Grant et al., 1989; Tacon, 1991). Los altos requerimientos de vitamina C reportados para el camarón *P. japonicus*, son probablemente debidos a las pérdidas del ácido L-ascórbico durante el procesamiento y la alimentación. Sihgueno e Itoh (1988) reportaron que cuando un vitamero estable, el Mg-ascorbyl-2-fosfato (MAP), fue sustituido por ácido L-ascórbico en dietas para juvenil de *P. japonicus*, se determinó un requerimiento dietario de MAP de 215-430 mg/kg, el cual es equivalente a solo 100-200 mg de ácido L-ascórbico/kg de dieta. He y Lawrence (1993a) utilizaron L-ascorbil-2-polifosfato para evaluar el requerimiento de vitamina C dietaria para *P. vannamei*. Estos autores encontraron que el requerimiento de vitamina C dietaria para camarón era dependiente de la talla. Basados en la sobrevivencia, se estimó un requerimiento dietario mínimo de vitamina C para *P. vannamei* de 120 mg/kg de dieta para camarones con un peso inicial de 0.1 g y de 41 mg/kg de dieta para camarones con un peso inicial de 0.5 g. Un resultado similar fue obtenido en un estudio posterior (Montoya y Molina, 1995; Castille et al., 1996). Chen y Chang (1994) también encontraron que el L-ascorbil-2-polifosfato era una fuente eficiente de vitamina C para *P. monodon*. Se encontró un requerimiento dietario de vitamina C de 209, 220, y 210 mg/kg de dieta basado en la ganancia de peso, contenido de ácido ascórbico en el hepatopáncreas y ácido ascórbico en músculo, respectivamente. Shiau y Hsu (1994) compararon 3 formas de vitamina C en dietas para *P. monodon*. Los resultados de este estudio indicaron que el L-ascorbil-2-monofosfato era una forma más efectiva de vitamina C para el camarón que el ácido L-ascórbico; mientras que el L-ascorbil-2 sulfato representaba solo el 25 % de la eficiencia del L-ascorbil-2-monofosfato. El requerimiento de vitamina C estimado utilizando L-ascorbil-2-monofosfato fue de 40.25 mg/kg de dieta (equivalente a 18.7 mg de ácido ascórbico/kg de dieta). Las diferencias en el requerimiento de vitamina C para *P. monodon* establecidas por estos dos grupos pueden también indicar la dependencia en talla en términos de requerimiento de vitamina C, ya que el requerimiento era mayor (209 mg/kg de dieta vs. 40 mg/kg de dieta) cuando camarones de tallas menores (0.55 g vs. 1.05 g) eran utilizados al inicio del bioensayo nutricional. En un estudio reciente, Reddy y Jones (1995) también encontraron que una suplementación dietaria de L-ascorbil-2-polifosfato de 125 mg/kg de dieta (un nivel mínimo de vitamina C incluido en la dieta) era suficiente para mantener un buen crecimiento y sobrevivencia en *P. monodon*.

VITAMINAS LIPOSOLUBLES

RETINOL(VITAMINAA)

La vitamina A es un nutriente esencial para todas las especies de mamíferos, aves y peces estudiadas y también es requerida por muchas formas de vida menores. Esta vitamina es requerida en la regeneración del componente sensitivo a la luz, la rodopsina, en la retina; el transporte de Calcio a través de las membranas, el crecimiento óseo, la reproducción y el mantenimiento de la integridad de las membranas de las células epiteliales (National Research Council 1983, 1987). A pesar de que la vitamina A es solamente encontrada en animales, ciertos carotenoides de fuentes vegetales, especialmente el b-caroteno, es una pro-vitamina A y puede ser convertido en vitamina A por los animales en la mucosa intestinal e hígado (Linder, 1985). Esta conversión también puede ocurrir en los crustáceos (Fisher, 1960). Poco se conoce sobre la nutrición de vitamina A y los requerimientos de los camarones peneidos. Kanazawa (1985 a) reportó que el b-caroteno mejoraba la sobrevivencia de larvas de *P. japonicus*. He et al. (1992) y He (1993) evaluaron el requerimiento de vitamina A para juveniles de *P. vannamei*. Los resultados de estos estudios indicaron que la suplementación dietaria de vitamina A era necesaria para el crecimiento normal de esta especie. Los camarones alimentados con dietas sin vitamina A resultaron con pesos significativamente menores. El crecimiento del camarón se incrementaba significativamente a medida que se incrementaba la vitamina A en la dieta de 0 a 3,000 UI/kg. Se estimó un requerimiento dietario mínimo de 2,600 UI de vitamina A/kg para juveniles de *P. vannamei* con peso inicial de 0.1g. En un estudio reciente, Chen y Li (1994) encontraron que la suplementación dietaria de vitamina A era importante para el crecimiento y la función visual del camarón *P. chinensis*. Se reportó un nivel dietario óptimo de vitamina A de 180,000 UI/kg de dieta para camarones de 1 g. Los camarones más grandes (7 g) requirieron menos vitamina A en la dieta (120,000 UI/kg de dieta). Ya sea la falta o la sobre-suplementación con vitamina A en la dieta resultaron en un cambio patológico en los tejidos de los ocelli, retina, medula ocular y órgano X.

COLECALCIFEROL (VITAMINA D)

La función biológica de la vitamina D en vertebrados es como precursor de 1,25-dihidroxicolecalciferol (1,25-OH-D₃), una forma activa de tipo hormona de la vitamina D la cual promueve la absorción de Calcio (y también Fósforo) en el intestino, estimula la mineralización de los huesos y la reabsorción de Calcio y Fósforo en el riñón. En conjunto con las hormonas para-hormona y calcitonina, el 1,25-OH-D₃ regula los niveles de Calcio en la sangre y el movimiento de Calcio entre los tejidos. Se ha especulado que la vitamina D también puede estar involucrada en los procesos de mineralización en los crustáceos debido a la naturaleza calcificada de su exoesqueleto (Fisher, 1960). Sin embargo, la formación del 1,25-OH-D₃, la cual es catalizada por enzimas específicas presentes en el hígado y riñón de vertebrados (Hender, 1992), no ha sido reportada en crustáceos. En adición, el camarón y otros crustáceos tienen fácil acceso al Calcio en el agua circundante el cual puede ser absorbido a través de las branquias (Hayes et al, 1962; Deshimaru et al., 1978). Greenaway (1985) revisó el balance de Calcio y la muda en crustáceos e indicó que la hormona de la muda b-ecdisona parecía controlar la reabsorción de Calcio y el almacenamiento de Calcio durante la pre-muda. En adición, la administración de varios péptidos de vertebrados calcio-activos, calcitonina y para-hormona fueron reportados inefectivos en la modificación de las concentraciones de Calcio en el hemolinfa en crustáceos (Arlot-Bonnemains et al., 1986; Cameron, 1987). No obstante que el papel nutricional de la vitamina D en camarones peneidos es poco entendido, la vitamina D parece ser esencial en la dieta para el crecimiento normal y la sobrevivencia del camarón. Kanazawa (1985b) reportó que

la suplementación dietaria de vitamina D era importante para la sobrevivencia de larvas de *P. japonicus*. He et al. (1992) y He (1993) observaron una reducción en el crecimiento y un pobre apetito cuando camarones de la especie *P. vannamei* fueron alimentados con una dieta que no contenía vitamina D. El crecimiento de los camarones fue significativamente mejorado cuando la dieta contenía colecalciferol (D3). La suplementación de 2,000 UI/kg de dieta de vitamina D3 fue suficiente para mantener el crecimiento normal del camarón. *P. monodon* creció pobremente al ser alimentado con dietas deficientes en vitamina D (Shiau y Hwang, 1994). La tasa de eficiencia alimenticia y la actividad de las fosfatasa alcalinas fue también menor en camarones deficientes en vitamina D. El colecalciferol resultó ser más potente que el ergocalciferol. La suplementación óptima de colecalciferol en dietas para *P. monodon* fue estimada en 0.1 mg/kg de dieta.

TOCOFEROL (VITAMINA E)

La actividad de la vitamina E esta presente en un grupo de tocoferoles estrechamente relacionados, que ocurre naturalmente. Entre ellos, el α -tocoferol tiene la mayor actividad de vitamina E. La vitamina E es un antioxidante liposoluble y, como tal, la principal función de la vitamina E es prevenir la peroxidación de ácidos grasos poli-insaturados de fosfolípidos y el colesterol en las membranas celulares. La mayoría de los signos de deficiencia de vitamina E en peces y animales terrestres, como la distrofia muscular nutricional, la degeneración hepática grasa, anemia, diatesis exudativa, hemolisis eritrocítica, hemorragia, y problemas ligados con la fertilidad están relacionadas con el daño oxidativo de las membranas celulares (National Research Council, 1983, 1987). Estudios previos han mostrado que los ácidos grasos poli-insaturados, colesterol y fosfolípidos son nutrientes esenciales para el camarón (Kanazawa, 1985a). La vitamina E, por consiguiente juega un papel significativo en la nutrición del camarón para la protección de ácidos grasos poli-insaturados, colesterol y fosfolípidos en contra de la destrucción oxidativa tanto in vivo como in vitro. Kanazawa (1985b) reportó que la vitamina E en concentraciones de 200 mg/kg de dieta mejoraba la sobrevivencia de larvas de *P. japonicus*. He et al. (1992) observaron un pobre crecimiento y altas mortalidades en juveniles de *P. vannamei* cuando eran alimentados con dietas sin suplemento de acetato de vitamina E. Un estudio posterior (He y Lawrence, 1993b) indico que la vitamina E era un antioxidante eficaz el cual protege los lípidos dietarios de la oxidación cuando esta presente en la dieta. Los camarones alimentados con dietas conteniendo un suplemento de vitamina E mostraron un bajo nivel de reacción de oxidación en las mitocondrias y membranas microsomales de los tejidos del camarón. La estabilidad del músculo abdominal de camarón durante el almacenamiento por congelación fue mejorada por medio de la suplementación dietaria de vitamina E. Se estimó un requerimiento dietario de vitamina E para *P. vannamei* de 99 mg α -tocoferol acetato/kg basado en el crecimiento cuando el nivel dietario de lípidos era de 8%. Se encontró también que el antioxidante sintético BHT era un antioxidante efectivo en la protección de lípidos dietarios de la peroxidación, pero fue menos activo en la protección de los tejidos y tuvo un limitado efecto protector en la peroxidación de los lípidos de membrana. La reducción del crecimiento en camarones alimentados con dietas deficientes en vitamina E puede ser evitada con la adición de BHT a 16 mg/kg de dieta (He y Lawrence, 1993).

MENADIONA (VITAMINA K)

La vitamina K es requerida por los vertebrados para la coagulación normal de la sangre. En vertebrados, la enzima que cataliza la conversión de residuos específicos de glutamilo a residuos γ -carboxiglutamilo en los factores de coagulación plasmáticos es dependiente de la vitamina K (Nelsestuen et al., 1974; Stenflo et al., 1974). Esta reacción de carboxilación es esencial para la formación de la protrombina y otros factores de coagulación. Kanazawa (1985b) reportó severas mortalidades en larvas de *P. japonicus* al ser alimentadas con una dieta carente de vitamina K durante 10 días. Para *P. vannamei*, sin embargo, He et al. (1992) encontraron que la menadiona dietaria no tenía efecto sobre el crecimiento del camarón y su sobrevivencia. En un estudio reciente, Shiao y Liu (1994a) encontraron que *P. chinensis* requería menadiona dietaria para alcanzar un crecimiento normal, así como concentraciones adecuadas de protrombina plasmática. Los camarones alimentados con dietas deficientes en vitamina K (menos de 50 mg/kg de dieta) mostraron una ganancia en peso, una tasa de eficiencia alimenticia y una tasa de eficiencia proteica significativamente menores. Un nivel dietario de 185 mg/kg de dieta fue requerido para mantener el máximo crecimiento del camarón. También ha sido reportado que *P. monodon* requiere de vitamina K dietaria para un crecimiento normal (Shiao y Liu, 1994b). El requerimiento de vitamina K para *P. monodon* fue de 30 - 40 mg de menadiona/kg de dieta. La deficiencia dietaria de vitamina K resultó en un bajo crecimiento y una pobre eficiencia alimenticia. El depósito de calcio se incrementó con el aumento en los niveles dietarios de vitamina K. De manera interesante, la actividad carboxilasa dependiente de la vitamina K y la concentración de precursores proteicos dependientes de la vitamina K disminuyeron al incrementarse el nivel dietario de menadiona, lo cual es contradictorio con la función de la vitamina K en vertebrados. Esto sugiere que la vitamina K puede tener una función única en los crustáceos.

No obstante que actualmente se dispone de una cantidad significativa de información nueva, el conocimiento sobre los requerimientos de vitaminas es aún limitado. Es aparente a partir de las revisiones publicadas en la literatura que los requerimientos vitamínicos dietarios difieren en lo siguiente:

ESPECIES:

Los requerimientos dietarios de vitaminas en los camarones están limitados principalmente a tres especies. *P. monodon*, *P. japonicus* y *P. vannamei*. Esta información indica diferencias significativas en el requerimiento dietario de vitaminas para estas tres especies (Tabla 1). Considerando esto, se podría concluir que existirían diferencias significativas para las 27 especies del género *Penaeus*, y potencialmente aun mayores diferencias para especies de camarones de otros géneros.

TALLA O EDAD:

Existe muy poca información concerniente a los requerimientos dietarios de vitaminas comparados con la edad o talla de los camarones. Un reporte en el cual *P. monodon* y otro en el cual *P. vannamei* fueron utilizados, indican que el requerimiento dietario de vitamina C disminuye significativamente con la edad. A partir de esto, uno puede únicamente suponer cambios en los

requerimientos dietarios para otras vitaminas con la edad.

CONTRIBUCION DE LA PRODUCTIVIDAD NATURAL AL REQUERIMIENTO DIETARIO DE VITAMINAS:

La importancia y contribución de la productividad natural al requerimiento nutricional de los camarones es muy significativo (Lawrence y Lee, 1996). Los siguientes datos indican absolutamente que la productividad natural es una fuente de vitaminas para los camarones: (1) El acceso a algas por camarones restablece rápidamente los niveles tisulares de vitamina C para *P. californiensis* y *P. stylirostris* en estudios de laboratorio en ausencia de vitamina C dietaria; (2) uno de los autores (Lawrence) ha formulado dietas comerciales para la producción de camarones de menos de 1,000 kg/ha en estanques de tierra en Ecuador sin suplementación de vitaminas y no se han registrado reducciones en el crecimiento o sobrevivencia; y (3) en contraste con la mortalidad reportada de más del 50% en ensayos de laboratorio en ausencia de productividad natural y sin vitamina C dietaria en un periodo de tres semanas, más de 6 toneladas métricas/ha/cosecha con una sobrevivencia mayor al 80% y dos g/semana de crecimiento han sido obtenidos para *P. vannamei* cultivados en estanques de tierra (Robertson y Lawrence, información no publicada).

LIXIVIACION DE LAS VITAMINAS DEL ALIMENTO:

Otro factor para el cual existe muy poca información es el nivel de vitaminas que se lixivian de las dietas antes de ser consumidas. Esta es una consideración de mayor importancia para el camarón que para los peces ya que los primeros comen trozos de alimento derivados de los pellets en vez de consumir el pellet completamente y además lo hacen lentamente. Adicionalmente, debido al hecho de que los camarones en los estanques sean alimentados de 1 a 4 veces por día, importantes cantidades de vitaminas pueden ser pérdidas del alimento antes de ser consumido.

En resumen, actualmente lo mejor que se puede hacer es extrapolar los resultados de los estudios de requerimientos de vitaminas obtenidos en laboratorio y tomar en consideración las diferencias potenciales entre las especies, diferencias en tallas, la contribución de la productividad natural y la pérdida de vitaminas por lixiviación para estimar una premezcla vitamínica apropiada. La suplementación de vitaminas en las dietas prácticas para camarón es aún un trabajo de adivinanza y esta sujeto a consideraciones económicas. De aquí que las premezclas vitamínicas previamente recomendadas para ser utilizadas en alimentos de camarón varíen de manera importante (Tabla 2). Por lo cual, la determinación de los requerimientos dietarios de vitaminas suplementadas bajo condiciones de producción comercial es una prioridad para la investigación futura, ya que esta información será crítica para desarrollar dietas económicas, amigables con el ambiente y nutricionalmente eficientes para los camarones.

LITERATURA CITADA

Akiyama, D.M., Dominy, W.G. and Lawrence, A.L., 1991. Penaeid shrimp nutrition for the commercial feed industry: Revised. In: D.M. Akiyama and R.K.H. Tan (Editors), Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop. American Soybean Association, Singapore, pp.80-98.

- Arlot-Bonnemains, Y., Van-Wormboudt, A., Favrel, P., Fouchereau-Peron, M., Milhaud, G. and Moukhtar, M.S., 1986. Calcitonin-like peptide in the shrimp, *Palaemon serratus* (Crustacea, Decapoda) during the intermoult cycle. *Experientia*, 42:419-420.
- Bender, D.A., 1992. *Nutritional Biochemistry of the Vitamins*. Cambridge Press, Cambridge, 431 pp.
- Cameron, J.N., 1987. Triggering of calcification after moult in the blue crab. *Am. Zool.*, 27:69a (Abstr.).
- Castille, F.L., Lawrence, A.L., Seib, P.A., and Wang, X.Y. 1966. Effect of ascorbyl-2-polyphosphate on survival, growth, and tissue ascorbic acid in the shrimp, *Penaeus vannamei*. Page 65 In *Proceedings of the 1966 World Aquaculture Society Meeting*, Bangkok, Thailand, February, 1966 (Abstr.).
- Catacutan, M.R. and de la Cruz, M., 1989. Growth and mid-gut cells profile of *Penaeus monodon* juvenile fed water-soluble-vitamin deficient diets. *Aquaculture*, 81:137-144.
- Catacutan, M.R. and Lavilla-Pitogo, C.R., 1994. L-ascorbyl-2-phosphate Mg as a source of vitamin C for juvenile *Penaeus monodon*. *Israeli J. Aquacult.*, 46:40-47.
- Chen, H.Y., 1993. Recent advances in nutrition of *Penaeus monodon*. *J. World Aquacult. Soc.*, 24:231-240.
- Chen, H.Y. and Chang, C.F., 1994. Quantification of vitamin C requirements for juvenile shrimp (*Penaeus monodon*) using polyphosphorylated L-ascorbic acid. *J. Nutr.*, 124:2033-2038.
- Chen, H.Y. and Hwang, G., 1992. Estimation of the dietary riboflavin required to maximize tissue riboflavin concentration in juvenile shrimp (*Penaeus monodon*). *J. Nutr.*, 122:2474-2478.
- Chen, H.Y. and Jenn, J.S., 1991. Combined effects of dietary phosphatidylcholine and cholesterol on the growth, survival, and body lipids composition of marine shrimp, *Penaeus penicillatus*. *Aquaculture*, 96:167-178.
- Chen, S.Q. and Li, A.J., 1994. Investigation of nutrition of vitamin A for shrimp *Penaeus chinensis*: I. Effects of vitamin A on shrimp's growth and visual organ. *Acta Zoologica Science* 40:266-273.
- Chen, H.Y., Wu, F.C. and Tang, S.Y., 1991. Thiamin requirement of juvenile shrimp (*Penaeus monodon*). *J. Nutr.*, 121:1984-1989.
- Chung, J.L., 1990. Nutrient requirements, feeding, and culturing practices of *Penaeus monodon*: A review. In: *The Nutrition of Prawns*. F. Hoffman-La Roche Ltd. Basel, 62 pp.

- D'Abramo, L.R., Moncreiff, C.A., Holcomb, F.P., Montanez, J.L. and Buddington, R.K., 1994. Vitamin C requirement of the juvenile freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, 128:269-275.
- Deshimaru, O. and Kuroki, K., 1976. Studies on a purified diet for prawn - VII. Adequate dietary levels of ascorbic acid and inositol. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 42:571-576.
- Deshimaru, O. and Kuroki, K., 1979. Requirement of prawn for dietary thiamine, pyridoxine, and choline chloride. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 45:363-367.
- Deshimaru, O., Kuroki, K., Sakamoto, S. and Yone, Y., 1978. Absorption of labelled calcium-45Ca by prawn from sea water. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 44:975-977.
- Fisher, L.R., 1960. Vitamins. In: Y.H. Waterman (Editor), *Physiology of Crustacean*, Volume I. Academic Press, New York, NY, pp. 259-289.
- Grant, B.F., Seib, P.A., Liao, M. and Corpron, K.E., 1989. Polyphosphorylated L-ascorbic acid: a stable form of vitamin C for aquaculture feeds. *J. World Aquacult. Soc.*, 20:143-157.
- Greenaway, P., 1985. Calcium balance and moulting in the Crustacean. *Biol. Rev.*, 60:425-454.
- Guary, M., Kanazawa, A., Tanaka, N. and Ceccaldi, H.L., 1976. Nutritional requirements of prawn - VI. Requirement for ascorbic acid. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, 25:53-57.
- Hayes, D.K., Singer, L. and Armstrong, W.D., 1962. Calcium hemostatic mechanisms and uptake of radioisotopes in the lobster. *Am. J. Physiol.*, 202:383-386.
- He, H., Lawrence, A.L., and Liu, R.Y., 1992. Evaluation of dietary essentiality of fat-soluble vitamins A, D, E, and K for penaeid shrimp, *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 103:177-185.
- He, H., 1993. Evaluation of dietary vitamin requirements of the white-leg shrimp, *Penaeus vannamei*. Ph. D. Dissertation, Texas A&M University, College Station, TX 77843.
- He, H. and Lawrence A.L., 1993a. Vitamin C requirements of *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 114:305-316.
- He, H. and Lawrence A.L., 1993b. Vitamin E requirement of *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 118:245- 255.
- Hunter, B., Magarelli, P.C., Jr., Lightner, D.V. and Colvin, L.B., 1979. Ascorbic acid-dependent collagen formation in penaeid shrimp. *Comp. Biochem. Physiol.*, 64B:381-385.
- Kanazawa, A., 1985a. Nutrition of penaeid prawn and shrimp. In: Y. Taki, L.H. Primavera and

- J.A. Lobrera (Editors), Proceedings of the First International Conference on Culture of Penaeid Prawn/Shrimps. Aquacult. Dept. Southeast Asian Fish. Dev. Center, Iloilo, Philippines, pp. 123- 130.
- Kanazawa, A., 1985b. Prawn nutrition and microparticulated feeds. In: Prawn Feeds. American Soybean Association, Taipei, Taiwan, pp. 1-51.
- Kanazawa, A., Teshima, S. and Tanaka, N., 1976. Nutritional requirements of prawn. V. Requirements for choline and inositol. Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ., 25:47-51.
- Kitabayashi, K., Shudo, K., Nakamura, K. and Ishikawa, S., 1971. Studies on formula feed for Kuruma prawn II. On the utilization values of glucose. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 65:109-118.
- Kitayama, T., Hirata, K. and Chichester, C. O., 1971. The biosynthesis of astaxanthin - IV: The carotenoids in the prawn, *Penaeus japonicus* (Part I). Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 37:614-620.
- Lawrence, A.L. and Lee, P.G. 1996. Future directions in the americas, In D'Abramo, D. Conklin and D. Akiyama, editors. Crustacean Nutrition, World Aquaculture Society, Baton Rouge, La. (in press).
- Lightner, D.V. 1977. Black death disease of shrimps. In: C. J. Sindermann (Editor), Shrimp Diseases: Disease Diagnosis and Control in North American Marine Aquaculture. Elsevier Sci. Publ. Company, New York, NY, pp 65-68.
- Lightner, D. V., 1983. Diseases of cultured penaeid shrimp. In: J. P. McVey (Editor), CRC Handbook of Mariculture. Vol. I. Crustacean Aquaculture. CRC Press, Boca Roton, FL, pp. 289-320.
- Lightner, D.V., Colvin, L.B., Brand, C. and Danald, D.A., 1977. Black death, a disease syndrome of penaeid shrimp related to a dietary deficiency of ascorbic acid. Proc. World Maricult. Soc., 8:611-623.
- Lightner, D. V., Hunter, B., Magarelli, P.C., Jr. and Colvin, L.B., 1979. Ascorbic acid: Nutritional requirement and role in wound repair in penaeid shrimp. Proc. World Maricult. Soc., 10:513- 528.
- Lim, C. And Akiyama, D.M., 1995. Nutrient requirements of penaeid shrimp. Lim, C. And D.J. Sessa (Ed.), Nutrition and Utilization technology in aquaculture. AOCS Press, Champaign, Illinois, USA, pp294.
- Linder, M.C., 1985. Nutrition and metabolism of vitamins. In: M.C. Linder (Editor), Nutritional Biochemistry and Metabolism. Elsevier Sci. Publ. Company, Amsterdam, pp. 69-131.

- Magarelli, P.C., Jr. and Colvin, L.B., 1978. Depletion/repletion dynamics of ascorbic acid in two species of penaeid: *Penaeus californiensis* and *Penaeus stylirostris*. Proc. World Aquacult. Soc., 9:935-241.
- Magarelli, P.C., Jr., Hunter, B., Lightner, D.V. and Colvin, L.B., 1979. Black death: An ascorbic acid deficiency disease in penaeid shrimp. Comp. Biochem. Physiol., 63A:103-108.
- Montoya, N. and Molina, C., 1995. Optimum supplemental level of L-ascorbyl-2-phosphate-Mg to diet for white shrimp *Penaeus vannamei*. Fish. Sci. (Tokyo), 61: 1045-1046.
- Reddy, H.R.V. and Jones, D.A., 1995. Evaluation of L-ascorbyl-2-polyphosphate (APP) as a dietary vitamin C source for *Penaeus monodon*. Indian J Exp. Biol., 33:155-157.
- National Research Council, 1983. Nutrient Requirements of Domestic Animals, Nutrient Requirements of Warmwater Fishes and Shellfishes. National Academic Press, Washington, DC, 102 pp.
- National Research Council, 1987. Vitamin Tolerance of Animals. National Academic Press, Washington, DC, 96 pp.
- Nelsestuen, G. L., Zytkevich, T. H. and Howard, J. B., 1974. The mode of action of vitamin K. Identification of t-carboxyglutamic acid as a component of prothrombin. J. Biol. Chem., 249:6347
- New, M. B., 1976. A review of dietary studies with shrimp and prawns. Aquaculture, 9:101-144.
- Sedgwick, R.W., 1980. The requirements of *Penaeus merguensis* for vitamin and mineral supplements in diets based on freeze-dried *Mytilus edulis* meal. Aquaculture, 19:127-137.
- Shiau, S.Y. and Hsu, T.S., 1994. Vitamin C requirement of grass shrimp, *Penaeus monodon*, as determined with L-ascorbyl-2-monophosphate. Aquaculture, 122:347-357.
- Shiau, S.Y. and Hwang, J.Y., 1994. The dietary requirement of juvenile grass shrimp (*Penaeus monodon*) for vitamin D. J. Nutr., 124:2445-2450.
- Shiau, S.Y. and Liu, J.S., 1994a. Estimation of the dietary vitamin K requirement of juvenile *Penaeus chinensis* using menadione. Aquaculture, 126:129-135.
- Shiau, S.Y. and Liu, J.S., 1994b. Quantifying the vitamin K requirement of juvenile marine shrimp (*Penaeus monodon*) with menadione. J Nutr., 124:277-282.
- Shiau, S.Y. and Lung, C.Q., 1993. Estimation of the vitamin B12 requirement of the grass

shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 117:157-163.

Shigueno, K. and Itoh, S., 1988. Use of Mg-L-ascorbyl-2-phosphate as a vitamin C source in shrimp diets. *J. World Aquacult. Soc.*, 19:168-174.

Stenflo, J., Fernland, P., Egan, W. and Roepstoff, P., 1974. Vitamin K dependent modifications of glutamic acid residues in prothrombin. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 71:2730.

Tacon, A.G.J., 1991. Vitamin nutrition in shrimp and fish. In: D.M. Akiyama and R.K.H. Tan (Editors), *Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop*. American Soybean Association, Singapore, pp.10-41.

a 1. Requerimientos de vitaminas para camarones penidos

Requerimiento mg/kg de dieta)	Signos de Deficiencia	REFERENCIA
50-120	Crecimiento reducido, contenido reducido de vitamina tisular	Deshimaru y Kuroki (1979)
40	Mortalidad	Kanazawa (1985b)
—	Reducción de células B en el hepatopáncreas	Cotacutan y De la Cruz (1989)
14	Reducción en el crecimiento y sobrevivencia, baja conversión a imetiticia	Chen et al. (1991)
25	Reducido crecimiento	He (1993)
80	Mortalidad	Kanazawa (1985b)
—	Células B del hepatopáncreas anormales	Catascuzar y De la Cruz (1989)
21.3	Reducción del contenido tisular de riboflavina, coloración pálida, irritabilidad, entaca protruberante en los intestinos, ematismo cefalotórax.	Chen y Hwang (1992)
38	Reducción del crecimiento	Ete (1993)
120	Reducción del crecimiento y baja sobrevivencia	Deshimaru y Kuroki (1979)
120	Mortalidad	Kanazawa (1983b)
—	Daño a las células epiteliales	Cotacutan y De la Cruz (1989)
80	Reducción del crecimiento; baja actividad de la alanina y aspartato aminotransferasa musculares	He (1993)

(Continúa Tabla 1)

Requerimiento (mg/kg de dieta)	Signos de Deficiencia	REFERENCIA
—	Mortalidad	Kamazawa (1985b)
—	Células R del hepatopancreas anormales	Catancin y De la Cruz (1989)
20	Reducción del crecimiento	He (1993)
—	Mortalidad	Kamazawa (1985b)
—	Células epiteliales del hepatopancreas anormales	Catancin y De la Cruz (1989)
0.2	Reducción del crecimiento	Shimizu y Lang (1993)
600	Reducción del crecimiento y baja sobrevivencia	Kamazawa et al. (1976)
6,000	Mortalidad	Kamazawa (1985b)
—	Daño en las células epiteliales del hepatopancreas	Catancin y De la Cruz (1989)
1,200	Reducción del crecimiento	He (1993)
2,000	Reducción del crecimiento y sobrevivencia	Kamazawa et al. (1976)
4,000	Reducción del crecimiento y sobrevivencia	Doshimaru y Kuroki (1976)
2,000	Mortalidad	Kamazawa (1985b)
—	Daño a las células epiteliales del hepatopancreas	Catancin y De la Cruz (1989)
No requerida		He (1993)
—	Síndrome de la "Muerte Negra", reducción de colágeno larvar, deficiencia en la recuperación de las heridas	Lighner et al. (1979) &
10000 ¹	Reducción del crecimiento y muérdos	Hunter et al. (1979)
10000 ²	Mortalidad	Gomy et al. (1976)
31.4 x 10 ³	Mortalidad, síndrome de "Muerte Negra"	Kamazawa (1985b)
		Shimizu y Iishi (1988)

(Continúa Tabla I)

Requisito mg/kg de dieta	Signos de Deficiencia	REFERENCIA
2600 U1 140000 U1	Reducción del crecimiento Oscil. netra y organo X anormales	He <i>et al.</i> (1992) & He (1993) Chen y Li (1994)
—	Baja sobrevivencia	Kamazawa (1985b)
2000 U1	Reducción del crecimiento y pobre aprito	He <i>et al.</i> (1992) & He (1993)
0.1	Reducción del crecimiento	Shiao y Hwang (1994)
200	Pobre sobrevivencia	Kamazawa (1985b)
99	Reducción del crecimiento y la sobrevivencia, elevada oxidación en los tejidos	He <i>et al.</i> (1992)
—	Mortalidad	Kamazawa (1985b)
no registrada	Reducción en el crecimiento y bajas niveles de proteína plasmática; Pobre alimentación y bajas tasas de eficiencia proteica	He <i>et al.</i> (1992)
185	Pobre crecimiento y eficiencia alimenticia	Shiao y Liu (1994a)
30-40	Pobre crecimiento y eficiencia alimenticia	Shiao y Liu (1994b)

U1=1,2-fosfato; ³ L-ascorbi-2-pirifosfato; ⁴ L-ascorbi-2-monofosfato.

Tabla 2. Premezclas vitamínicas recomendadas para dietas comerciales para camarón1.

Vitamina	Premezcla A ²	Premezcla B ³	Premezcla C ⁴	Premezcla D ⁵
Tiamina	50	66	30-60	120
Riboflavina	40	66	20-40	40
Piridoxina	50	66	50-100	120
Acido Pantoténico	75	220	100-200	100
Acido Nicotínico	200	330	150-250	150
Biotina	1	0.54	0.8-1.5	1
Acido Fólico	10	12	10-15	5
Vitamina B12	0.1	0.08 4	0.02-0.05	0.02
Colina	400	2,400	400-600	1,200
Inositol	300	1,500	400-600	4,000
Vitamina C	1,000 ⁵	1,500 ⁶	2,000-3,000 ⁷	5,000 ⁸
Vitamina A (UI)	10,000	8,000	4,000-10,000	5,000
Vitamina D3 (UI)	5,000	2,400	1,000-2,000	1,000
Vitamina E	300	240	100-200	200
Vitamina K	5	10	40-100	40

¹Los valores son en mg/kg de dieta excepto para la vitamina A y D³

²Akiyama, et al., 1991

³Tacon, 1991.

⁴Hoffman-La Roche premezcla vitamínica (Tacon, 1991)

⁵Kanazawa, 1985b.

⁶Como ácido ascórbico protegido o 100 mg/kg de dieta como derivado estable de ácido ascórbico.

⁷Como ácido ascórbico protegido.

⁸Como ascorbato de sodio.

REVISION DE LOS EFECTOS DE FOSFOLIPIDOS DIETARIOS EN DIETAS PARA ACUICULTURA

*Peter Coutteau, Inge Geurden, E. Kontara, Marco Rogerio Camara,
y Patrick Sorgeloos*

**Laboratory of Aquaculture & Artemia Reference Center,
Rozier 44, B-9000 Gent, Belgium**

***Dirección actual: Empresa de Pesquisa Agropecuaria do
Rio Grande do Norte (Emparn),
Caixa Postal 188, 59000 Natal, RN, Brazil
Tel. 32-9-2643754
Fax. +32-9-2644193
E-mail: peter.coutteau@rug.ac.be**

Traducción Ana C. Puello Cruz, Ravider Sangha y L. Elizabeth Cruz S.

Abreviaturas empleadas:

CDP: Colina citidine-5'-difosfato; DHA: ácido docosahexaenoico (22:6n-3); EFA: ácidos grasos esenciales; EL: lecitina de huevo de gallina; EPA: ácido eicosapentaenoico (20:5n-3); EPC: Fosfatidilcolina de huevo de gallina; FS: esteroles libres; HUFA: ácidos grasos altamente insaturados; NL: lípidos neutros; LPC: 1-acil liso fosfatidilcolina; PC: fosfatidilcolina; PE: fosfatidiletanolamina; PI: fosfatidilinositol; PL: fosfolípidos; POL: lípidos polares; PS: fosfatidilserina; PUFA: ácidos grasos poliinsaturados; SE: ésteres de esteroles; SL: lecitina de soya; SM: esfingomielina; SPC: fosfatidilcolina de soya; SPE: fosfatidiletanolamina de soya; SPI: fosfatidilinositol de soya

Nota

A pesar del hecho de que el término “lecitina” es un nombre trivial para “fosfatidilcolina”, la lecitina se define, en el sector alimenticio, como la mezcla de lípidos polares y neutros, con un contenido de lípidos polares de al menos 60% (Hertrampf, 1992). En este manuscrito, la última definición de “lecitina” (ej. EL, SL) fue la seleccionada mientras que el término: “fosfatidilcolina” se usó para el PL específico conteniendo colina como grupo principal (ej. SPC,EPC)

RESUMEN

Se ha demostrado un efecto benéfico, en términos de sobrevivencia, crecimiento, resistencia al estrés y deformidades en larvas y juveniles de diversas especies de peces y crustáceos, con la suplementación de fosfolípidos en dietas en dietas purificadas. La determinación exacta de los requerimientos de PL en larvas, es complicada dado a la dificultad de bioencapsular PL en presas vivas. Aunado, a la gran variabilidad en la purificación y composición de las fuentes de PL, y las condiciones experimentales (tales como formulación de la dieta y el grado de alimentar con dietas vivas) que hace difícil la comparación de requerimientos determinados con dietas artificiales. Los estadios larvales son extremadamente sensibles a dietas deficiencias dietarias de PL y requieren niveles mas altos de PL dietarios que los juveniles. Para la mayoría de las especies de peces y camarones examinados los requerimientos estimados de PL en larvas están en el rango de 1-3% de fosfatidilcolina + fosfatidilinositol (PC+PI) del peso seco de dietas. La ausencia de un requerimiento de PL en el camarón de agua dulce *Macrobrachium rosenbergii* ejemplifica la importancia de las diferencias entre especies. Los pocos estudios evaluando PL individuales demuestran que PC y PI son las mas eficientes en la mayoría de las especies. La presencia de un ácido graso insaturado en la posición sn-2 de la molécula de PL parece ser esencial para la funcionalidad de PL. Pocos estudios han sido publicados sobre los efectos de la suplementación de PL en dietas prácticas formuladas y/o bajo condiciones experimentales prácticas. Algunos estudios en crustáceos reportan la relación entre los requerimientos de PL y las fuentes de proteína en la dieta. Varias hipótesis han sido formuladas para explicar los efectos de los PL. El efecto de los de PL no está relacionado al suministro de colina, inositol o ácidos grasos esenciales (EFA). Sin embargo, los PL pueden ser superiores a los lípidos neutros para larvas como una fuente de EFA y de energía, debido a su mejor digestibilidad. Los PL pueden mejorar el desempeño de la dieta, mejorando la estabilidad en agua de las partículas alimenticias, o por su acción como antioxidante o atrayente en el alimento. El efecto de PL en la dieta no parece explicarse debido a su habilidad para emulsificar. Sin embargo, existen evidencias que los PL dietarios interfieren en el transporte de lípidos, especialmente el transporte de colesterol en crustáceos, y en la retención de ácidos grasos provenientes de los ácidos grasos neutros dietarios. Aunque, el origen de los requerimientos es incierto, la suplementación de PL dietarios tiene importancia potencial para la formulación de dietas practicas para acuicultura.

Palabras clave: fosfolípidos, lecitina, peces, crustáceos, larvas, juveniles

INTRODUCCIÓN

Con la inclusión de fosfolípidos en las dietas fueron reportados en los últimos años de los setenta efectos benéficos en cultivos de langostas (Conklin et al., 1977) y larvas de peces y camarones (Kanazawa et al., 1979; 1981). Estos hallazgos fueron sorprendentes ya que la síntesis de novo de fosfolípidos había sido demostrada en varias especies de peces, que generalmente se creía que seguían la misma ruta de esterificación de los mamíferos (Henderson y Tocher, 1987; Sargent et al., 1993), así como en crustáceos (Shieh, 1969; Chapelle et al., 1985; Teshima et al., 1986c; Kanazawa y Koshio, 1994).

A pesar de los substanciales esfuerzos en las investigaciones motivadas por esta aparente

discrepancia, los mecanismos de los requerimientos de PL no están completamente entendidos. Este artículo revisa la evidencia experimental de los requerimientos de PL y las diversas hipótesis formuladas concernientes a su papel en la nutrición de larvas y estadios juveniles.

1. REQUERIMIENTOS DE FOSFOLÍPIDOS

1.1 PARTICULARIDADES Y RESTRICCIONES EN EL ESTUDIO DE LOS REQUERIMIENTOS DE PLEN LARVAS

Debido a la limitada aceptación de dietas artificiales en los primeros estadios de alimentación en muchas especies de larvas de peces y camarones, la mayoría de los estudios para determinar los requerimientos nutricionales en larvas para ácidos grasos esenciales y vitaminas han sido llevados a cabo usando técnicas de enriquecimiento para manipular la composición de alimentos vivos, por ejemplo rotíferos (*Brachionus plicatilis*: Rainuzzo et al., 1994a) y *Artemia* sp.: Leger et al., 1986; Sorgeloos et al., 1995). Los primeros estudios en requerimientos de fosfolípidos de larvas tratando de bio-encapsular PL en *Artemia* no tuvieron éxito dado a la naturaleza conservativa general de la composición de la clase de lípidos polares en organismos vivos (Tackaert et al., 1991). Rainuzzo et al., (1994b) confirmaron recientemente que sólo existe un pequeño cambio en la composición de la clase de lípidos en *Artemia* y rotíferos enriquecidos con una emulsión de huevo de Halibut o etil esterres (con 71.2% y 0.8% de PL, respectivamente). Aunque no sea posible obtener alimento vivo conteniendo diferentes niveles de fosfolípidos aptos para estudios nutricionales, deben de ser realizados más estudios para evaluar el efecto de modificaciones menores en la composición de clases de lípidos, tales como la relación PC/PE en *Artemia* (Rainuzzo et al., 1994b) en su valor nutricional.

El uso exclusivo de alimentos artificiales para animales que empiezan a alimentarse está restringido a solo pocas especies, por ejemplo el pez *Carrassius auratus* (Szlaminska et al., 1993) y carpa común *Cyprinus carpio* (Radunz-Neto et al., 1994; Geurden et al., 1995c) las cuales aceptan fácilmente una dieta semipura al momento de la apertura de la boca. En contraste, la mayoría de los estudios han sido realizados con larvas y juveniles inicialmente alimentados con alimento vivo, el cual es relativamente rico en PL (Teshima et al., 1987). El periodo con alimentio vivo varia de una corta prealimentación con microalgas (por ejemplo: alimentar con diatomeas hasta zoea I/II en larva de *Penaeus japonicus*; (Kanazawa et al., 1985a) o rotíferos (por ejemplo. hasta 10 días después de eclosionar en larvas de ayu *Plecoglossus altivelis*; (Kanazawa et al., 1981), hasta un cultivo larval completo con dietas vivas y en consecutivo acondicionamiento con dietas experimentales. (Cabrilla Europea *Dicentrarchus labrax*: Geurden et al., 1995b, 1997; *Penaeus* sp.: Camara et al., 1996; Coutteau et al., 1996; langosta *Homarus americanus*: Conklin et al., 1980).

Otra dificultad es la falta de estandarización en la composición de fuentes de PL experimentales, las cuales difieren en su contenido de lípidos neutros (ej: <<1% de lípidos totales en SL desgrasada vs 46.5% en la SL cruda) así como la proporción de diferentes clases de PL (ej. 23% PC contra 42.1% PC en dos tipos de SL desgrasada) (datos reportados por

Cámara et al. (1996) y Kanazawa (1993), respectivamente). Además, la variación de los niveles de fosfolípidos dietéticos ha sido compensada usando celulosa (ej. Kanazawa et al. 1983b; Hilton et al., 1984; Teshima et al., 1986a) o lípidos neutros (Kean et al., 1985; Camara et al., 1996; Geurden et al., 1995c; Coutteau et al., 1996). Los últimos resultados en dietas isolípidicas, han sido preferidos en la mayoría de los estudios recientes. Además de ser isolípidicas, las dietas diseñadas para comparar el valor nutricional de diferentes fuentes de PL han sido formuladas para contener niveles similares de fosfolípidos (Kanazawa et al., 1981; Geurden et al., 1995abc), PC+PI (Kanazawa, 1993) o PC (Camara et al., 1996; Coutteau et al., 1996).

1.2 INFLUENCIA DE ESTADIOS Y ESPECIES

La Tabla 1 resume los niveles de PL óptimos reportados para diversas larvas y juveniles de peces y crustáceos y las condiciones experimentales relevantes. El criterio usado para evaluar el valor nutricional de PL consiste principalmente en el crecimiento y sobrevivencia, algunas veces complementadas con anomalías de esqueleto, sensibilidad al estrés, composición corporal o análisis de lípidos en animales. Los estadios larvales son muy sensibles a deficiencias de PL. Los estadios de Zoea I/II de *P. japonicus* sufren 100% de mortalidades antes de lograr el estadio mysis cuando el alimento es deficiente en PL (Kanazawa et al., 1985a; Figura 1). Para las primeras etapas de alimentación de la larva de carpa la suplementación de 2% de PL a la dieta mejoró notoriamente tanto la sobrevivencia como el peso final (por un factor 2.0-2.5) en comparación con carpas alimentadas con dietas sin PL (Radünz-Neto et al., 1994; Geurden et al., 1995ac). Similares efectos drásticos en sobrevivencia fueron mostrados el larvas de peces (goldfish) (Szlaminska et al., 1993) y red seabream (Kanazawa et al., 1983a). La sobrevivencia de peces juveniles aparentemente se ve menos afectada con suplementación de PL en la dieta que la sobrevivencia de larvas de rockbreem *Oplegnathus fasciatus* (Kanazawa, 1993) y cabrilla (Geurden et al., 1995b). Además de sus efectos en sobrevivencia y crecimiento, se descubrió que los PL dietarios influyen en la ocurrencia de anomalías en el esqueleto y sensibilidad al estrés. Kanazawa et al. (1981, 1983b) indicaron que las larvas de ayu pueden requerir fosfolípidos en las dietas para prevenir la incidencia de malformaciones especialmente escoliosis y deformidades de la mandíbula. También, las carpas en primeros estadios de alimentación alimentadas con dietas deficientes de PL o enriquecidas con PC presentaron una mayor incidencia de deformidades espinales que larvas alimentadas con dietas ricas con PI (Geurden et al., 1995a). El índice de vitalidad en larvas de rockbreem alimentadas con 5% SL fue tres veces mayor comparado con un grupo alimentado con dietas sin PL (Kanazawa, 1993). Las postlarvas de *P. japonicus* alimentadas con dietas suplementadas con PC presentaron una mayor resistencia a estrés salino que los animales alimentados sin PL (Camara et al., 1996). El efecto de PC sobre la sensibilidad al estrés no ha podido ser confirmado para *P. vannamei* sugiriendo que este criterio no es correcto para evaluar el estado nutricional de especies eurohalinas (Coutteau et al., 1996).

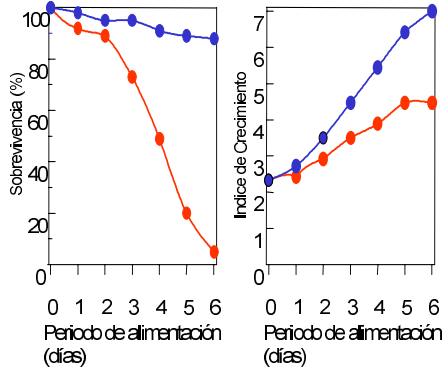


Figura 1. Crecimiento y supervivencia de larvas de camarón de (*P. japonicus*) alimentadas con dietas conteniendo 0% (O) o 3.5% de lecitina de soja (de Kanazawa et al., 1985a)

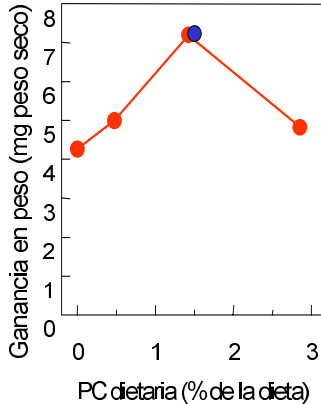


Figura 2. Crecimiento de postlarvas de camarón (*P. vannamei*) en función del nivel de PC dietario, presentada como PC de soja pura (95% PC,) o lecitina de soja delipidada (23% PC,). Los datos representan la ganancia en peso seco después de 41 días de cultivo a partir de un peso inicial de 3 mg (de Coutteau et al., 1996).

Los requerimientos de PL generalmente disminuyen con la edad o el estado de desarrollo, como es mostrado por rockbream cuyos requerimientos disminuyen de 5% a 3% de lecitina de soya (equivalente a 1.6%-1.0% PC+PI) de larva a juvenil (Kanazawa, 1993).

Existe cierta confusión en si los niveles excesivos de fosfolípidos dietéticos pueden ser perjudiciales en peces y crustáceos. Aumentando los niveles de PL arriba de los requeridos no se afectó la sobrevivencia ni el crecimiento en varios estudios (Conklin et al., 1980; Kanazawa, 1993; Geurden et al., 1995c). Sin embargo, la sobrevivencia en larvas de *P. japonicus* disminuyó cuando se suplementó más de 3% de lecitina de soya en la dieta (Teshima et al., 1986e) y Coutteau et al. (1996; Figura 2) encontraron menor crecimiento en postlarvas de *P. vannamei* alimentadas con 3% de PC pura en comparación con camarones alimentados con 1.5%.

A partir de la Tabla 1 es claro que los requerimientos de PL difieren grandemente entre especies. Por ejemplo, en juveniles de diferentes camarones peneidos los requerimientos en la mayoría, están entre 1.2 a 1.5% de PL activo (PI+PC) (Tabla 1: Chen y Jenn, 1991; Chen, 1993; Kanazawa, 1993; Camara et al., 1996; Coutteau et al., 1996). Para juveniles de hirame (*Paralichthys olivaceus*) y rockbream estos niveles están entre 2.2% y 1% PC+PI, respectivamente (Kanazawa, 1993). En contraste, para los langostinos de agua dulce (*Macrobrachium rosenbergii*) no se encontró un efecto significativo de la suplementación de lecitina dietética en crecimiento o sobrevivencia (Hilton et al., 1984; Briggs et al., 1988; Kanazawa, 1993).

1.3 INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN DE LAS CLASES DE LÍPIDOS EN FUENTES DE PL

La lecitina de soya desgrasada típica contiene 84% de PL, incluyendo 22% PC, 23% PE, 20% PI y 2% PS (Hertrampf, 1992). Sin embargo, una gran variedad de fuentes de PL se han venido usando en estudios nutricionales (ver 1.1) y solo pocos investigadores han determinado los requerimientos de PL usando fuentes altamente puras de PL, tales como 80% (Chen y Jenn, 1991; Chen, 1993) incluso hasta 95% de PC pura (Takeuchi et al., 1992; Camara et al. 1996; Coutteau et al., 1996). Los pocos estudios evaluando fracciones puras de PL sugieren que PC y PI son las principales fracciones de la lecitina promotoras del crecimiento. Comparando varias fracciones de PL derivadas de huevo de bonito, Kanazawa et al. (1985b) encontraron que PC (pureza: 42% del total de PL) o PC más PI (52%+40% de PL) daban buenas tasas de crecimiento y sobrevivencia en larvas de ayu, mientras que PE (63% de PL) fue menos efectiva. Como suplemento dietario 1%, de aceite de hígado de pollack (7% de dieta), el PI de soya y la PC de soya fueron más efectivas para mejorar el crecimiento y sobrevivencia de larvas de *P. japonicus* que la PS de cerebro de bovino, la PE de huevo de bonito y el PE en cerebro de bovino, mientras que la dieta suplementada con SM de cerebro de bovino no dio un resultado mejor que la dieta deficiente en PL (Kanazawa et al., 1985a). En estudios similares, la PE de soya (95% PE del total de PL) fue encontrado inferior que la PI de la soya (60% de PL) y la PC (68% de PL) para mejorar la sobrevivencia de larvas de *P. japonicus* (Teshima et al., 1986e). Sin embargo, la importancia relativa de PC y PI no es necesariamente la misma para diferentes especies. El componente activo de la lecitina para nutrición en langostas fue identificado como la fosfatidilcolina

dado que ni la PE de ovino y ni la PI de soya pudieron reemplazar el efecto de PC de soya para reducir la mortalidad de juveniles (D'Abramo et al., 1981). Similarmente, Kanazawa (1993) reportó un efecto promotor del crecimiento en larvas de hirame Japonés, solo cuando la PC de soya fue suplementada mientras que la PI de soya no mejoró claramente el crecimiento comparado con la dieta control sin PL. En contraste, PI de soya promovió una mayor ganancia de peso para ayu de 70 días, que la PC de soya o de hueva de bonito (Kanazawa et al., 1985b). Dietas ricas en PC de soya dadas en los primeros alimentos de carpas dieron un alto crecimiento inicial pero una mayor mortandad, debido a la aparición de una lordosis severa, que las larvas alimentadas con dietas enriquecidas con PI de soya (Geurden et al., 1995a, 1997). Los diferentes efectos dietarios de la PC y la PI en este último caso de alimentar larvas de peces exclusivamente de la primera alimentación con dietas artificiales merece mayor investigación.

1.4. INFLUENCIA DE LA COMPOSICION DE FUENTES DE LOS ACIDOS GRASOS DE LAS FUENTES DE PL

La PC de huevos de pollo no fue efectiva para mejorar el crecimiento y sobrevivencia de las larvas de *P. japonicus*, mientras que la PC de hueva de bonito y la PC de soya fueron efectivas (Kanazawa et al., 1985a). Similarmente, la lecitina y la PC derivadas de soya o de hueva de bonito fueron más efectivas promoviendo el crecimiento de larvas ayu *P. altivelis* que la lecitina de huevo de pollo (Kanazawa et al., 1981, 1985b). Sin embargo, todas estas fuentes de PL incrementaron drásticamente su crecimiento y sobrevivencia de la larva comparado al control deficiente en PL, mientras la especie de PC saturada, PC dipalmitoil, fue completamente inefectiva (Kanazawa et al., 1985b). Similarmente, D'Abramo et al. (1981) encontraron que la eficacia de PL conteniendo PC para prevenir mortalidad en langosta juvenil, dependía de los ácidos grasos constituyentes con la PC de soya siendo más efectiva que la lecitina de huevo y la PC dipalmitoil. Además 1-acyl lyso PL de soya en dietas para carpa resultó en bajo crecimiento y sobrevivencia, aunque superior al de la dieta sin PL (Geurden et al., 1995 c). El anterior descubrimiento, cuestiona la hipótesis de que en larvas de carpa los PL son absorbidos después de una hidrólisis preferencial en la posición sn-2, como se sugirió en carpas adultas Iijima et al., (1990). En este caso, las larvas de carpa podrían requerir moléculas intactas de fosfolípidos conteniendo ácidos grasos insaturados sn-2 con inositol o colina como grupos principales, lo cual confirma las suposiciones de Kanazawa et al. (1981, 1985b) para larvas de ayu.

1.5. INFLUENCIA DE LA FUENTE DE PROTEINA EN DIETAS EXPERIMENTALES

Se debe poner atención especial, al poco entendimiento de la interacción entre los requerimientos de fosfolípidos y otros ingredientes de dietas tales como las fuentes de proteínas. Juveniles de langosta americana alimentados con dietas semi-puras basadas en caseína muestran niveles altos de mortalidad aunado a ecdisis incompleta (síndrome de muerte por muda, MDS) y esto se podría solucionar con la suplementación de 7.5% de lecitina de soya en la dieta (Conklin et al., 1980). Sin embargo, se encontró que las langostas no requerían de PL cuando se usaba la proteína purificada de cangrejo (<<0.02% de lípidos totales), en lugar de caseína, se usó como la fuente primaria de proteína (Kean et al., 1985). Recientemente, se demostró que una mayor purificación de la proteína concentrada de cangrejo, usando 0.06 M EDTA en una mezcla

de solventes, con una proporción 50:50 isopropanol: agua, resultaba en una reaparición de un MDS para el cual la lecitina de soya era inefectiva (Castell et al., 1991; Conklin et al., 1991). Aunque, Castell et al. (1991) encontraron algunas evidencias que la vitamina B y Manganese pueden jugar un papel en la inducción de MDS, los factores fisiológicos responsables de la muerte a la muda quedan a ser esclarecidos. Similarmente, la suplementación de lecitina en dietas no fue necesaria para larvas.

2. FUNCIONALIDAD DE LOS FOSFOLIPIDOS DIETARIOS

2.1. FUENTES DE FOSFOLIPIDOS DE MEMBRANA

Varios autores han sugerido que los estados larvales no son capaces de sintetizar PL a una tasa suficiente para cubrir los requerimientos para la formación de nuevos componentes celulares durante el corto periodo inicial de crecimiento larvario rápido (Kanazawa, 1993; Geurden et al., 1995c). La diferencia en la actividad entre PL, con la PC siendo generalmente el componente más activo, puede ser explicada por la necesidad específica para la incorporación en membranas, las cuales están constituidas principalmente de PC. El conocimiento actual del metabolismo de fosfolípidos en peces y camarones está principalmente basado en extrapolaciones del conocimiento de mamíferos (Sargent et al., 1993). Sigue sin estar claro si los EFA, los cuales son principalmente esterificados en la posición sn-2 del PL, son asimilados como una entidad única o separadamente de la molécula del PL. Esto último puede tener importantes implicaciones para el posible efecto directo de la composición de ácidos grasos de los fosfolípidos dietarios, en la composición y función de los PL tisulares. Chen y Jenn (1991) encontraron niveles bajos de n-3 HUFA en la fracción polar de los lípidos del músculo de *P. penicillatus* al incrementar la PC de soya en la dieta, reflejando el alto contenido de 18:2(n-6) de la fuente de PL. Los últimos autores sugirieron la presencia de un metabolismo dinámico en el pool de PL del músculo en el cual los PL son reemplazados por los PL de origen dietario. En particular para las larvas marinas, la discrepancia entre la composición de ácidos grasos de PL presentes en las dietas formuladas, que a menudo son de frijol de soya, y las de su alimento natural merece más investigación.

2.2 APORTE DE COLINA, INOSITOL, EFA Y ENERGIA

Se ha observado un catabolismo preferencial de la PC durante los estadios embrionarios y del saco vitelino en varias especies de peces marinos y se presume que la PC es una fuente principal de fosfato inorgánico y colina (arenque: Tocare et al., 1985), DHA (bacalao: Fraser et al., 1988) o de energía metabólica (bacalao, fletán (halibut), y platija (plaice): Rainuzzo et al., 1992). Similarmente, ha sido postulado que los PL dietarios pueden servir como una fuente directa de nutrientes para los primeros estadios de alimentación de peces y crustáceos. Varias formas y concentraciones de colina dietaria no fueron tan efectivas como la lecitina en reducir el síndrome de muerte a la muda en juveniles de langosta alimentados con dietas a base de caseína (Conklin et al., 1980). Similarmente, el efecto benéfico de la PC y de la PI dietarias en el crecimiento y sobrevivencia en larvas de carpas en las primeras etapas de alimentación no pudo ser replicado con la suplementación de colina o inositol, respectivamente (Geurden et al., 1995ac; Figura 3), y la adición de colina CDP no pudo corregir la deficiencia de PL en la dieta

para larvas de ayu (Kanazawa et al., 1985b). Sin embargo, esto no excluye la posibilidad de que la PC pueda prevenir la deficiencia de colina como fue mostrado por Hung (1991) en un estudio con juveniles con el esturión blanco *Acipenser transmontanus*.

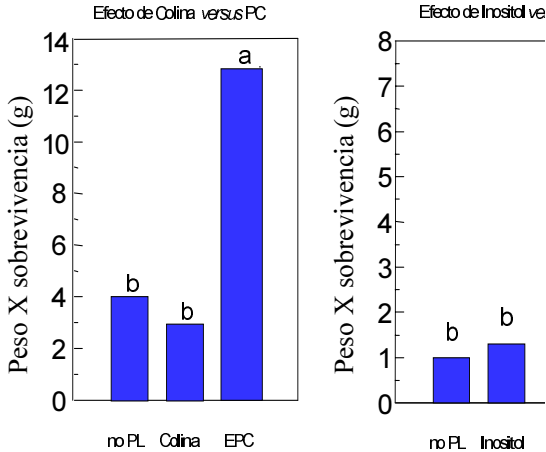


Figura 3. Biomasa teórica (peso x sobrevivencia) de larvas de carpa (*C. carpio*) alimentadas con dietas suplementadas con colina o inositol versus PC o PI para 25 días después. Se muestran también los resultados para una dieta control libre de PL (no PL). Las diferencias significativas son indicadas con una dieta diferente ($P < 0.05$) (de Geurden et al., 1995ac).

En uno de sus primeros trabajos, Kanazawa et al. (1979) demostraron que los efectos promotores de crecimiento de la inclusión de 1% de fosfolípidos en la dieta en juveniles de *P. japonicus* no pueden ser replicados con la inclusión de un nivel igual de ácidos grasos derivados de esta fuente de PL en la dieta. Similarmente, los efectos benéficos de la lecitina de soya dietaria en el crecimiento y la sobrevivencia de larvas de ayu no pueden atribuirse al contenido de EFA que es bajo en los PL de soya, visto que los EFA fueran suministrados en cantidades suficientes en la dieta (Kanazawa et al., 1981). Estos autores, concluyeron que el efecto promotor de crecimiento de PL fue debido a ciertos efectos de la forma molecular de PL más que a los EFA suministrados por ellos. Para carpa, la lecitina de girasol que es muy pobre en n-3 PUFA, dio resultados de cultivo mejores que la lecitina de colza o que un PL marino extraído (Geurden et al., 1995c). El hecho que dietas experimentales usadas para demostrar los requerimientos de PL están formuladas para contener suficientes cantidades de EFA en la fracción de lípidos neutros (Kanazawa et al., 1981, 1985ab; Camara et al., 1996; Geurden et al., 1995abc; Coutteau et al., 1996) no excluye la posibilidad de que los fosfolípidos sean una fuente superior de EFA que los

lípidos neutros para los estados larvales cuya capacidad digestiva puede no estar completamente desarrollada. Los PL son más polares y más fácilmente emulsificados y por lo tanto, menos susceptibles a una limitación hipotética de sales biliares para su asimilación (Koven et al., 1993; Sargent et al., 1993). En este sentido, Olsen et al. (1991) sugirieron que las larvas y que los juveniles tempranos de bacalao pueden tener una necesidad absoluta de lípidos polares, para el suplemento de energía y para el suplemento de ácidos grasos esenciales, a causa de la limitada digestibilidad de lípidos neutros.

2.3 MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DE LOS ALIMENTOS

Una hipótesis de la eficiencia de la suplementación de lecitina de soya dietaria en la prevención de la muerte en la muda en langostas alimentadas con dietas a base de caseína, está relacionada a la reducción de la lixiviación de los nutrientes solubles en agua, en particular Manganeso y vitaminas B (Castell et al., 1991). La limitada estabilidad en el agua de muchas dietas semi-puras que han sido utilizadas para estudiar los requerimientos de PL en estados larvales y postlarvales podrían conducir a una mayor exploración de esta hipótesis en otras especies que han reportado tener requerimientos de PL. La pérdida de materia seca total en dietas microligadas a base de caseína usadas para estudios con post-larvas de camarones peneidos subió hasta el 40% después de 10 minutos de exposición al agua y no fue afectada por la adición de PL (Camara, 1994). Se necesitan, estudios más detallados para evaluar el efecto de los PL en la tasa de lixiviación de los micronutrientes.

Se ha demostrado que los PL ejercen propiedades antioxidantes (King et al., 1992; McEvoy et al., 1995) y atrayentes (Harada, 1987) y queda por ser investigado si esto puede contribuir de alguna manera en los efectos benéficos de la suplementación PL en las dietas para larvas y juveniles.

2.4 PROPIEDADES EMULSIFICANTES DE LOS PL

Varios autores han sugerido que la lecitina puede ser requerida como un surfactante para mejorar la emulsificación y digestión de los lípidos en los primeros estados larvales de crustáceos y peces (Kanazawa et al., 1979; Conklin et al., 1980; Koven et al., 1993). En este sentido Koven et al. (1993) reportó un incremento de 7-veces de ácido 14C-oleico en los lípidos de *Sparus aurata* de 22-días de edad cuando se alimentaron con dietas suplementada con lecitina en comparación con la dieta control sin PL. Ellos atribuyeron este incremento en la absorción de lípidos a la función emulsificante de la lecitina. Sin embargo, varias evidencias indican que los PL dietarios mejoran el crecimiento y la sobrevivencia por otros efectos aparte del incremento en la emulsificación y la absorción de los lípidos dietarios en el tracto digestivo. La adición de ácido taurocolico no fue capaz de sustituir el efecto benéfico de la PC de soya ni en larvas de *P. japonicus* (Kanazawa et al., 1985a), ni en larvas de ayu *P. altivelis* (Kanazawa et al., 1985b), ni en juveniles de *H. americanus* (D'Abramo et al., 1981). Además, juveniles de *P. japonicus* fueron capaces de asimilar eficientemente tripalmitina y colesterol sin PL en la dieta (Teshima et al., 1986cd). En un estudio reciente con larvas de carpa al inicio de su alimentación, se mostró que la adición de PL a una dieta a base de caseína como la única fuente de lípidos mejoró el crecimiento de la misma manera que cuando fue agregada a la misma dieta suplementada con 4%

de lípidos neutros (Geurden et al., 1995c). En el mismo estudio, se mostró que las propiedades emulsificantes de la lecitina de soya dietaria in vivo no explican el desempeño de los peces: la lecitina de soya enriquecida con Ca^{++} , lo cual decrece sus propiedades emulsificantes, no afectó su efecto positivo sobre el crecimiento y la sobrevivencia, mientras que la 1-acil liso lecitina, que es un mejor emulsificador agua-aceite, dio resultados más pobres que la lecitina de soya no tratada (Figura 4).

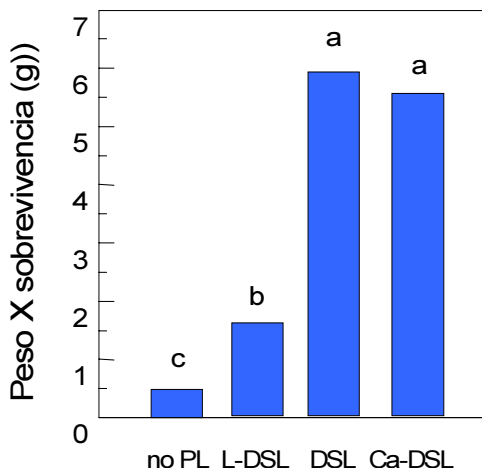


Figura 4. Biomasa teórica (peso x sobrevivencia) de larvas de carpa (*C. carpio*) alimentadas con dietas suplementadas con lecitina de soya delipidada (DSL) con varias propiedades emulsificantes durante 21 días. 1-acil liso DSL (L-DSL) DSL enriquecida con Ca^{++} (Ca-DSL) tienen respectivamente capacidad de emulsificante in vitro mayor y menor que la DSL no tratada. Ver también Figura 3 para explicación (de Geurden et al., 1995c).

2.5 PAPEL EN EL TRANSPORTE DE LÍPIDOS

Varios hallazgos soportan la hipótesis que los PL dietarios mejoran el transporte de lípidos en crustáceos, i.e. el transporte de los lípidos absorbidos del epitelio digestivo hacia la hemolinfa y la movilidad de los lípidos entre varios tejidos y órganos. La falta de lecitina en dietas a base caseína para juveniles de langosta fue asociada con niveles bajos de fosfolípidos y colesterol en la hemolinfa (D'Abramo et al., 1982). Utilizando 3H-colesterol, D'Abramo et al. (1985) encontraron niveles relativamente más altos de colesterol en el hepatopáncreas y niveles menores en la hemolinfa en langostas alimentadas con dietas sin lecitina, presumiblemente debido a una

disminución en la tasa de transporte de colesterol del hepatopáncreas a la hemolinfa. Las langostas alimentadas con dietas suplementadas con lecitina presentaron niveles mayores de colesterol en suero y lipoproteínas que aquellas alimentadas con dietas deficientes, independientemente que la proteína de cangrejo o la caseína hayan sido usadas como fuente de proteína (Baum et al., 1990). Los últimos hallazgos demostraron que la disminución del transporte de colesterol debido a una deficiencia de complejos lipoproteína-fosfolípido-colesterol no fue la causa posible del síndrome de muerte de muda observado en juveniles de langosta alimentados con dietas a base de caseína, pero confirmaron el papel de la lecitina en el transporte del colesterol. Teshima et al. (1986cd) usando colesterol y tripalmitina marcados radiactivamente, mostraron que los PL mejoraron la movilización de colesterol y de triglicéridos en un menor grado, del tubo digestivo a la hemolinfa y al músculo en *P. japonicus*. Los últimos autores hipotizaron que los PL dietarios, especialmente PC, pueden actuar como un donadores de acilos para la lecitina:colesterol aciltransferasa, la cual convierte colesterol libre en esteres de esterol (Teshima et al., 1986d). En contraste para la mejora de la disponibilidad de colesterol con los PL dietarios sugerida arriba, varios investigadores no han podido demostrar una interacción entre los requerimientos de lecitina y colesterol (*P. japonicus*: Teshima et al., 1982; *P. penicillatus*: Chen y Jenn, 1991; *M. rosenbergii*: Briggs et al., 1988). En larvas de peces se conoce poco acerca de la intervención de PL en el transporte de lípidos. En larvas de carpas común, la deficiencia de PL dietarios fue asociada con una acumulación de gotas de grasa en los enterocitos del intestino anterior, un incremento en el grosor del epitelio mucoso, una reducción en el volumen del hígado y en el volumen promedio de los hepatocitos (Fontagné et al., 1997).

Teshima et al. (1986c) asumieron que los PL dietarios pueden suministrar clases de lípidos específicos como sustrato para la formación de lipoproteínas las cuales son los principales medios de transporte de lípidos en la hemolinfa de camarones y contienen lípidos polares como el principal componente lipídico (Teshima y Kanazawa, 1980). Las lipoproteínas también tienen un papel esencial en el transporte de lípidos en el sistema circulatorio de los peces y la PC es la clase de lípido polar predominante en las lipoproteínas de los peces (Henderson y Tocher, 1987; Sheridan, 1988). Fontagné et al. (1997) sugieren un papel específico de la PC dietaria, que no es compartido con la PI, en la secreción de lipoproteínas por los enterocitos en larvas de carpa y por lo tanto, para la prevención de acumulación de grasa en el intestino anterior. Sin embargo, queda por demostrarse en qué medida los PL dietarios pueden influenciar las rutas metabólicas para la síntesis de lipoproteínas responsables del transporte de los lípidos absorbidos.

2.6 EFECTO DE PL EN LA COMPOSICIÓN LIPÍDICA CORPORAL

La inclusión de PL en la dieta afecta la deposición lipídica, resultando en un incremento de la retención de lípidos y de los niveles de lípidos en el animal (Teshima et al., 1986a; Chen y Jenn, 1991, Takeuchi et al., 1992). Algunas controversias se mantienen con respecto a la influencia del nivel dietario de PL en la composición de las clases de lípidos del animal. Larvas de *P. japonicus* alimentadas con una dieta conteniendo 3% de lecitina de soya mostraron niveles tisulares mayores (% de peso húmedo) de SE, FS, PC y PI en comparación con las larvas alimentadas con una dieta deficiente en PL (Teshima et al., 1986e). En un estudio similar con juveniles de *P. japonicus*, Teshima et al. (1986a) encontraron incremento en los niveles corporales

de PL, en particular en PC, y colesterol debido a la suplementación de 3% de lecitina en la dieta. Un incremento en los niveles de lípidos totales en el hepatopáncreas y en la hemolinfa de juveniles de *P. japonicus* debido a la suplementación de PL se encontró que se debía a un incremento de lípidos neutros i.e. triglicéridos y colesterol, y lípidos polares, principalmente PC, respectivamente (Teshima et al., 1986b). En los lípidos totales del músculo de *P. penicillatus*, Chen y Jenn (1991) no observaron un incremento preferencial de la proporción de PC en los lípidos totales con la suplementación en la dieta de hasta de un 5% de PC pura.

Una interacción entre la incorporación eficiente de EFA y la suplementación de PL ha sido documentada en varias especies. Las proporciones de n-3 HUFA en larvas de *P. japonicus* variaron con el tipo de PL suplementados en la dieta, con la mayor y la menor proporción presente en larvas que recibieron PC de soya y PI de soya, respectivamente (Teshima et al. 1986e). También una mayor proporción de EPA y DHA se observó en juveniles de *P. japonicus* debido a la adición de 3% de lecitina de soya en la dieta (Teshima et al., 1986a). La suplementación de PL en la dieta en juveniles de turbot y sea bass resultaron en un incremento del 50% de HUFA n-6 y n-3 en comparación a los alimentados con una dieta libre de PL (Geurden et al., 1996). La mejor eficiencia de EFA dietarios debido a la suplementación de PL es probablemente la base para la interacción entre los requerimientos de EFA y PL, como fue demostrado por Kanazawa et al. (1985a) para larvas de *P. japonicus*, y justifica una mayor investigación considerando su relevancia en dietas prácticas.

3.FOSFOLIPIDOS EN DIETAS PRACTICAS

Las posibles interacciones entre la selección de la fuente de proteína y los requerimientos de PL (ver 1.5) pueden tener importantes implicaciones sobre el papel de la lecitina en la formulación de dietas prácticas. Aún más, a pesar de la extensiva demostración de los requerimientos de PL usando dietas semi-puras, los efectos biológicos y el costo-beneficio de la suplementación de lecitina en dietas comerciales están muy poco documentados. Juveniles de *P. monodon* alimentados con una dieta práctica conteniendo aproximadamente 1% de PL endógenos, aumentaron significativamente su peso ganado cuando se agregó 2% de lecitina de soya en la dieta (Piedad-Pascual, 1986). También el reemplazo del 50% de aceite de pescado por lecitina de soya líquida en dietas prácticas (conteniendo 0.32% de PC endógeno) para *P. vannamei* mejoró la tasa de conversión y redujo el costo de la fórmula en un 19% (Cruz-Suárez et al., 1997; Tabla 2). Los bajos niveles de PL en dietas comerciales producidas en Asia y América Latina (en promedio 0.73% y 0.38%, respectivamente; Devresse, 1995; Tabla 3) muestra claramente que la suplementación de lecitina es aún limitada en las fórmulas de alimento comercial e insuficiente para cubrir los requerimientos sugeridos en el actual conocimiento de los requerimientos de PL de los camarones. Es necesaria más investigación que permita una mejor interpretación del conocimiento actual del requerimiento de PL para formuladores de dietas prácticas, tales como estudios comparativos usando fuentes similares de PL agregados a dietas semi-puras y a dietas prácticas basadas en harinas de camarón y/o pescado, y la evaluación del impacto económico de la suplementación de lecitina en una producción de camarón a nivel de estanques.

CONCLUSIÓN

Varios resultados experimentales han demostrado efectos benéficos de los PL dietarios para los estadios larvales y juveniles de varias especies de peces y crustáceos. Sin embargo se necesitan más investigaciones usando dietas puras y fuentes de PL para identificar las bases fisiológicas del requerimiento y para definir el aporte de PL dietario óptimo en términos de clases de PL y de la composición de ácidos grasos de los PL. Aún más, la interacción de los requerimientos de PL, con otros nutrientes tales como la fuente de proteína en la dieta y los ácidos grasos esenciales requieren más investigación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Belgian National Fund for Scientific Research (NFWO); el Consejo Brasileño de Ciencia y Tecnología (CNPq); el Belgian Ministry for Science Policy (OOA-Programme); el Belgian Administration for Developmental Cooperation (ABOS); INVE Aquaculture N.V.-S.A., Belgium; Vandemoortele N.V., Group R&D Center, Belgium y Lucas Meyer N.V./GmbH, Belgium/ Germany.

REFERENCIAS

- Baum, N.A., Conklin, D.E. and Chang, E.S., 1990. Effect of dietary lecithin in combination with casein or crab protein on cholesterol uptake and transport in the lobster *Homarus americanus*. *J. World Aquacult. Soc.*, 21: 277-287.
- Briggs, M.R.P., Jauncey, K. and Brown, J.H., 1988. The cholesterol and lecithin requirements of juvenile prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) fed semipurified diets. *Aquaculture*, 70: 121-129.
- Camara, M.R., 1994. Dietary phosphatidylcholine requirements of *Penaeus japonicus* Bate and *Penaeus vannamei* Boone (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). Ph.D. Thesis. University of Ghent, Belgium. 173 pp.
- Camara, M.R., Coutteau, P. and Sorgeloos, P., 1996. Dietary phosphatidylcholine requirements in larval and postlarval *Penaeus japonicus* Bate. *Aquacult. Nutr.*, 2: in press.
- Castell, J., Boston, L.D., Conklin, D.E. and Baum, N.A., 1991. Nutritionally induced molt death syndrome in aquatic crustaceans: II. The effect of B vitamin and manganese deficiencies in lobster (*Homarus americanus*). *The Crustacean Nutrition Newsletter*, 7: 108-114.
- Chapelle, S., Abdul Malak, N. and Zingelstein, G., 1985. Incorporation of w-6 polyunsaturated fatty acids into phospholipids of the crab *Carcinus maenas*. *Biochem. System. Ecol.*, 13: 459-465.
- Chen, H.Y., 1993. Requirements of marine shrimp, *Penaeus monodon*, juveniles for phosphatidylcholine and cholesterol. *Aquaculture*, 109: 165-176.

- Chen, H.Y. and Jenn, J.S., 1991. Combined effects of dietary phosphatidylcholine and cholesterol on the growth, survival and body lipid composition of marine shrimp, *Penaeus penicillatus*. *Aquaculture*, 96: 167-178.
- Conklin, D.E., Devers, K. and Bordner, C.E., 1977. Development of artificial diets for the lobster, *Homarus americanus*. *Proc. World Maricult. Soc.*, 8: 841-852.
- Conklin, D.E., D'Abramo, L.R., Bordner, C.E. and Baum, N.A., 1980. A successful purified diet for the culture of juvenile lobsters: the effect of lecithin. *Aquaculture*, 21: 243-249.
- Conklin, D.E., Baum, N.A., Castell, J.D., Boston, L.D. and Hafang, L., 1991. Nutritionally induced molt death syndrome in aquatic crustaceans: I. Introduction to the problem. *The Crustacean Nutrition Newsletter*, 7: 102-107.
- Coutteau, P., Camara, M.R. and Sorgeloos, P., 1996. The effect of different levels and sources of dietary phosphatidylcholine on the growth, survival, stress resistance, and fatty acid composition of postlarval *Penaeus vannamei* Boone. *Aquaculture*, (accepted).
- Cruz-Suarez, L.E. Ricque-Marie, D., Dominguez, J.P., Guerrero-Medina, R. and Mendoza-Alfaro, R. 1997. The use of lecithin in practical shrimp diets. *Aquacult. Nutr.*, in press.
- D'Abramo, L.R., Bordner, C.E., Conklin, D.E. and Baum, N.A., 1981. Essentiality of dietary phosphatidylcholine for the survival of juvenile lobsters. *J. Nutr.*, 111: 425-431.
- D'Abramo, L.R., Bordner, C.E. and Conklin, D.E., 1982. Relationship between dietary phosphatidylcholine and serum cholesterol in the lobster *Homarus* sp.. *Mar. Biol.*, 67: 231-235.
- D'Abramo, L.R., Baum, N.A., Bordner, C.E., Conklin, D.E. and Chang, E.S., 1985. Dietdependent cholesterol transport in the American lobster. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 87: 83-96.
- Devresse, B., 1995. Nutrient levels in some commercial shrimp feeds and feed ingredients of Asia and Latin America - a comparative analysis. In: *Proceedings Feed Ingredients Asia '95*, Singapore, Sept 19-21, 1995
- Fontagné, S., Geurden, I., Escaffre, A.-M., and Bergot, P., 1997. Histological changes induced by dietary phospholipids in intestine and liver of common carp larvae. *Aquaculture*, in press.
- Fraser, A.J., Gamble, J.C. and Sargent, J.R., 1988. Changes in lipid content, lipid class composition of developing eggs of cod (*Gadus morhua*). *Mar. Biol.*, 99: 307-313.
- Geurden, I., Charlon, N., Marion, D. and Bergot, P., 1995a. Dietary phospholipids and body deformities in carp *Cyprinus carpio* L. larvae. In: P. Lavens, E. Jaspers and I. Roelants

- (Editors), Larvi '95 Fish and Shellfish Symposium, Gent, Belgium. Europ. Aquacult. Soc., Spec. Publ., 24: 162-165.
- Geurden, I., Coutteau, P. and Sorgeloos, P., 1995b. Dietary phospholipids for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) during first on-growing. In: P. Lavens, E. Jaspers and I. Roelants (Editors), Larvi '95 Fish and Shellfish Symposium, Gent, Belgium. Europ. Aquacult. Soc., Spec. Publ., 24: 175-178.
- Geurden, I., Radünz-Neto, J. and Bergot, P., 1995c. Essentiality of dietary phospholipids for carp (*Cyprinus carpio*) larvae. *Aquaculture*, 131: 303-314.
- Geurden, I., Coutteau, P., and Sorgeloos, P. 1996. Effect of dietary phospholipid supplementation on growth and fatty acid composition of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) and turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles from weaning onwards. *Fish Physiol. Biochem.*, in press
- Geurden I., Marion D., Charlon N., Coutteau P., Bergot P. 1997. Comparison of different soybean phospholipidic fractions as dietary supplements for common carp larvae. *Aquaculture* (in press).
- Harada, K., 1987. Relationships between structure and feeding attraction activity of certain L-amino acids and lecithin in aquatic animals. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53: 2243-2247.
- Henderson, R.J. and Tocher, D.R., 1987. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Prog. Lipid Res.*, 26: 281-347.
- Hertrampf, J.W., 1992. Feeding aquatic animals with phospholipids. II. Fishes. Lucas Meyer Publication No. 11. Lucas Meyer GmbH & Co, Hamburg. 70 pp.
- Hilton, J.W., Harrison, K.E. and Slinger, S.J., 1984. A semipurified test diet for *Macrobrachium rosenbergii* and the lack of need for supplemental lecithin. *Aquaculture*, 37: 209-215.
- Hung, S.S.O., 1991. Nutrition and feeding of hatcheryproduced juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*): an overview. In: P. Williot (Editor), *Acipenser*. CEMAGREF, pp. 65-77.
- Hung, S.S. and Lutes, P.B., 1988. A preliminary study on the nonessentiality of lecithin for hatcheryproduced juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Aquaculture*, 68: 353-360.
- Iijima, N., Aida, S., Mankura, M. and Kayama, M., 1990. Intestinal absorption and plasma transport of dietary triglyceride and phosphatidylcholine in the carp (*Cyprinus carpio*). *Comp. Biochem. Physiol.*, 96A: 45-55.

- Kanazawa, A., 1993. Essential phospholipids of fish and crustaceans. In: S.J. Kaushik and P. Luquet (Editors). *Fish Nutrition in Practice*, Biarritz (France), June 24-27. Ed. INRA, Paris 1993 (Les Colloques nr. 61), pp. 519-530.
- Kanazawa, A. and Koshio, S., 1994. Lipid nutrition of the spiny lobster *Panulirus japonicus* (Decapoda, Palinuridae): a review. *Crustaceana*, 67: 226-232.
- Kanazawa, A., Teshima, S., Tokiwa, S., Endo, M. and Abdel Razek, F.A., 1979. Effects of shortnecked clam phospholipids on the growth of prawn. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 45: 961-965.
- Kanazawa, A., Teshima, S., Inamori, S., Iwashita, T. and Nagao, A., 1981. Effects of phospholipids on growth, survival rate and incidence of malformation in the larval ayu. *Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ.*, 30: 301-309.
- Kanazawa, A., Teshima, S., Inamori, S. and Matsubara, H., 1983a. Effects of dietary phospholipids on growth of the larval red sea bream and knife jaw. *Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ.*, 32: 109-114.
- Kanazawa, A., Teshima, S., Kobayshi, T., Takae, M., Iwashita, T. and Uehara, R., 1983b. Necessity of dietary phospholipids for growth of the larval ayu. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, 32: 115-120.
- Kanazawa, A., Teshima, S. and Sakamoto, M., 1985a. Effects of dietary lipids, fatty acids, and phospholipids on growth and survival of prawn (*Penaeus japonicus*) larvae. *Aquaculture*, 50: 39-49.
- Kanazawa, A., Teshima, S. and Sakamoto, M., 1985b. Effects of dietary bonitogg phospholipids and some phospholipids on growth and survival of the larval ayu, *Plecoglossus altivelis*. *Z. Angew. Ichthyol.*, 4: 165-170.
- Kean, J.C., Castell, J.D., Boghen, A.G, D'Abramo, L.R. and Conklin, D.E., 1985. A reevaluation of the lecithin and cholesterol requirements of juvenile lobster (*Homarus americanus*) using crab proteinbased diets. *Aquaculture*, 47: 143-149.
- King, M.F., Boyd, L.C. and Sheldon, B.W., 1992. Effects of phospholipids on lipid oxidation of a salmon oil model system. *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 69: 237-242.
- Koven, W.M., Kolkovski, S., Tandler, A., Kissil, G.W. and Sklan, D., 1993. The effect of dietary lecithin and lipase, as a function of age, on n9 fatty acid incorporation in the tissue lipids of *Sparus aurata* larvae. *Fish Physiol. Biochem.*, 10: 357-364.
- Léger, P., Bengtson, D.A., Simpson, K.L. and Sorgeloos, P., 1986. The use and nutritional value of *Artemia* as a food source. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 24: 521-623.

- McEvoy, L.S., Navarro, J.C., Amat, F. and Sargent, J.R., 1995. Optimisation of a phospholipid-enhanced enrichment emulsion for *Artemia*. In: P. Lavens, E. Jaspers and I. Roelants (Editors), Larvi '95 Fish and Shellfish Symposium, Gent, Belgium. *Europ. Aquacult. Soc., Spec. Publ.*, 24: 141-144.
- Olsen, R.E., Henderson, R.J. and Pedersen, T., 1991. The influence of dietary lipid classes on the fatty acid composition of small cod *Gadus morhua* L. juveniles reared in an enclosure in northern Norway. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 148: 59-76.
- Piedad Pascual, F., 1986. Effect of supplemental lecithin and lipid sources on the growth and survival of *Penaeus monodon* juveniles. In: J.L. MacLean, L.B. Dizon and L.V. Hosillos (Editors), The First Asian Fisheries Forum, Asian Fisheries Society, Manila, Philippines, pp. 615-618.
- Poston, H.A., 1990a. Performance of rainbow trout fed supplemental soybean lecithin and choline. *Prog. Fish Cult.*, 52: 218-225.
- Poston, H.A., 1990b. Effect of body size on growth, survival, and chemical composition of Atlantic salmon fed soy lecithin and choline. *Prog. Fish Cult.*, 52: 226-230.
- Poston, H.A., 1991. Response of Atlantic salmon fry to feedgrade lecithin and choline. *Prog. Fish Cult.*, 53: 224-228.
- Radünz Neto, J., Corraze, G., Charlon, N. and Bergot, P., 1994. Lipid supplementation of caseinased purified diets for carp (*Cyprinus carpio* L.) larvae. *Aquaculture*, 128: 153-161.
- Rainuzzo, J.R., Reitan, K.I. and Jorgensen, L., 1992. Comparative study on the fatty acids and lipid composition of four marine fish larvae. *Comp. Biochem. Physiol.*, 103B: 21-26.
- Rainuzzo, J.R., Reitan, K.I. and Olsen, Y., 1994a. Effect of short- and long-term enrichment on total lipids, lipid class and fatty acid composition in rotifers. *Aquacult. Int.*, 2: 19-32.
- Rainuzzo, J.R., Reitan, K.I., Jorgensen, L. and Olsen, Y., 1994b. Lipid composition in turbot larvae fed live feed cultured by emulsion of different lipid classes. *Comp. Biochem. Physiol.*, 107A: 699-710.
- Sargent, J.R., Bell, J.G., Bell, M.V., Henderson, R.J. and Tocher, D.R., 1993. The metabolism of phospholipids and polyunsaturated fatty acids in fish. In: B. Lahlou and P. Vitiello (Editors), *Aquaculture: Fundamental and Applied Research*, Coastal and Estuarine Studies 43. American Geophysical Union, Washington, pp. 103-124.
- Sheridan, M.A., 1988. Lipid dynamics in fish: aspects of absorption, transportation, deposition and mobilization. *Comp. Biochem. Physiol.*, 90B: 679-690.

- Shieh, H.S., 1969. The biosynthesis of phospholipids in the lobster *Homarus americanus*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 30: 679-684.
- Sorgeloos, P., Coutteau, P., Merchie, G. and Lavens, P. 1995. Use of *Artemia* in larval crustacean nutrition. Proceedings of the International Working Group on Crustacean Nutrition Conference, Kagoshima, Japan, 22-24/4/95, in press.
- Szlaminska, M., Escaffre, A.M. and Bergot, P., 1993. Preliminary data on semisynthetic diets for goldfish (*Carassius auratus* L.) larvae. In: S.J. Kaushik and P. Luquet (Editors). *Fish Nutrition in Practice*, Biarritz (France), June 24-27. Ed. INRA, Paris 1993 (Les Colloques nr. 61), pp. 607-612.
- Tackaert, W., Camara, M.R. and Sorgeloos, P., 1991. The effect of dietary phosphatidylcholine in postlarval penaeid shrimp. I. Diet preparation. In: P. Lavens, P. Sorgeloos, E. Jaspers and F. Ollevier (Editors), *Larvi '91 Fish & Crustacean Larviculture Symposium*. Gent, Belgium. *Europ. Aquacult. Soc., Spec. Publ.*, 15: 76-79.
- Takeuchi, T., Arakawa, T., Satoh, S. and Watanabe, T., 1992. Supplemental effect of phospholipids and requirement of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid of juvenile striped jack. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58: 707-713.
- Teshima, S. and Kanazawa, A., 1980. Lipid constituents of serum lipoproteins in the prawn. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 46: 57-62.
- Teshima, S., Kanazawa, A., Sasada, H. and Kawasaki, M., 1982. Requirements of larval prawn, *Penaeus japonicus*, for cholesterol and soybean phospholipids. *Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ.*, 31: 193-199.
- Teshima, S., Kanazawa, A. and Kakuta, Y., 1986a. Effects of dietary phospholipids on growth and body composition of the juvenile prawn. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 52: 155-158.
- Teshima, S., Kanazawa, A. and Kakuta, Y., 1986b. Effects of dietary phospholipids on lipid transport in the juvenile prawn. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 52: 159-163.
- Teshima, S., Kanazawa, A. and Kakuta, Y., 1986c. Role of dietary phospholipids in the transport of ¹⁴C tripalmitin in the prawn. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 52: 519-524.
- Teshima, S., Kanazawa, A. and Kakuta, Y., 1986d. Role of dietary phospholipids in the transport of ¹⁴C cholesterol in the prawn. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 52: 719-723.
- Teshima, S., Kanazawa, A. and Kakuta, Y., 1986e. Growth, survival and body lipid composition of the prawn larvae receiving several dietary phospholipids. *Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ.*, 35: 17-27.

- Teshima, S., Kanazawa, A., Horinouchi, K., Yamasaki, S. and Hirata, H., 1987. Phospholipids of rotifer, prawn and larval fish. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53: 609-615.
- Teshima, S., Kanazawa, A. and Koshio, S., 1993. Recent developments in nutrition and microparticulate diets of larval prawns. *Israeli J. Aquacult.*, 45: 175-184.
- Tocher, D.R., Fraser, A.J., Sargent, J.R. and Gamble, J.C., 1985. Lipid class composition during embryonic and early larval development in Atlantic herring (*Clupea harengus*). *Lipids*, 20: 84-89.

Tabla 1. Requerimiento de fosfolípidos para estadios larvales de juveniles de peces y crustáceos.

Especies	Peso inicial o Estado	Periodo experimental	Fuente de PL	Dieta basal (pureza) ²	Nivel de PL (% de la dieta) ³	Otras pruebas	Autor
Larvas de crustáceos							
Penaeus japonicus	zoea I/II	6d	SL (23.6% PC)	caseína	Óptimo 3.5-6 (G,S)	0.1, 3.7, 5.9	Kanazawa et al (1985a)
Penaeus japonicus	zoea I/II	8d	SL (35% PC, 18.5% PI of POL)	caseína	3 (S)	0.1, 5, 10	Teshima et al (1986c)
Juveniles de crustáceos							
Homarus americanus	estadio IV	90 d	SL (95% PL)	caseína	7.5 (S)	5, 10, 20, 35	Conklin et al (1980)
Homarus americanus	estado VI	14 w	SL	Proteína de cangrejo pura gelatina	0 (S,G)	3, 6	Kean et al (1985)
Macrobrachium rosenbergii	120 mg WW						
Macrobrachium rosenbergii	80 mg WW	12 w	SL	Caseína/gelatina	0 (GS)	2, 4, 6, 8, 10	Hilton et al (1984)
Macrobrachium rosenbergii	121 mg WW	40 d	SL (35% PC)	Caseína/albumina	0 (GS)	5	Briggs et al (1988)
Macrobrachium rosenbergii	750 mg WW	40 d	SL	Caseína o proteína de cangrejo pura	0 (G, S)	1, 2	Kanazawa (1993)
Penaeus chinensis	710 mg WW	40 d	SL (42% PC of POL)	Caseína	2 (G)	0, 0.5, 1, 3	Kanazawa (1993)
Penaeus japonicus	1 g WW	30 d	SL (35% PC, 18.5% PI of POL)	Caseína	3 (G,S)	0	Teshima et al (1986a)
Penaeus japonicus	5 mg WW	44 d	SPC (95% PC) SL (86% PL)	Caseína	1.5 (G,R) 6.5 (G,S,R)	0, 3	Camara (1994)
Penaeus monodon	90 mg WW	8 w	SL (65% PL)	práctica	2 (+1) ⁴ (G)	0, 1 (*1) ⁴	Piedad-Pascual (1986)
Penaeus monodon	450 mg WW	4 w	SPC (80% PC, 20% LPC)	Caseína	1.25 (G)	0, 2.5, 5	Chen (1993)
Penaeus penicillatus	20 g WW	4 w	SPC (80% PC 20% LPC)	Caseína	1.25 (G)	0, 2.5, 5	Chen and Jenn (1996)
Penaeus vannamei	2 mg WW	41 d	SPC (95% PC) SL (85% PC)	Caseína	1.5 (G) 6.5 (G)	0, 0.5, 3 1.5	Coutreau et al., (1996)

(Continúa Tabla 1)

Especies	Peso inicial o Estado	Periodo experimental	Fuente de PL. (pureza) ²	Dieta basal	Nivel de PL (% de la dieta) ³	de la	Autor
Larvas de peces							
<i>Chrysophrys major</i>	4.8 mm TL	20 d	SL	Óptimo	Otras pruebas	0	Kanazawa et al. (1983a)
<i>Cyprinus carpio</i>	2 mg WW	25 d	EI (98% PL)	caseína	5 (G,S)	0, 4	Kanazawa et al. (1995c)
		21 d	varios PL ⁵		2 (G,S)5	0	
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	6.0 mm TL	22 d	SL	mezcla de varias proteínas	7.4 (G,S)	0, 2.5, 5 (1983a)	Kanazawa et al.
<i>Paralichthys olivaceus</i>	4.6 mm TL	30 d	SL (53% POL)	caseína	7 (G,S)	0, 3, 5	Kanazawa (1993)
<i>Plecoglossus altivelis</i>	2.4 mg WW	20 d	EL de SL	caseína	3 (G,S,M)	0	Kanazawa et al. (1981)
<i>Plecoglossus altivelis</i>	9.6 mm TL	50 d	huevo de bonito PL	caseína	3 (G,S,M)	0	Kanazawa et al. (1983b)
			EL		3 (G,S,M)	0	
					5 (G,S), 3 (M)	0, 1, 3	
Peces juveniles							
<i>Acipenser</i>							
<i>transmontanus</i>	5-10 g WW	6 w	SL (75% PL)	caseína	0	8	Hung and Lutes (1988)
<i>Dicentrarchus labrax</i>	3.54 mg DW	40 d	SL (65% PL)	mezcla de varias proteínas	3 (G)	0	Gauden et al. (1995b)
			EPC (95% PC)		2 (G)	0	
			SPC (95% PC)		2 (G)	0	
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	100-120 mg WW	20 w	SL (16% PC)	Proteína de soya/harina de arenque	4 (G)	0, 2, 8	Peston (1990a)
<i>Oplegnathus fasciatus</i>							
	11.6 g WW	60 d	SL (53% POL)	caseína	3 (G)	0, 5, 7	Kanazawa (1993)
<i>Paralichthys olivaceus</i>	2.94 g WW	30 d	SL (53% POL)	caseína	7 (G)	0, 3, 5	Kanazawa (1993)
<i>Plecoglossus altivelis</i>	87.2 mg WW	33 d	SL	caseína	3 (G)	0	Kanazawa et al. (1981)
			huevos de bonito PL		3 (G)	0	
			EL		3 (G)	0, 1, 5	
<i>Pseudocaranx dentex</i>	750 mg WW	6 w	SPE (98% PC)	harina de pescado	1.5 (G,S,R)	0, 0.5, 1.0, 2.0	Takeuchi et al. (1992)
			SPE (99% PE)	delipídada	1.5 (G)	0	

(Continúa Tabla 1)

Especies	Peso inicial o Estado	Periodo experimental	Fuente de PL. (pureza) ²	Dieta basal	Nivel de PL (% de la dieta) ³	Autor
<i>Salmo salar</i>	0.18 g WW	16 w	SL (65% PL)	proteína de soya	4 (G)	Poston (1990b)
	1.0 g WW	12 w			4 (G)	
	1.7 g WW	12 w			4 (G)	
<i>Salmo salar</i>	7.5 g WW	12 w		0	4	Poston (1991)
	180 mg WW	14 w	maiz/PL/SL	proteína de soya	6 (G)	

¹ Peso seco (DW) o húmedo (WW), longitud total (TL);² fosfatidilcolina (PC), fosfolípidos totales (PL), y lípidos polares totales (POL) expresados como % de lípidos totales de las fuentes a menos de que sea establecido de otra manera;³ requerimiento previsto basado en la comparación de un nivel de PL con una dieta deficiente en PL demostrando un efecto benéfico sobre crecimiento (G);⁴ sobrevivencia (S), resistencia al estrés (R) o malformaciones (M);⁴ PL endógenos en dieta prácticas;⁵ varias fuentes de PL formuladas para contener 2% de PL dietario: EL (69% PL); SL (65% PL); grasol PL (55% PL); semilla de colza PL (59% PL); marino PL (81% PL)

Tabla 2. Impacto económico del reemplazo de aceite de pescado por lecitina de soya líquida en dietas prácticas para camarón blanco (*Penaeus vannamei*) en México (de Cruz-Suárez et al., 1997)

Dieta	SL 0	SL 3.7	SL 7.5
<i>Formulación (% dieta)¹</i>			
Lecitina líquida		3.7	7.5
Aceite de pescado	7.5	3.7	
Fosfolípidos	0.77	3.11	5.51
PC	0.32	0.90	1.49
<i>Resultados del cultivo²</i>			
Tasa de crecimiento relativo (%)	100	99.8	99.2
Consumo de alimento (g/día)	1.07b	0.86a	0.93a
TCA	1.75	1.41	1.51
Mortalidad (%)	10	18	13
<i>Impacto económico</i>			
Costo de la dieta (US \$/ton) ³	574	577	581
Costo de producción de camarón (US \$/ton)	1005	814	877
Costo relativo de producción (%)	100	81	87

¹ Formulación de dieta (% de dieta): harina de trigo 46.8-47.8; NaH₂PO₄ 0.8-1.8; aceite de pescado 15.5; harina de soya 15.5; harina de camarón 4; gluten de trigo 8; metionina 0.3; vitamina C 0.02; mezcla vitamina 0.22; colesterol 0.3; meso-inositol 0.031; cloruro de colina =.076.

² Condiciones de cultivo: 28 días, 15 ind/601, tanque (n = 4), crecimiento 0.25 g->>0.62 g peso vivo.

³ Costo de ingrediente (US \$/ton): lecitina líquida 530; aceite de pescado: 490.

Tabla 3. Contenido de fosfolípidos (% de dieta) en dietas comerciales para camarón en Asia y Latinoamérica (Devresse, 1995)

Pais de manufactura	n	Rango	Promedio
<i>América</i>			
USA	4	0.31-0.67	0.47
México	3	0.07-0.87	0.35
Colombia	2	0.26-0.57	0.42
Ecuador	3	0.16-0.42	0.30
Brasil	1		0.38
Total	13	0.07-0.87	0.38
<i>Sureste-Asiático</i>			
Nueva Caledonia	1		0.86
Tailandia	2	0.72-1.12	0.92
Singapur	1		0.42
Indonesia	2	0.47-0.53	0.50
Filipinas	2	0.70-0.72	0.71
India	2	0.95-0.99	0.97
Total	10	0.47-1.12	0.73

EVALUACION DE DIETAS NUTRICIONALMENTE DENSAS EN LA CURVINA SCIANUS OCELLATUS (RED DRUM)

D. Allen Davis, D. O. Jirsa, J. P. Lazo y C. R. Arnold

**The University of Texas at Austin
Marine Science Institute
750 Channelview Drive
Port Aransas, TX 78373
(512) 749-6810
E-mail: davis@utmsi.zo.utexas.edu**

Traducción: Roberto Mendoza Alfaro y Jesús Montemayor Leal

RESUMEN

De la misma manera que la fuente inicial de nutrientes, la manipulación del alimento es el medio más directo y efectivo para reducir la carga de estos en los sistemas de cultivo intensivo. La eficiencia en la utilización alimenticia y el manejo no solo reducen la carga de nutrientes, sino además disminuyen el costo de producción total al disminuir los gastos de nutrientes por unidad de producción. Se han venido diseñando investigaciones para desarrollar y evaluar dietas densas en nutrientes como un mecanismo para aumentar la producción y reducir el desperdicio de productos. El efecto de las dietas nutricionalmente densas (proteína y energía) sobre el crecimiento de la curvina *Scianus ocellatus* y sobre la calidad del agua en sistemas de recirculación cerrados han sido evaluados. Basándonos en los resultados observados, la manipulación de la densidad dietaria de nutrientes puede reducir la carga de estos en los sistemas de cultivo, y al mismo tiempo mejorar el crecimiento de los peces. Estudios adicionales han evaluado los efectos de varios niveles de aceite de menhaden (MFO) y de triglicéridos de cadena mediana (MCT) como fuentes de energía en las dietas nutricionalmente densas. El mayor crecimiento y la mejor tasa de conversión alimenticia fueron observados en peces alimentados con dietas que no contenían MCT, y no se encontraron diferencias significativas entre la dieta basal que contenía 5.7% de lípidos y las dietas suplementadas con MFO adicional. La incorporación de MCT en las dietas resultó en la reducción de depósitos de lípidos intraperitoneales, pero también redujo el desempeño del pez en términos de ganancia en peso y de eficiencia de conversión alimenticia. En base a estos resultados la incorporación de MCT puede contribuir a reducir el depósito intraperitoneal de lípidos, y puede resultar apropiada para la evaluación de dietas finalizadas. En función de los resultados presentes, el desarrollo de los alimentos nutricionalmente densos

puede ayudar a reducir la carga de nutrientes en los sistemas de cultivo intensivo sin afectar adversamente los costos de producción.

Palabras clave: *Scianus ocellatus*, dietas, contaminación, sistemas cerrados.

INTRODUCCION

La pesca oceánica, la mayor fuente de producción de peces, ha venido permitiendo la obtención de casi 100 millones de toneladas métricas anualmente, pero actualmente ya no es posible obtener dicha cantidad debido a la sobrepesca y presiones de contaminación (Willinsky y Champ, 1993). Al mismo tiempo, la demanda mundial de organismos acuáticos ha venido incrementándose rápidamente. En respuesta a la demanda de organismos acuáticos, combinada con la declinación de las capturas de peces marinos y mariscos, la acuicultura se ha convertido en una industria mundial de 26.5 billones de dólares en 1990 (FAO, 1992) y es actualmente el sistema de producción de alimentos con el crecimiento más rápido a nivel mundial.

Como en todos los sistemas intensivos de producción animal, existe un potencial para la contaminación. El impacto ambiental de los efluentes de estanques de sistemas de acuicultura intensiva puede llevar a la eutroficación y a la disminución de oxígeno de las aguas adyacentes, haciéndolas menos apropiadas para la acuicultura y otros propósitos (Folke y Kautsky, 1991). Los problemas potenciales asociados con el sobredesarrollo y las descargas no reguladas de desperdicios (industriales y agrícolas) en los ambientes estuarinos y sus efectos sobre los sistemas de cultivo son ejemplificados por una reducción en la producción y/o la completa eliminación de los cultivos comerciales de camarón debido a la destrucción de la biota de los sistemas estuarinos. Algunos ejemplos incluyen a Taiwan, Tailandia del Norte, China y Ecuador (Boyd y Musig, 1992; Chen et al., 1993; Liao, 1992; Twilley, 1989). Si la acuicultura marina debe desarrollarse es necesario implementar un método para mitigar los efectos ecológicos adversos.

La fuente principal de contaminantes generados en un sistema acuacultural es el alimento (Cho et al., 1991, 1994) ya sea directamente como alimento no ingerido o indirectamente como desperdicio biogénico. Esos contaminantes incluyen alimento desperdiciado, alimento sólido y desperdicios disueltos. Los efectos de esos productos sobre los sistemas acuaculturales en el medio ambiente pueden ser reducidos minimizando la generación de desperdicios o mediante la intercepción o remoción de esos productos (Battersson, 1993). Los desperdicios pueden ser removidos del agua por métodos tales como la decantación o filtración, pero los métodos más directos de control de desperdicios pueden alcanzarse mediante la manipulación de las dietas resultando en alimentos poco contaminantes.

Los alimentos poco contaminantes o alimentos nutricionalmente densos son formulados de acuerdo a los siguientes puntos: 1) el uso de materia prima altamente digestible, la cual minimiza la cantidad de heces; 2) la alta concentración de energía y nutrientes para disminuir la cantidad de alimento requerido con la finalidad de alcanzar los objetivos en crecimiento; 3) Alcanzar el nivel óptimo de energía:proteína para minimizar la excreción de compuestos nitrogenados disueltos; 4) el balance adecuado de nutrientes para optimizar su utilización y el crecimiento de

los organismos cultivados; y 5) el alimento debe ser palatable para maximizar la eficiencia de su consumo (Cho et al. 1994).

Adicionalmente, el costo del alimento por unidad de producción debe ser aceptable en la industria comercial (Kiaerskou, 1991) y el alimento debe ser procesado para alcanzar una estabilidad en el agua, adecuada para las estrategias de alimentación. El potencial para la utilización exitosa de los alimentos poco contaminantes se ha demostrado en la industria de los salmónidos lo que ha resultado en un incremento en el crecimiento de los organismos y una disminución en el desperdicio (Alsed, 1991; Kiaerskou, 1991). La reducción de la carga contaminante de los alimentos de peces se debe principalmente a una mejora en la utilización alimenticia, a una menor tasa proteína:energía (dietas altamente energéticas) y los avances en la tecnología de procesamiento de alimentos (Alsted, 1991). La utilización eficiente del alimento no solo reduce la contaminación ambiental sino que también permite disminuir el costo total de producción al disminuir el gasto de nutrientes por unidad de producción.

Conceptos similares pueden ser aplicados al cultivo de especies marinas de aguas tropicales tales como la curvina, *Sciaenops ocellatus*. Adicionalmente, la utilización de alimentos poco contaminantes en sistemas de circulación cerrada, puede reducir la carga de nutrientes y por consiguiente incrementar la capacidad de carga del sistema. Sin embargo, estas técnicas no han sido aplicadas a las especies marinas de aguas tropicales o a los sistemas cerrados. Esta investigación describe brevemente los estudios que se han venido realizando, diseñados para desarrollar y evaluar las dietas nutricionalmente densas para la producción de curvina en sistemas cerrados.

El primer objetivo fue determinar si la densidad de nutrientes de la dieta, especialmente en los niveles de energía y proteína, tenían un efecto en la calidad del agua en sistemas cerrados o sobre el crecimiento de la curvina, *Sciaenops ocellatus*.

Una descripción más detallada de los resultados y métodos utilizados para esta porción del estudio han sido publicados a manera de tesis de maestría (Jirsa, 1994). El segundo objetivo fue evaluar el efecto de diferentes niveles de aceite de menhaden (Menhaden Fish Oil: MFO) y de triglicéridos de cadena mediana (Medium Chain Triglycerids: MCT) como fuentes de energía en las dietas nutricionalmente densas.

MÉTODOS

EXPERIMENTO I: EVALUACION DE LA DENSIDAD DE NUTRIENTES

Para determinar el efecto de la densidad de nutrientes sobre la calidad del agua y el crecimiento de la curvina se llevó a cabo un bioensayo con una duración de 10 semanas en dos tanques redondos de fibra de vidrio. Cada uno de esos tanques contaba con un sistema cerrado e independiente de recirculación conteniendo 220 litros de agua marina, con aireación suplementaria, bombas para airlifts y filtros. Cada filtro consistió en una cámara de sedimentación con sustrato bacteriano y aireación suplementaria. Se utilizó iluminación fluorescente para proveer un fotoperiodo de 12:12 horas luz:oscuridad. El pH del agua de cultivo fue ajustado con

carbonato de sodio a medida que fue requerido para mantener un pH de 7.6 ± 0.54 . Se utilizaron juveniles de curvina de la misma generación basándose en la uniformidad de tallas. Estos fueron sembrados a densidades de 7 peces por tanque con un peso promedio de 89.2 g/pez. Una muestra inicial de los peces fue guardada para análisis bioquímicos posteriores.

Se formularon cuatro dietas prácticas para contener niveles crecientes de densidad de nutrientes incremento el contenido de proteína y energía. Las desviaciones de las tasas de proteína: energía fueron minimizadas al mantener la naturaleza práctica de las dietas. Se prepararon dietas con niveles de proteína de 32%, 36%, 40% y 44%; y 3.2, 3.4, 3.6 y 3.8 Kcal/g de energía digestible, respectivamente. El contenido de lípidos fue incrementado con el de la proteína para minimizar las diferencias en las tasas de energía:proteína (E:P) (Tabla 1). La harina de pescado-menhaden (Special Select TM, Zapata Haynie Corporation, Reedville, Ohio USA) y la harina de soya extraída con solventes (Jupe Mill Inc, West, Texas USA) fueron molidas a través de una malla #24 (0.609 mm de diámetro del orificio) antes de mezclarlas con las dietas. Los ingredientes dietarios fueron homogeneizados en una mezcladora (Hobart Corp., Troy, Ohio USA). Posteriormente se agregó agua hirviendo en la mezcla hasta lograr una consistencia apropiada para el peletizado y cada dieta fue peletizada utilizando un molino de carne con un dado de diámetro de 3mm. Las dietas fueron posteriormente secadas hasta llegar a un nivel de humedad de 8 a 10%.

Las dietas experimentales fueron asignadas aleatoriamente a cada uno de los 12 estanques para un total de tres tanques por tratamiento. Basados en observaciones visuales, los peces fueron alimentados a saciedad dos veces al día. La ingestión diaria de alimento fue registrada y la ganancia en peso fue medida cada dos semanas. Los peces fueron cosechados y congelados para análisis bioquímicos al término de las 10 semanas del bioensayo de alimentación.

No se realizaron recambios de agua durante el experimento. Únicamente se agregó agua fresca destilada para compensar las pérdidas por evaporación. Se mantuvieron niveles de Cloroquine en el agua a una concentración de 10.6 mg/l para reducir las posibilidades de infección por Amyloodinium (Lewis et al., 1988). Al final del experimento la eficiencia de conversión proteica fue determinada para cada tipo de alimento. La eficiencia alimenticia fue calculada como (ganancia en peso fresco/ ingestión del alimento en peso seco) X 100. La eficiencia de conversión proteica fue calculada como (ganancia en proteína /proteína ingerida) X 100.

La calidad del agua fue medida a lo largo de todo el experimento. El nitrógeno amoniacal total y el nitrógeno de nitritos fueron medidos tres veces a la semana, mientras que el nitrógeno de nitratos fue medido semanalmente usando métodos fotométricos (Spotte, 1979). La salinidad, temperatura y oxígeno disuelto fueron medidos tres veces a la semana. La demanda bioquímica de oxígeno (BOD5) fue medida semanalmente (Clesceri et al., 1989). La demanda química de oxígeno (DQO) fue medida utilizando viales Accu-Test DQO (Bioscience, Bethlehem, Pennsylvania USA) al principio, a la mitad y al final del experimento. Los sólidos suspendidos totales así como el fósforo total, disuelto (filtrable) y suspendido (no filtrable) fueron medidos a los días 0, 51 y 72, utilizando los métodos de Clesceri et al. (1989). El fósforo fue determinado fotométricamente (Fiske y Subbarow, 1925). Al final del bioensayo de crecimiento, la

Tabla 1. Composición de las dietas experimentales (g./100g de peso seco)

Ingrediente	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3	Dieta 4
Harina de Pescado Menhaden ^a	28.6	32.2	35.9	39.6
Harina de soya ^b	7.2	8.1	9	9.9
NURISH®300 ^c	7.2	8.1	9.0	9.9
Gluten de trigo ^d	3.6	4.0	4.5	4.9
Almidón de trigo ^d	46.8	40.0	33.1	26.1
Aceite de pescado ^e	1.0	2.0	3.0	4.0
Lecitina ^f	0.5	0.5	0.5	0.5
Soluble de Pescado ^b	1.0	1.0	1.0	1.0
Premezcla de Minerales Traza ^g	0.5	0.5	0.5	0.5
Premezcla Vitaminica ^b	3.0	3.0	3.0	3.0
Stay-C ⁱ	0.1	0.1	0.1	0.1
KH ₂ PO ₄ ^j	0.5	0.5	0.5	0.5
Contenido de la Fórmula:				
Proteínas	32.0	36.0	40.0	44.0
Lípidos	4.5	5.9	7.3	8.7
Energía (Kcal/g) ^k	3.2	3.4	3.6	3.8
E:P	0.100	1.094	0.090	0.086

^a Special Select TM, Zapata Haynic Corporation, Hammond, LA, USA.

^b Extraída por solventes, Jupe Mills, Inc., West, TX, USA.

^c Protein Technologies International, St. Louis, MO, USA.

^d United States Biochemical Corporation, Clevely, OH, USA.

^e Zapata Haynic Corporation, Reedville, VA, USA.

^f INC Biochemicals, Clevely, OH, USA.

^g g/Kg de la premezcla: Cloruro de Cobalto 0.004, Pentahidrato de Sulfato Cúprico 0.250, Sulfato Ferroso 4, Heptahidrato de Sulfato de Magnesio, 28.398, Monohidrato de Sulfato de Magnesio 0.650, Yoduro de Potasio .067, Selenio de Sodio 0.010, Heptahidrato de Sulfato de Zinc 13.193, Relleno 53.428.

^h g/100g de la premezcla: Tiamina-HCL 0.5, Riboflavina 3, Piridoxina HCL 1, d1 -Pantotenato de Calcio 5, Acido Nicotínico 5, Biotina 0.05, Acido Fólico 0.18, Vitamina B12 0.002, Cloruro de Colina 100, Inositol 5, Menadiona 2, Acetato de Vitamina A (20,000 IU/g) 5, Vitamina D3 (400,000 IU/g) 0.002, dl-alpha-tocoferol acetato (250 IU/g) 8, Alfa-celulosa 865.266.

ⁱ L-Ascorbyl-2-Polifosfato, Hoffman-LaRouche, Inc., Nutley, NJ, USA.

^j Spectrum Chemical Mfg. Corp., Gardendale, CA, USA.

^k Calculada en base a los valores de Energía Digestible (ED) reportados por Castro (1994) para la curvina y los valores de ED resumidos para bagre y trucha (Halver, 1989)

acumulación neta de sólidos fue determinada utilizando el siguiente procedimiento: los sólidos fueron removidos de los filtros por agitación y se raspó la superficie del sistema. Se permitió que se sedimentaran los sólidos y posteriormente fueron removidos de cada tanque y finalmente cuantificados en base seca. Las muestras de sólidos sedimentados fueron guardadas para análisis

de proteína.

Se seleccionaron tres peces de manera aleatoria tanto de la población inicial como de cada tanque al concluir el experimento y se almacenaron completos para sus análisis. Estos peces fueron homogeneizados y congelados a -10o C. La materia seca fue determinada mediante el secado de los organismos hasta alcanzar un peso constante a una temperatura de 100o C. El contenido de proteína fue determinado para los peces completos, las dietas experimentales y los sólidos sedimentados utilizando el método Micro-Kjeldhal (Ma y Zuazago, 1942). El porcentaje de lípidos para las muestras fue determinado utilizando el método descrito por Folch et al. (1957).

El crecimiento, la composición proximal de los peces y la calidad del agua fueron analizados utilizando un análisis de varianza de una vía (ANOVA) para determinar las diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos y una comparación de medias por el método Student-Neuman-Keuls fue utilizada para distinguir las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. El nitrógeno amoniacal total, el nitrógeno de los nitritos, el nitrógeno de los nitratos, BOD5, pH, y los datos de DO fueron analizados semanalmente promedio valores semanales para cada tanque; y para el experimento completo promediando los valores para cada tanque sobre el total del experimento. Los análisis estadísticos fueron conducidos utilizando el Sistema de Análisis Estadístico (SAS Institute Inc., 1988).

EXPERIMENTO II: EVALUACION DE LOS TRIGLICÉRIDOS DE CADENA MEDIANA

Se llevaron a cabo dos bioensayos de alimentación para evaluar el efecto de diferentes niveles de MFO y MCT en dietas nutricionalmente densas para la curvina, *Scianops ocellatus*. La dieta basal fue similar a la dieta 4 (Tabla 1) pero con la inclusión de 1% MFO y 29.1% de almidón de trigo dando como resultado una dieta basal que contenía 44% de proteína y 5.7% de lípidos. Los suplementos de lípidos (Tabla 2) fueron agregados a la dieta basal reemplazando el almidón de trigo y fue llevada a cabo como se describió previamente. En el experimento IIa se utilizó un diseño factorial incompleto para evaluar la respuesta general de la curvina a los niveles dietarios de MFO y MCT. En el experimento IIb niveles bajos de MCT fueron evaluados en conjunto con niveles bajos (3%) y altos (8%) de lípidos suplementarios.

Antes de iniciar los bioensayos de alimentación, fueron seleccionados juveniles de la misma generación de curvina de talla uniforme, sembrados en un sistema de recirculación semicerrado consistente en cámaras de cultivo (105 lt), filtros de arena de fluido rápido (45-55 mm de arena de sílice), filtros biológicos y bombas de recirculación. Los peces fueron aclimatados a las condiciones experimentales durante un periodo de 7 a 10 días, durante el cual se les suministró un alimento comercial. Se estableció un fotoperiodo de 12:12 horas, luz:oscuridad. En ambos experimentos la temperatura del agua del sistema, salinidad y DO fueron mantenidas a 27 ± 2 o C, 28 ± 2 ppt y 5.9 ± 0.5 ppm, respectivamente. El nitrógeno amoniacal total, el nitrógeno de nitritos y el pH fueron medidos dos veces a la semana. En ambos experimentos los peces fueron contabilizados, pesados y las cámaras de cultivo fueron limpiadas cada semana.

Tabla 2. Suplementos lipídicos (g/100g de dieta en base seca) agregados a la dieta basal, con un contenido de 5.7% de lípidos

Dieta										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Experimento IIa										
Aceite de Menhaden ^a	0	4	8	0	0	4				
Triglicéridos de cadena mediana ^b	0	0	0	4	8	4				
Experimento IIb										
Aceite de Menhaden	0	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Triglicéridos de cadena mediana	0	0	1	2	3	4	0	1	2	3

^a Zapata Haynic Corporation, Reedville, VA, USA.

^b Stepan Food Ingredients Department, Maywood, NJ, USA, Neobee M-5 son Triglicéridos caprílico/capríco basados en ácido láurico.

Cada dieta fue suministrada a los peces en base seca dos veces al día en tanques seleccionados aleatoriamente. En el experimento IIa la alimentación inicial fue de 10% y se utilizaron 4 tanques como replicado por cada tratamiento. En el experimento IIb la tasa inicial de alimentación fue de 7% y se utilizaron 3 tanques como replicado para cada tratamiento. Las tasas de alimentación fueron ajustadas semanalmente considerando la ganancia en peso, los valores de eficiencia alimenticia y las observaciones durante la alimentación. Al finalizar el bioensayo de alimentación, se registró la ganancia en peso, la sobrevivencia y la utilización alimenticia (en base al alimento ofrecido) con la finalidad de determinar los efectos significativos de los tratamientos. Al finalizar los bioensayos de alimentación se extrajo la grasa intraperitoneal (IPF- Intra-peritoneal Fat) y se determinó la tasa IPF (peso del IPF X 100/peso corporal). En el segundo bioensayo de alimentación (IIb) se extrajo el hígado para determinar el índice hepatosómico (HSI-Hepatosomatic Index; peso del hígado X 100 / peso corporal).

Todos los datos fueron sujetos a un análisis de varianza de una vía (ANOVA) para determinar diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las medias de los tratamientos, y se utilizó una prueba de comparación múltiple de Student-Neuman-Keuls para distinguir las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. Los análisis estadísticos fueron realizados mediante el Sistema de Análisis Estadísticos (SAS Institute Inc. 1988).

RESULTADOS Y DISCUSION

RESPUESTA A LAS DIETAS NUTRICIONALMENTE DENSAS

Esta investigación fue llevada a cabo para evaluar los efectos de la densidad de los nutrientes dietarios, específicamente los niveles de proteína y energía, sobre el crecimiento y retención

proteica de la curvina y los efectos de los desperdicios resultantes en los sistemas cerrados. Las dietas experimentales fueron formuladas considerando los requerimientos de nutrientes recomendados actualmente y las formulaciones de dietas prácticas para la curvina. Para mantener una formulación práctica con un mínimo de cambios nutricionales en el perfil de los aminoácidos, tasa E:P y contenido de fibra se mantuvo constante la tasa de proteína de las fuentes utilizadas y los lípidos fueron ajustados para incrementar la energía dietaria en conjunto con los niveles de proteína. Las manipulaciones de estas dietas en combinación con la alimentación a saciedad y la utilización de peces relativamente grandes, hacía esperar que los resultados ofrecieran diferencias mínimas en las tasas de crecimiento y cargas finales de biomasa. Aunque no se registraron diferencias en el crecimiento, los pesos finales y la biomasa de los peces se incrementaron al incrementar la densidad de nutrientes de la dieta (Tabla 3).

Tabla 3. Respuesta de la curvina a las dietas experimentales ofrecidas durante un periodo de 10 semanas.^a

Dieta	Peso final(g)	Peso ganado (g)	Biomasa (g)	Sobre-vivencia (%)	Alimento suministrado ^b (g)	Proteína consumida ^c (g)	TEA ^d (%)	ECP ^e (%)
1	156.7 ^y	69.0 ^y	997.7 ^y	90.5 ^z	1221.1 ^z	392.2 ^y	38.1 ^x	20.4 ^y
2	197.4 ^z	106.6 ^{y^z}	1381.6 ^{y^z}	100.0 ^z	1399.0 ^z	492.5 ^z	53.3 ^{xy}	25.8 ^{y^z}
3	222.5 ^z	131.7 ^z	1495.4 ^{y^z}	95.2 ^z	1341.7 ^z	538.0 ^z	66.4 ^z	30.0 ^z
4	225.9 ^z	138.3 ^z	1581.2 ^z	100.0 ^z	1207.2 ^z	534.6 ^z	80.1 ^z	31.2 ^z
ESM ^f	12.0	11.9	125.6	5.2	60.0	24.5	5.7	2.3

^aMedias de tres replicados. Los números dentro de la misma columna con diferente superscript son significativamente diferentes ($P << 0.05$).

^bAlimento promedio total consumida por tanque, expresado en gramos en peso seco.

^cProteína promedio total consumida por tanque, expresada en gramos en peso seco.

^dTasa de eficiencia alimenticia estimada, basada en el promedio de peso seco del alimento consumida por pez.

^eEficiencia de conversión proteica, basada en el promedio de peso seco de la proteína consumida por pez

^fError estándar combinado

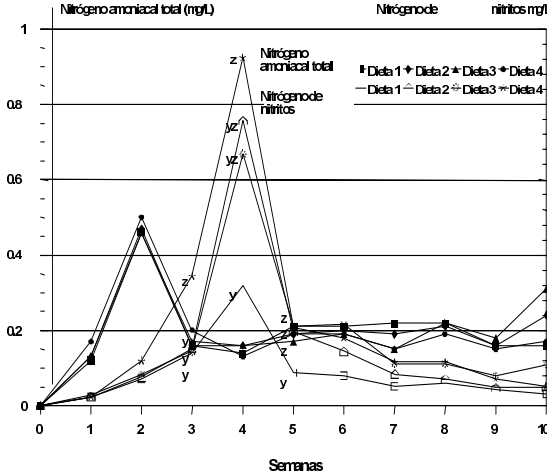
En el presente experimento no se registraron diferencias significativas en cuanto al alimento total consumido. Sin embargo, el consumo total de proteína se incrementó significativamente a medida que se incrementó la densidad de nutrientes. Este aumento se debió en gran parte al incremento en la densidad de proteína y energía de las dietas y al incremento en la talla de los peces mantenidos con dietas altas en proteína. Las tasas de eficiencia alimenticia y de eficiencia de conversión proteica también se incrementaron significativamente al aumentar la densidad de los nutrientes (Tabla 3), indicando que los peces estaban utilizando las dietas nutricionalmente

densas de manera más eficiente para el crecimiento y estaban consumiendo menos de estas dietas por unidad de biomasa. Los resultados son consistentes con los encontrados por Daniels y Robinson (1986) quienes reportaron incrementos de la utilización alimenticia a medida que se incrementaba la proteína dietaria, y Serrano et al., (1992) quienes reportaron un incremento en la eficiencia alimenticia a medida que se incrementaban los niveles de proteínas y lípidos. La eficiencia de conversión proteica evaluada en este experimento (Tabla 3) fue mayor que la reportada previamente (Daniels y Robinson, 1986). La mejor utilización alimenticia y proteica asociada con el incremento en la densidad de nutrientes de la dieta sugiere que existe menos desperdicio excretado que el que ha sido reportado por Watanabe et al., (1987) y Cho et al., (1991, 1994).

Los valores promedio iniciales de materia seca y el contenido de proteína de los peces utilizados en este experimento fueron de 31.6% y 59.4%, respectivamente. No se encontraron diferencias significativas en cuanto a materia seca, proteína o contenido de lípidos en las muestras corporales entre los tratamientos al final del experimento o en los bioensayos preliminares. La materia seca varió de 25.5% (dieta 2) a 26.5% (dieta 3). El contenido de proteína varió de 70.7% (dieta 1) a 68.5% (dieta 3). El contenido total de lípidos corporales de los peces mantenidos con las diferentes dietas varió de 16.3% (dieta 2) a 17.7% (dieta 1). Daniels y Robinson (1986) y Serrano et al. (1992) encontraron que las variaciones en la concentración de proteína dietaria no afectaban las concentraciones de proteína corporal total, pero aumentando las concentraciones dietarias de lípidos disminuía el contenido proteico corporal total y se incrementaba el depósito de lípidos. En el presente estudio no se registraron diferencias significativas en cuanto al contenido lipídico corporal indicando que las tasas de energía/proteína utilizadas estuvieron dentro de los límites de tolerancia para esta especie.

Los parámetros de calidad de agua fueron seguidos a través de todo el estudio. La salinidad, temperatura y DO fueron mantenidos a (media \pm desviación estándar): 26.2 \pm 1.4 ppt; 27.9 \pm 1.4p C; 6.2 \pm 0.4 mg/L. Los promedios semanales de nitrógeno amoniacal total, nitrógeno de nitritos, nitrógeno de nitratos y BOD5 son presentados en la Figura 1 y 2. Se presentaron máximos en el nitrógeno amoniacal total, el nitrógeno de nitritos y nitrógeno de nitratos de manera secuencial, correspondiendo a las respuestas sucesivas de las bacterias en los filtros a la carga de nitrógeno en el sistema de cultivo. El nitrógeno amoniacal total y el nitrógeno de nitritos permanecieron por debajo del máximo nivel tolerable para la curvina, y no debieron influir en el crecimiento y la sobrevivencia. Fueron observadas diferencias significativas en los valores de nitrógeno de nitritos (Fig. 1) durante las semanas 3 a 5, cuando los valores se observaron en su máximo. Durante este periodo, los altos valores de nitrógeno de nitritos correspondieron al nivel proteico de las dietas. La biomasa y el consumo de proteína total se incrementaron con el aumento en la densidad de los nutrientes, y se esperaba que tuvieran un efecto sobre la producción de nitrógeno como fue mostrado por Savitz (1971) y Savitz et al. (1977) quienes encontraron que la excreción de nitrógeno se incrementaba con el aumento del consumo de proteína. Resultados similares también han sido observados en sistemas en estanques en los cuales los niveles de nitrógeno amoniacal total y nitrógeno de nitritos se incrementaban al aumentar la biomasa, el consumo de alimento y el contenido de proteína de la dieta (Tucker y Boyd, 1979; Li y Lovell, 1992). Los valores relativamente bajos de nitrógeno de nitratos que

se presentaron en los sistemas indicaron una pérdida de este sustrato, probablemente como un resultado de desnitrificación en las áreas anaerobias locales dentro de las cámaras de cultivo. Con la excepción de los pulsos iniciales de nitrógeno, la falta de tendencias claras en estos parámetros de calidad del agua pueden ser atribuidas a la capacidad del filtro biológico para llevar a cabo efectivamente este proceso de los nutrientes y también a la variabilidad inherente de la naturaleza biológica del sistema.

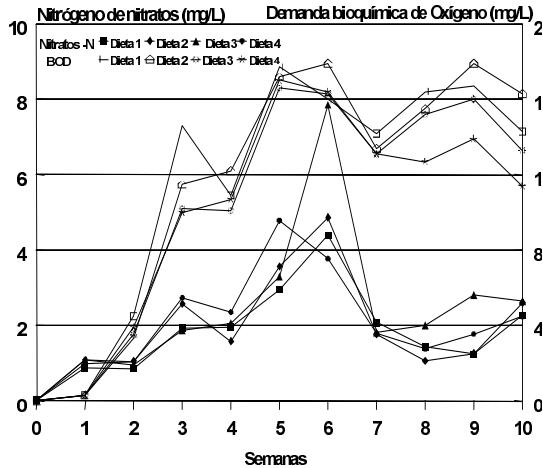


Nota: La semana 0 representa el valor inicial, el resto de los datos representa el promedio semanal

Figura 1. Valores iniciales y valores promedio semanales de nitrógeno amoniacal total y nitrógeno de nitritos para el agua de cultivo de los sistemas que recibieron los cuatro tratamientos dietarios. Los valores semanales representan el promedio de tres lecturas semanales de tres replicados (tanques). Los valores de nitrógeno de nitritos con diferentes superscripts son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

La determinación de BOD5 es una prueba empírica que mide la cantidad de oxígeno utilizado para la degradación bioquímica de la materia orgánica (Clesceri, et al., 1989). Bajo las condiciones reportadas, los valores de BOD5 se incrementaron durante la primera mitad del bioensayo experimental y posteriormente parecieron descender (Fig. 2). Un efecto significativo no pudo ser identificado en respuesta a los diferentes tratamientos dietarios lo cual pudo ser debido a la inestabilidad y eventos cíclicos asociados con el ciclo de nitrógeno y a la flora bacteriana presente en el sistema.

La demanda química de oxígeno es utilizada como una medida del equivalente en oxígeno del contenido orgánico de la materia que es susceptible a la oxidación por un oxidante químico



Nota: La semana 0 representa el valor inicial, el resto de los datos representan los valores semanales por

Figura2. Valores iniciales y valores promedio semanales del nitrógeno de nitratos y de la demanda biológica de oxígeno (BOD5) del agua de cultivo de los sistemas que recibieron los cuatro tratamientos dietarios. Los valores semanales representan en promedio de tres lecturas semanales de tres replicados (tanques). No se encontraron diferencias significativas (P- 0.05) en los valores de nitrógeno de nitratos y BOD⁵

fuerte (Clesceri, et al., 1989). Los valores de DQO obtenidos hasta el final del experimento (Tabla 4) decrecieron significativamente es cuando se incrementaba la densidad de nutrientes indicando que a medida que las dietas eran más densas en nutrientes se disminuía la DQO o el contenido orgánico total del sistema.

Las dietas experimentales utilizadas en este estudio fueron suplementadas consecuentemente con niveles fijos de fósforo inorgánico, los niveles de fósforo de las dietas se incrementaron con el aumento de proteína y el contenido energético. Aunque estas dietas no fueron formuladas para optimizar la ingestión de fósforo, se encontraron algunas diferencias entre los tratamientos dietarios en cuanto a la cantidad de fósforo presente en el agua de cultivo. El fósforo total suspendido disminuyó significativamente a medida que aumentaba la densidad de los nutrientes (Tabla 4). Alsted (1991) mostró que los peces alimentados con dietas con niveles similares de proteína excretaban diferentes cantidades de fósforo; sin embargo, Kiaerskou (1991) mostró

Tabla 4. Demanda química de oxígeno (DQO) y niveles de fósforo del agua de cultivo de los tanques conteniendo a los peces a los que les fueron suministradas las dietas experimentales^a.

Demanda química de oxígeno (mg/L)			Niveles de Fósforo en el día (mg/L)		
Dieta	Día 51	Día 70	Total	Disuelto	Suspendido
1	67.9 z	351.3 y	0.058 z	0.015 z	0.042 y
2	91.7 z	316.1 y	0.061 z	0.061 z	0.024 z
3	58.8 z	155.4 z	0.061 z	0.048 z	0.013 z
4	73.5 z	88.6 z	0.068 z	0.054 z	0.014 z
ESC	15.6	43.6	0.0094	0.0096	0.0040

^a Medias de tres replicados. Los números dentro de la misma columna con diferente superscript con significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^b Al inicio de los experimentos, los niveles de fósforo estaban por debajo d los limites detectables para todos los tratamientos.

^c Error estándar combinado.

que los peces alimentados con dietas poco contaminantes o nutricionalmente densas tenían una menor cantidad de fósforo en las heces.

Los sólidos suspendidos no mostraron diferencias significativas (Tabla 5) lo que pudo haber sido debido al pequeño tamaño de los tanques y a la relativamente gran biomasa de los peces presentes. La actividad de los peces pudo haber provocado turbulencias que suspendieron los sólidos que ya se habían sedimentado en el fondo del tanque, incrementando potencialmente la variabilidad de los resultados. Existió un movimiento considerable de agua provocado por los filtros y piedras aireadoras lo que también pudo haber tenido un efecto sobre la cantidad de sólidos presentes en la columna de agua.

La cantidad de sólidos acumulados en los tanques al final del bioensayo de alimentación generalmente disminuyó al incrementar la densidad de nutrientes, sin embargo no se registraron diferencias significativas. Cuando la cantidad de sólidos es expresada en términos de biomasa final, la cantidad de sólidos producida por unidad de biomasa disminuyó significativamente al aumentar la densidad de nutrientes (Tabla 5), indicando que la densidad de los nutrientes de la dieta tenía un efecto sobre la cantidad de sólidos acumulados en el sistema. Estos resultados son consistentes con los encontrados por Kiaersku (1991) quien también encontró un decremento en la cantidad de sólidos producidos en el sistema cuando los peces fueron alimentados con dietas poco contaminantes.

OPTIMIZACION DE LOS SUPLEMENTOS LIPIDICOS

Los resultados indican claramente una ventaja en el uso de dietas nutricionalmente densas en términos de aumento de las tasas de crecimiento y la reducción de desperdicios.

Tabla 5. Sólidos suspendidos totales del agua de cultivo a los 51 y 70 días y acumulación neta de sólidos (expresada como: peso seco total, sólidos (g) por kg de alimento, y sólidos (g) por kg de biomasa) y contenido de nitrógeno de los sólidos colectados en los tanques al término del bioensayo de crecimiento.

Sólidos Suspendidos totales				Acumulación Neta de Sólidos		
Dieta	Día 51	Día 70 (g)	Peso Seco alimento ^b	g sólidos/kg biomasa ^c	g sólidos/kg	Nitrógeno (%)
1	252.3 ^z	146.9 ^z	308.6 ^z	252.7 ^z	319.4 ^y	2.5 ^z
2	487.5 ^z	404.4 ^z	319.6 ^z	229.6 ^z	232.2 ^{yz}	2.5 ^z
3 d	39.0 ^z	146.7 ^z	209.2 ^z	178.5 ^z	123.7 ^z	2.2 ^z
4	67.8 ^z	148.5 ^z	222.7 ^z	152.2 ^z	137.4 ^z	2.3 ^z
ESC ^e	149.6	179.5	40.3	0.026	0.03	0.34

^a Medias de tres replicados. Los números dentro de la misma columna con diferente superscript son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^b Calculado como gramos de sólidos producidos por kg de alimento consumido.

^c Calculado como gramos de sólidos producidos por kg de biomasa de peces (peso fresco) presentes en el tanque final del experimento.

^d Los datos de los sólidos totales representan la media de dos replicados.

^e Error estándar combinado.

Sin embargo, para aumentar la densidad energética de estas dietas, los niveles de lípidos se requieren incrementar igualmente. Una desventaja potencial en el incremento de los niveles de lípidos de la dieta es la acreción de lípidos intraperitoneales, lo que puede repercutir en la calidad del producto y reducir su vida de anaquel debido a la oxidación lipídica. Los triglicéridos de cadena mediana (MCTs), principalmente C6-C12, son compuestos fisiológicamente activos que parecen ser utilizados preferencialmente como fuente de energía por las ratas y reducen el crecimiento de tejido adiposo (Lavau y Hashim, 1978; Hashim y Taatibhedyangkul, 1987). La incorporación de MCT en las dietas puede aumentar la disponibilidad de energía sin aumentar el depósito de lípidos. Consecuentemente, la segunda parte de esta investigación fue diseñada para evaluar la utilización de los MCT como fuente de lípidos en dietas nutricionalmente densas.

Se llevaron a cabo dos bioensayos de alimentación (IIa y IIb) para evaluar la respuesta biológica de la curvina a diferentes niveles de MFO y MCT suplementados en una dieta basal conteniendo 44% de proteína y 5.7% de lípidos. En el experimento IIa se utilizó un diseño factorial incompleto para evaluar la respuesta general de la curvina a los niveles dietarios de MFO y MCT. El peso final, la eficiencia alimenticia y la eficiencia en la conversión proteica fueron significativamente afectados tanto por la fuente de lípidos como por el nivel de inclusión. El incremento de los niveles de MFO resultó en diferencias mínimas en ganancia en peso y utilización alimenticia (Tabla 6) indicando que el contenido de energía de la dieta basal no era

limitante. Sin embargo, la suplementación de MCT redujo significativamente la ganancia en peso y la utilización alimenticia de los peces. Los peces a los cuales se les ofrecieron dietas conteniendo 8% de MCT o 4% de MCT y 4% de MFO crecieron mejor y utilizaron más eficientemente el alimento que aquellos que recibieron 4% de MCT. Estos resultados podrían indicar una interacción de los efectos de los niveles de MCT y el nivel lipídico total de las dietas. En el experimento Iib niveles bajos de MCT fueron evaluados en conjunto con niveles bajos (3%) y altos (8%) de lípidos suplementados en la dieta basal. En ese experimento, el nivel de los lípidos suplementados no afectó significativamente la ganancia en peso o la eficiencia de conversión alimenticia. Estos resultados están en concordancia con otros estudios que han evaluado diferentes niveles de lípidos suplementados en dietas para la curvina (Daniels y Robinson, 1986; Williams y Robinson, 1988; Ellis y Reigh, 1991; Serrano et. al., 1992). Sin embargo, la suplementación de MCT redujo significativamente la ganancia en peso y la utilización alimenticia (Tabla 8). La falta de interacciones significativas en el segundo experimento se debe presumiblemente a los menores valores de los niveles de MCT evaluado.

Tabla 6. Respuesta de la curvina a dietas prácticas con diferentes niveles de aceite de menhaden (MFO) y triglicéridos de cadena mediana (MCT) utilizados como suplementos en el experimento IIa^a.

MFO	MCT	Peso promedio final	Sobrevivencia (%)	TEA ^b	ECP ^c
0	0	41.2 ^z	89.6 ^z	113.6 ^z	45.8 ^z
4	0	41.5 ^z	91.7 ^z	113.3 ^z	45.1 ^z
8	0	44.2 ^z	91.7 ^z	114.6 ^z	46.2 ^z
0	4	9.7 ^x	87.5 ^z	41.9 ^x	17.9 ^x
0	8	32.4 ^y	93.7 ^z	101.2 ^y	39.9 ^{yz}
4	4	34.3 ^y	93.7 ^z	99.9 ^y	38.4 ^y
ESC ^d		1.75	6.54	1.96	2.06

^aMedias de tres replicados . Los números dentro de la misma columna con diferente superscript son significativamente diferentes (P << 0.05).

^bTasa de eficiencia alimenticia (TEA) basada en el peso seco promedio de alimento ofrecido a los peces.

^cEficiencia de conversión proteína (ECP) basada en el peso seco promedio de alimento ofrecido a los peces.

^dError estándar combinado.

La adición de suplementos de MFO a la dieta resultó en valores crecientes de IPF en ambos experimentos (Tabla 7 y 8) y niveles ascendentes de lípidos en las muestras corporales del experimento IIa (Tabla 7). Estos resultados confirmarían que la dieta basal no estaba carente de energía y que el incremento de los niveles de MFO facilitaba el depósito de lípidos. Sin embargo, la adición de los suplementos de MCT a las dietas resultó en valores reducidos de IPF en ambos experimentos (Tabla 7 y 8) y en la reducción de los niveles de lípidos en las muestras corporales

totales del experimento IIa (Tabla 7) al ser comparadas con dietas conteniendo MFO como la fuente lipídica. Las reducciones en las reservas de lípidos indicarían que los MCT tienen un efecto sobre el metabolismo lipídico y/o su almacenamiento.

No obstante que esta investigación no pretendía evaluar el metabolismo de los MCT, los resultados de ganancia en peso y depósito de lípidos son similares a aquellos reportados para las ratas (Horst et. al., 1961). En otras especies se ha demostrado que los MCT son rápidamente absorbidos, aún en ausencia de lipasas pancreáticas, hidrolizados en cadenas de ácidos grasos medianas y transportados via la vena portal hacia el hígado en donde son extensivamente oxidados (Hashim y Tantibhedyangkul, 1987). Las cadenas medianas de triglicéridos no son incorporadas en los quilomicrones y por consiguiente es poco probable que sean almacenadas en los tejidos adiposos (Kennedy, 1991). Consecuentemente, han sido utilizadas en tratamientos de una variedad de síndromes de mala absorción, así como en tratamientos de infantes prematuros. La presente investigación demostró que los MCT pueden ser utilizados como suplemento dietario para reducir las reservas de lípidos pero que la disponibilidad de energía y consecuentemente el crecimiento pueden ser afectados si se utilizan altos niveles.

Tabla 7. Medida biológicas y comparación proximal de muestras de cuerpo total de curvina alimentadas con dietas conteniendo diferentes niveles de aceite de menhaden (MFO) y triglicéridos de cadena mediana (MCT) utilizados como suplementos en el experimento II^{ab}.

MFO	MCT	Tasa de IPF	Análisis corporal (g/100g)		
			Maeria seca	Proteína ^c	Lípidos ^c
0	0	1.28 ^x	27.5 ^z	63.4 ^{yz}	13.9 ^y
4	0	1.53 ^y	29.3 ^z	58.9 ^y	18.7 ^z
8	0	2.23 ^z	30.4 ^z	57.4 ^y	19.9 ^z
0	4	0.10 ^u	25.8 ^z	67.2 ^z	6.2 ^w
0	8	0.50 ^v	26.9 ^z	63.5 ^{yz}	11.2 ^x
4	4	0.97 ^w	27.4 ^z	60.9 ^y	16.8 ^z
ESC ^d		0.094	1.32	1.76	1.05

^aNo se presentaron diferencias significativas en la composición proximal de las muestras de filete. Los valores promedio del contenido de materia seca, proteína y lípidos fueron 22.9%, 84.7% y 5.31%, respectivamente.

^bMedias de tres replicados. Los números dentro de la misma columna con diferente superscript son significativamente diferentes (P << 0.05).

^cExpresada en peso seco.

^dError estándar combinado.

Tabla 8. Respuesta de la curvina a dietas prácticas con diferentes niveles de aceite de menhaden (MFO) y triglicéridos de cadena mediana (MCT) utilizados como suplementos en el experimento Iiba.

MFO	MCT	Peso promedio final	Sobrevivencia (%)	TEA ^b	Tasa de IPF	HIS
0	0	25.0 ^{yz}	88.9 ^z	107.6 ^z	0.77 ^{wx}	2.76 ^z
8	0	26.1 ^{yz}	97.2 ^z	112.2 ^z	1.76 ^z	2.87 ^z
7	1	30.3 ^z	94.4 ^z	113.4 ^z	1.58 ^{yz}	2.83 ^z
6	2	22.3 ^{yz}	94.4 ^z	96.6 ^{xy}	1.25 ^{xy}	2.60 ^z
5	3	22.0 ^{yz}	94.4 ^z	102.4 ^{xyz}	0.70 ^{vw}	2.67 ^z
4	4	19.7 ^y	97.2 ^z	97.2 ^{xy}	0.64 ^{vw}	2.79 ^z
3	0	25.6 ^{yz}	94.4 ^z	107.4 ^{yz}	0.84 ^{wx}	2.35 ^z
2	1	26.1 ^{yz}	94.4 ^z	112.0 ^z	0.83 ^{wx}	2.61 ^z
1	2	21.5 ^y	100.0 ^z	101.3 ^{xyz}	0.23 ^v	2.26 ^z
0	3	19.7 ^y	97.2 ^z	93.6 ^y	0.20 ^v	2.04 ^z
ESC ^c		1.80	4.02	2.83	0.128	0.262

^aMedias de tres replicados. Los números dentro de la misma columna con diferente superscript son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^bTasa de eficiencia alimenticia (TEA) basada en el peso seco promedio del alimento ofrecido a los peces.

^cError estándar combinado

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones reportadas el desempeño de la curvina fue mejor con aquellas dietas que contenían altos niveles de proteína y energía y estas dietas fueron más eficientemente utilizadas sin afectar significativamente la composición corporal total de los peces. Esto resultó en un mayor crecimiento por unidad de alimento consumido y menor alimento consumido por unidad de biomasa de los peces, reduciendo así el alimento desperdiciado y la carga de desperdicio por unidad de alimento suministrado. Los registros de calidad del agua indicaron que la manipulación de la densidad de los nutrientes de la dieta puede reducir significativamente los sólidos netos acumulados, DQO y fósforo suspendido, los cuales representan la acumulación de los contaminantes en el tiempo. Debido a la naturaleza variable de algunos de los parámetros de calidad de agua (nitrógeno amoniacal total, nitrógeno de nitratos, BOD5 y sólidos suspendidos totales), las variaciones en el consumo alimenticio diario de los peces y la habilidad de los filtros para procesar de manera eficaz los nutrientes, no se pudieron atribuir tendencias a los efectos de los tratamientos dietarios sobre estos parámetros de la calidad de agua. Basados en resultados previamente publicados y los reportados en el presente estudio, se deduce que las manipulaciones en las dietas pueden reducir significativamente

la carga de desperdicio asociada con el cultivo de la curvina.

Una desventaja potencial de las dietas nutricionalmente densas es que se requiere incrementar los niveles de lípidos, lo cual puede resultar en una acreción del depósito intraperitoneal de grasas. Dichos niveles excesivos de grasas pueden resultar en una baja calidad del producto y una reducción en la vida de anaquel ocasionada por la oxidación de lípidos. No obstante que los MCT no parecen aumentar la disponibilidad energética, como se demostró por la ausencia de crecimiento a altos niveles, la suplementación reduce los depósitos de grasa intraperitoneal, posiblemente inhibiendo la lipogénesis. Consecuentemente, la incorporación de bajos niveles ($\ll 2\%$) puede ser ventajosa si los niveles de grasa intraperitoneal se vuelven extremos.

No obstante que resulta difícil determinar el valor de la reducción de desperdicios asociada a las dietas nutricionalmente densas se pueden determinar fácilmente los costos de alimentación y por consecuencia los costos de producción debido al suministro de alimento. Utilizando las fórmulas presentadas, y los costos estándar de manufactura, el costo de la dieta 1 fue estimado en 75% del costo de la dieta 4. Consideró las tasas de eficiencia alimenticia (TEA) observadas de 38.1 y 80.1% para las dietas 1 y 4, respectivamente, el costo para producir los peces con la dieta 4 sería de 63% del requerido para producir los peces con la dieta 1. Con un ahorro agregado al envío y reducciones de desperdicio parecería que existen ventajas económicas reales que pudieran alcanzarse a través de la utilización de dietas nutricionalmente densas. Estos resultados garantizan la evaluación continua y expansión de las aproximaciones nutricionales hacia la reducción de los contaminantes en la acuicultura.

AGRADECIMIENTOS

Una parte del material de este manuscrito fue derivada de la tesis de maestría de D.O. Jirsa (1994). Esta investigación fue financiada en parte por la Fundación Sid W. Richardson y el Departamento de Comercio de los Estados Unidos, NOAA/NMFS, y el Saltonstall-Kennedy Grant Program. Los autores desean expresar su gratitud a Stepan Food Ingredient Department, Zapata Haynie Corporation y Protein Technologies International por su asistencia en el suministro de los ingredientes. La mención de marcas o productos no constituyen un aval por la Universidad de Texas en Austin y no implica su aprobación para la exclusión de otros productos que pudieran ser también adecuados. Esta es la contribución No. 100-96 del Instituto de Ciencias Marinas de la Universidad de Texas en Austin.

LITERATURA CITADA

- Alsted, N.S., 1991. Studies on the reduction of discharges from fish farms by modification of the diet. In: C.B. Cowey y C.Y. Cho (Editors). Nutritional Strategies y Aquaculture Waste. Proceedings, 1st International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste. University of Guelph, Guelph, Ont., Canada, 1990, pp.77-88.
- Batterson, T.R., 1993. Interregional waste management program outlined. Waterlines: Newsletter of the western regional aquaculture center, 5(2):5,13.

- Boyd, C.E. y Musig, Y., 1992. Shrimp pond effluents: Observations of the nature of the problem on commercial farms. In: J. Wyban (Editor). Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming. World Aquaculture Society. Baton Rouge, Louisiana, pp. 195-197.
- Chen, S.N., Liu, W.Y. y Kou, G.H., 1993. Investigation on the mass mortality of cultured *Penaeus monodon* y *P. japonicus*. Page 4. Abstracts of International Symposium on Shrimp Culture in Asia-Pacific Region. The China Society of Fisheries.
- Cho, C.Y., Hynes, J.D., Wood, K.R. y Yoshida, H.K., 1991. Quantification of fish culture wastes by biological (nutritional) y chemical (luminological) methods; the development of high-nutrient dense (HND) diets. In: C.B. Cowey y C.Y. Cho (Editors). Nutritional Strategies y Aquaculture Waste. Proceedings, 1st International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste. University of Guelph, Guelph, Ont., Canada 1990, pp. 37-50.
- Cho, C.Y., Hynes, J.D., Wood, K.R. y Yoshida, H.K., 1994. Development of high-nutrient-dense, low-pollution diets y prediction of aquaculture wastes using biological approaches. *Aquaculture*, 124:293-305.
- Clesceri, L.S., Greenburg, A.E. y Trussell, R.E., 1989. *Styard Methods for the examination of water y wastewater*, 17th ed. American Public Health Association, Washington D.C.
- Daniels, W.J. y E.H. Robinson. 1986. Protein: energy requirements of red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture*, 53:263-270.
- Ellis, S.C. y Reigh, R.C., 1991. Effects of dietary lipid y carbohydrate levels on growth y body composition of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture*, 97:383-394.
- FAO., 1992. *Aquaculture production*. Food y Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. FAO Fisheries Circular, No 815, Revision 4, 206 p.
- Fiske, C.H. y SubbaRow, R., 1925. The calorimetric determination of phosphorus. *Journal of Biological Chemistry*, 66:375.
- Folch, J., Lees, M. y Sloan-Stanley, G.H., 1957. A simple method for the isolation y purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226:497-507.
- Folke, C. y Kautsky, N., 1991. Ecological economic principles for aquaculture development. Pages 207-222 in C.B. Cowey y C.Y. Cho, editors. *Nutritional Strategies y Aquaculture Waste*. Proceedings of the First International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste. University of Guelph. Guelph, Ontario, Canada, 1990.

- Hashim, S. A. y Tantibhedyangkul, P., 1987. Medium chain triglyceride in early life: Effects on growth of adipose tissue. *Lipids*, 22:429-434.
- Horst, A., Kaganowicz, I., Zagórska, I. y Ro fynkowa, D., 1961. Disappearance of depot fat in rats fed extremely hydrogenated oils. *American Journal of Physiology* 201:617-620.
- Jorsa, D. O., 1994. The effect of dietary nutrient density on water quality y growth of red drum (*Sciaenops ocellatus*) in closed systems. Master's thesis. The University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA.
- Kennedy, J. P., 1991. Structured lipids: Fats of the future. *Food Technology*. pp 76-83.
- Kiaerskou, J., 1991. Production y economics of low pollution diets for the aquaculture industry. In: C.B. Cowey y C.Y. Cho (Editors). *Nutritional Strategies y Aquaculture Waste. Proceedings, 1st International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste*. University of Guelph, Guelph, Ont., Canada, pp. 65-76.
- Lavau, M.M. y Hashim, S.A., 1978. Effect of MCT on lipogenesis of body fat in the rat. *Journal of Nutrition*, 108:613.
- Lewis, D.H., Wang, Wexing, Ayers, A. y Arnold, C.R., 1988. Preliminary studies on the use of chloroquine as a systemic chemotherapeutic agent for Amyloodinosis in red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Contributions in Marine Science, Supplement to volume 30*:183-189.
- Li, M., y Lovell, T., 1992. Effect of dietary protein concentration on nitrogenous waste in intensively fed catfish ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 23:122-127.
- Liao, I-C, 1992. Marine prawn culture industry of Taiwan. In: A. W. Fast y L.J. Lester (Editors). *Marine Shrimp Culture: Principles y Practices*. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 653-675.
- Ma, T.S. y Zuazago, G., 1942. Micro-Kjeldhal determination of nitrogen. A new indicator y an improved rapid method. *Industrial y Engineering Chemistry*, 14(1):280-282.
- SAS Institute Inc., 1988. *SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 Edition*. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Savitz, J., 1971. Nitrogen excretion y protein consumption of the bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 28:449-451.
- Savitz, J., Albanese, E., Evinger, M.J. y Kolasinski, P. 1977. Effect of ration level on nitrogen excretion, nitrogen retention y efficiency of nitrogen utilization for growth in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Journal of Fish Biology*, 11:185-192.
- Serrano, J.A., Nematipour, G.R. y Gatlin, D.M., III., 1992. Dietary protein requirement of the red drum (*Sciaenops ocellatus*) y relative use of dietary carbohydrate y lipid. *Aquaculture*, 101:283-291.

**ALGUNOS ASPECTOS DE LA NUTRICION DEL CAMARON
BLANCO (*Penaeus setiferus*) Y EL CAMARON ROSADO (*P. duorarum*)
DEL GOLFO DE MÉXICO**

*María Gabriela Gaxiola Cortés; Ruth Pedroza,
Liliana Gómez, Norma López, Tsai García*

**Grupo de Maricultura
Laboratorio de Ecofisiología
Fac. de Ciencias, UNAM
Tel + 5 622 4829. Fax + 5 622 4848
e-mail mggc@hp.fciencias.unam.mx**

RESUMEN

El Grupo de Maricultura de la Fac. de Ciencias de la UNAM ha realizado una serie de estudios referentes a la nutrición de las postlarvas y los juveniles del camarón blanco del Golfo de México. En estos estudios se obtuvieron los requerimientos nutricionales de las postlarvas de 30 y 40 días de edad. Las postlarvas de 30 días de las dos especies de camarón presentaron un requerimiento de proteína del 50%, cuando la energía dietética fue de 3.83 kcal/g. Los requerimientos nutricionales de las postlarvas de *P. setiferus* de 40 días fueron de 40% de proteínas, 12% de carbohidratos, 8.26-8.5% de lípidos, con una energía digestible de 3 kcal/g. Las postlarvas de *P. duorarum* de 40 días mostraron un requerimiento de 40% de proteínas, 12-36.47% de carbohidratos y de 5.78-16.9% de lípidos. Las necesidades de energía para *P. duorarum* variaron entre 3 y 4 kcal/g. Los juveniles de *P. setiferus* presentaron un requerimiento de proteína dietética del 30%. Estos resultados señalan que el requerimiento de proteína de las postlarvas y juveniles de *P. setiferus* decae de manera gradual, en relación directa con los cambios en el ciclo de vida de estos crustáceos, lo que permitirá ajustar la alimentación de los organismos en los estanques, en particular en el sistema intensivo, en donde la alimentación depende en gran medida de los alimentos artificiales. Además con este esquema básico de alimentación, se reducirán los costos de producción del alimento, ya que se puede controlar la inclusión de las fuentes de proteína en las cantidades adecuadas, de acuerdo con la edad de los camarones, en condiciones de siembra directa para la engorda de estos organismos.

INTRODUCCION

Uno de los aspectos que ha llevado al éxito a la camaricultura es el manejo de la alimentación de estos organismos en condiciones controladas. Ello ha requerido un gran esfuerzo de investigación para poder conocer los requerimientos nutricionales de las especies cultivables, tomando en cuenta los factores ambientales, fisiológicos y ontogenéticos (Akiyama, 1993; Tacon, 1990).

Sin embargo, las necesidades nutricionales de las postlarvas de los camarones peneidos nativos del Golfo de México, especialmente *Penaeus setiferus* y *P. duorarum* no han sido estudiadas. Aunque para los juveniles de estas especies se han abordado los requerimientos nutricionales, estos han sido analizados en función solamente de la respuesta nutricional (crecimiento y sobrevivencia) (Sick y Andrews, 1973; Andrews et al., 1972; Condrey et al., 1972; Fenucci et al., 1980; Lee y Lawrence, 1985; y Lawrence et al., 1986).

Las razones por las que se había desistido de estudiar los requerimientos nutricionales de estos crustáceos, partieron de los trabajos comparativos que se realizaron en Carolina del Sur, por Parker et al. (1974), en los cuales se demostró que *Penaeus vannamei* presentó un mejor crecimiento que *P. setiferus* en cultivo semi-intensivo. Por lo tanto se abandonó la investigación que produciría las tecnologías de cultivo adecuadas para cada especie del Golfo (Sandifer et al., 1993).

Sin embargo, en la actualidad se ha reconocido que el cultivo comercial del camarón blanco del Pacífico Occidental presenta numerosas dificultades por ser una especie muy susceptible a contraer enfermedades de origen viral. Por ello se han realizado investigaciones en estanques para conocer las potencialidades de las especies del Golfo de México. A manera de conclusión ha sido señalado que *P. setiferus* es una especie idónea para ser cultivada a nivel comercial, mientras que *P. duorarum* no alcanza tallas comerciales, aunque pudiera ser manejada como carnada (Sandifer et al., 1993). Esta última especie también podrá cultivarse hasta tallas comercializables en el mercado interno de México.

Este nuevo enfoque sobre las posibilidades del cultivo de los camarones peneidos nativos del Golfo de México abre un espectro grande de aspectos a investigar, entre los que se encuentra el estudio integral y comparativo de los requerimientos nutricionales de estos organismos.

Con base en lo anteriormente expuesto, el Grupo de Maricultura de la Fac. de Ciencias de la UNAM, inició una línea de investigación en la que se abordaron de manera integral los requerimientos nutricionales de las postlarvas de los camarones peneidos *P. setiferus* y *P. duorarum*, tomando no sólo los parámetros clásicos de la nutrición (crecimiento, sobrevivencia y rendimiento) sino además los aspectos fisiológicos generales de los camarones (consumo de oxígeno y excreción nitrogenada) para evaluar la aclimatación final de los organismos ante los diferentes tratamientos dietéticos.

Los objetivos particulares de la presente investigación son:

1. Determinar el requerimiento de proteínas dietéticas de las postlarvas de 30 días de edad (PI30) de *P. setiferus* y *P. duorarum*.
2. Determinar el efecto de la relación entre las proteínas y la energía dietéticas en las postlarvas de *P. setiferus* y *P. duorarum* de 40 días de edad (PI40), variando los niveles de inclusión de los carbohidratos dietéticos, en dietas isolípídicas.
3. Determinar el efecto de la relación entre las proteínas y la energía dietéticas en las postlarvas de *P. setiferus* y *P. duorarum* de 40 días de edad (PI40), en alimentos en los que se variaron los niveles de inclusión de lípidos y se mantuvieron fijos los carbohidratos.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Obtención de las postlarvas

En todos los experimentos se utilizaron ejemplares de 10 días de edad (PI10) obtenidos a partir de desoves logrados en el laboratorio. En cada bioensayo se utilizaron organismos provenientes de un solo desove.

Las postlarvas de *P. setiferus* provinieron de hembras del medio natural, capturadas en la Sonda de Campeche frente a la Isla del Carmen. Estas hembras fueron maduradas, inseminadas y desovadas en el laboratorio.

Las postlarvas de *P. duorarum* fueron obtenidas a partir de hembras copuladas en el medio natural, capturadas en Cayo Arcas en la Sonda de Campeche y también fueron desovadas en el laboratorio.

2. Diseño experimental y Dietas

En la Tabla 1 se resumen los diseños experimentales usados en la presente investigación. En las Tablas 2, 3, 4, 5, 6 se presentan las composiciones de las dietas empleadas en la presente investigación.

3. Condiciones de manejo

Las postlarvas (PI10) se colocaron en recipientes de plástico blancos de forma rectangular con una capacidad de 30 L, con aireación constante a una densidad de 1.6 postlarvas/L (50 organismos/ recipiente).

Diariamente se realizó un recambio de 50% de agua de mar, la cual fue previamente filtrada y esterilizada. En cada uno de los experimentos se registró el peso inicial promedio (50 organismos). Una vez obtenido el peso inicial, se calculó la ración inicial del alimento, la cual fue del 120% de la biomasa/tanque y se recalculó cada 10 días. En todos los experimentos, el tamaño de partícula del alimento suministrado al inicio, osciló de 250-350 μ m, para

incrementarse hasta 350-870 mm al final de cada bioensayo. Al finalizar cada uno de los experimentos, se contaron todos los organismos, para calcular la sobrevivencia. Para obtener el peso promedio final se pesaron 24 individuos de cada recipiente excepto en los que la sobrevivencia fue menor.

4. Respuestas fisiológicas

Una vez concluidos los experimentos referentes a los requerimientos nutricionales, se tomaron muestras al azar de los organismos sobrevivientes de cada bioensayo y fueron separados para la medición del consumo de oxígeno y la excreción nitrogenada.

a) Consumo de oxígeno

El consumo de oxígeno se utilizó para estimar el Incremento de Calor Aparente (ICA) asociado a cada tipo de dieta, de acuerdo con la metodología usada por Rosas et al., (1995a).

b) Excreción nitrogenada

Para la estimación de la excreción nitrogenada postalimentaria (ENPA), se realizaron mediciones de la excreción nitrogenada de los animales en ayuno y alimentados; para ello se tomaron muestras de agua de mar simultáneamente a las mediciones de oxígeno, de acuerdo con la metodología empleada por Rosas et al (1995b).

c) Razón O:N

La razón atómica O:N fue estimada tanto en los animales en ayuno, como alimentados. Para el caso de los animales alimentados se consideraron los máximos de consumo de oxígeno y excreción nitrogenada. Esta razón es un indicador del tipo de sustrato empleado por los camarones con fines energéticos. Estos resultados se interpretaron de acuerdo con Mayzaud y Conover (1988) quienes señalaron que un intervalo de la razón O:N de 3 a 16 implica el catabolismo de proteínas, un intervalo entre 50 y 60 manifiesta el catabolismo de iguales cantidades de lípidos y proteínas, mientras que valores mayores, se consideran como catabolismo de dieta mixta (carbohidratos, lípidos y proteínas).

Tabla 1. Diseños experimentales de los bioensayos de las postlarvas de *P. setiferus* y *P. duorarum*

No. de Experimento	Especie	Tipo de diseño	Rep./trat.	Factores a evaluar	Respuestas evaluadas
1	<i>P. setiferus</i> (P130)	Completamente aleatorizado	3	4 niveles de proteína (40, 50, 60 y 65 %) 2 niveles de energía	Respuesta nutricional: crecimiento (mg), IRB, sobrevivencia. Respuesta fisiológica: Incremento de calor aparente (ICA); excreción nitrogenada post-alimentaria (ENPA) —Sustrato metabólico (O:N) Respuesta nutricional: crecimiento
2	<i>P. setiferus</i> (P140)	Multifactorial (2 x 5)	3	total (3 y 4 kcal/g) variando los carbohidratos. 5 niveles de proteína (20, 30, 40, 50 y 60 %). 2 niveles de energía	(mg), IRB, sobrevivencia. Respuesta fisiológica: ICA, ENPA. Sustrato metabólico: O:N Respuesta nutricional: crecimiento
3	<i>P. setiferus</i> (P140)	Multifactorial (2 x 5)	3	total (3 y 4 kcal/g) variando los lípidos. 5 niveles de proteína (20, 30, 40, 50 y 60 %).	(mg), IRB, sobrevivencia Respuesta fisiológica: ICA, ENPA. Sustrato metabólico: O:N

(Continúa Tabla 1)

No. de Experimento	Especie	Tipo de diseño	Rep./trat.	Factores a evaluar	Respuestas evaluadas
4	P. duorarum (P132)	Completamente aleatorizado	3	4 niveles de proteína (40, 50, 60 y 65 %). 2 niveles de energía	Respuesta nutricional crecimiento (mg), IRB, sobrevivencia Respuesta fisiológica: ICA, ENPA. Sustrato metabólico: O:N Respuesta nutricional: crecimiento
5	P. duorarum (P140)	Multifactorial (2 x 4)	3	(3 y 4 Kcal/g) variando los carbohidratos 4 niveles de proteína (40, 45, 50 y 55 %) 2 niveles de energía	(mg), IRB, sobrevivencia Respuesta fisiológica: ICA, ENPA. Sustrato metabólico: O:N Respuesta nutricional: crecimiento
6	P. duorarum (P140)	Multifactorial (2 x 4)	3	(3 y 4 kcal/g) variando los lípidos. 4 niveles de proteína (40, 45, 50 y 55 %)	(mg), IRB, sobrevivencia Respuesta fisiológica: ICA, ENPA. sustrato metabólico: O:N

**Tabla 2. Composición de las dietas del Exp. 1
P. setiferus y Exp. 4 P. duorarum**

Ingredientes	A	B	C	D
Caseína	43.3	54.11	64.93	70.39
Arginina	1.1	1.4	1.67	1.81
Dextrina	37.85	26.75	15.65	10.05
Ac. H. Bac	2.25	2.25	2.25	2.25
Ac. girasol	2.25	2.25	2.25	2.25
Lecitina de soya	1.0	1.0	1.0	1.0
Colesterol	0.5	0.5	0.5	0.5
Vit. C	0.5	0.5	0.5	0.5
Vit. y Min.**	2.5	2.5	2.5	2.5
proteína (%)	40	50	60	65
Relleno	3.75	3.75	3.75	3.75
Energía digestible(Kjoules/g)*	16.032	16.032	16.032	16.032

* Calculados de acuerdo con Nose (1979) 4 kcal/g para las proteínas y carbohidratos y 9 kcal/g para los lípidos.

** Premezcla de vitaminas y minerales propuesta por Ralston Purina de México

Tabla 3. Composición de las dietas del experimento 2 *P. setiferus*

Ingredientes	Tratamiento									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Caseina	20.2	20.2	30.3	30.3	40.4	40.4	50.5	50.5	60.6	60.6
Arginina	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6
Dextrina	58.67	33.68	47.58	22.57	36.47	11.47	25.38	1	14.3	0
AC. Girasol	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
AC. H. Bac	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Lecitina	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
COlesterol	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Vit. y Min.	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Vit. C.	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
CMC.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Relleno	2.63	27.62	2.62	27.63	2.63	27.63	2.62	27	2.6	15.9
Prot.(%)	20	20	30	30	40	40	50	50	60	60
ED(kcal/g)	4	3	4	3	4	3	4	3.02	4	3.43
P/E(mg/kcal)	50	66.7	75	100	100	133.3	125	165.3	150	174.9

* Calculados de acuerdo con Nose (1979) 4 kcal/g para las proteínas y carbohidratos y 9 kcal/g para los lípidos.

** Premezcla de vitaminas y minerales propuesta por Ralston Purina de México

Tabla 4. Composición de las dietas del experimento 2 *P. setiferus*

Ingredientes	Tratamientos									
	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
Caseína	20.2	20.2	30.3	30.3	40.4	40.4	50.5	50.5	60.6	60.6
Arginina	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6
Dextrina	11.9	11.9	11.85	11.85	11.8	11.8	11.75	11.75	11.7	11.7
Ac. de girasol	13.87	8.2	11.4	5.85	8.9	3.38	6.47	0.92	4	0
Ac. H. Bac.	13.87	8.2	11.4	5.85	8.9	3.38	6.47	0.92	4	0
Lecitina	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Colesterol	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Vit. y Min.**	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Vit. C	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
CMC.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Relleno	28.7	39.77	22.55	33.65	16.5	27.54	10.31	21.15	4.2	10.6
Prot. (%)	20	20	30	30	40	40	50	50	60	60
Lípidos tot. (%)	29.24	17.9	24.3	13.2	19.3	8.26	14.4	3.34	9.5	1.5
ED (kcal/g)*	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3.43
P/E (mg/kcal)	50	66.7	75	100	100	133.3	125	165.3	150	174.9

* Calculados de acuerdo con Nose (1979) 4 kcal/g para las proteínas y carbohidratos y 9 kcal/g para los lípidos.

** Premezcla de vitaminas y minerales propuesta por Ralston Purina de México

Tabla 5. Composición de las dietas del experimento 5 *P. duorarum*

INGREDIENTES	A	B	C	D	E	F	G	H
Caseína	42.48	42.48	47.75	47.75	53.2	53.2	58.32	58.32
Arginina	1.92	1.92	2.25	2.25	2.3	2.3	2.78	2.78
Dextrina	36.47	11.48	30.88	5.88	25.38	0.375	19.78	0
Ac. Girasol	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Ac. H. Bac.	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Lecitina de soya	1	1	1	1	1	1	1	1
Colesterol	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Premezcla Vit. y Min. **	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Vit C	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Relleno	2.63	27.62	2.62	27.62	2.62	27.62	2.62	27.4
CMC	5	5	5	5	5	5	5	5
Prot. bruta (%)	40	40	45	45	50	50	55	55
ED (kcal/g)*	4	3	4	3	4	3	4	3.23
Rel. P/E (mg/kcal)	100	133.3	112.5	150	125	166.7	137.5	170.2

* Calculados de acuerdo con Nose (1979) 4 kcal/g para las proteínas y carbohidratos y 9 kcal/g para los lípidos.

** Premezcla de vitaminas y minerales propuesta por Ralston Purina de México

Tabla 6. Composición de las dietas del experimento 6 P. duorarum

INGREDIENTES	I	J	K	L	M	N	O	P
Caseína	42.48	42.48	47.75	47.75	53.2	53.2	58.32	58.32
Arginina	1.92	1.92	2.25	2.25	2.3	2.3	2.78	2.78
Dextrina	11.8	11.8	11.76	11.76	11.73	11.73	11.7	11.7
Ac. Girasol	8.9	3.38	7.7	2.14	6.47	0.92	5.23	0.92
Ac. H. Bac.	8.9	3.38	7.7	2.14	6.47	0.92	5.23	0.92
Lecitina	1	1	1	1	1	1	1	1
Colesterol	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Vit. y Min.**	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Vit. C	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
CMC	5	5	5	5	5	5	5	5
Relleno	16.5	27.54	13.34	24.46	10.33	21.43	7.24	15.86
Prot. bruta (%)	40	40	45	45	50	50	55	55
Lípidos totales	19.3	8.26	16.9	5.78	14.4	3.34	11.96	3.34
ED (kcal/g)*	4	3	4	3	4	3	4	3.23
P/E (mg/kcal)	100	133.3	112.5	150	125	166.7	137.5	170.2

* Calculados de acuerdo con Nose (1979) 4 kcal/g para las proteínas y carbohidratos y 9 kcal/g para los lípidos.

** Premezcla de vitaminas y minerales propuesta por Ralston Purina de México

RESULTADOS Y DISCUSION

Antes de presentar los resultados de los bioensayos que conforman la presente investigación es necesario aclarar que los parámetros que se usaron centralmente para realizar el análisis fueron el crecimiento ya que éste refleja el efecto de las condiciones ambientales, incluido el alimento, sobre el conjunto de las respuestas fisiológicas de los individuos (Tacon, 1990); y la razón O:N, debido a que los camarones presentan una limitada capacidad de almacenamiento de los nutrientes energógenos y este parámetro se considera como un indicador de la estrategia nutricional a largo plazo de los individuos (Mayzaud y Conover, 1988).

a) Requerimiento de proteína de las postlarvas de 30 días de edad de *P. setiferus* y *P. duorarum*.

La respuesta nutricional de las postlarvas de *P. setiferus* fue afectada significativamente por el cambio en el contenido proteico de las dietas. El mejor crecimiento se obtuvo con 50% de proteínas. También en ese nivel proteico se alcanzó la más alta sobrevivencia y rendimiento (IRB) (Fig1).

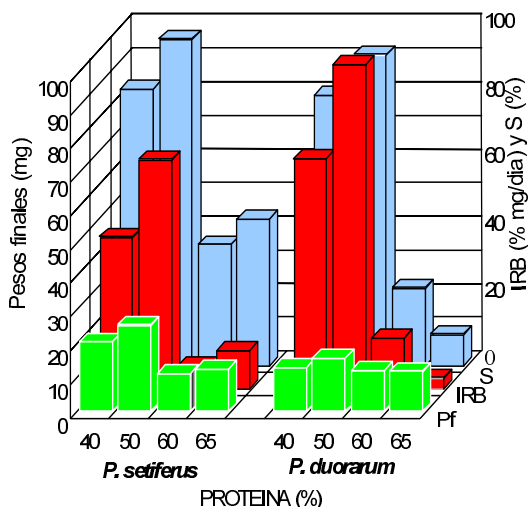


Figura 1. Respuesta nutricional de las postlarvas de 30 días de *P. setiferus* y *P. duorarum*.

A estos resultados correspondió una razón O:N perteneciente al intervalo de la mezcla de lípidos y proteínas (34), lo cual se reflejó en una baja excreción nitrogenada post-alimentaria (ENPA) y por consiguiente un valor del Incremento de Calor Aparente (ICA) bajo (Fig 2). Esta creciente participación de la ENPA en el ICA, observada en 60 y 65% de proteínas, indica la creciente participación de este nutriente en las necesidades de energía de los organismos y una disminución de su participación en el crecimiento, lo cual se denota en los bajos pesos finales obtenidos en estos tratamientos. (Fig. 1 y 2).

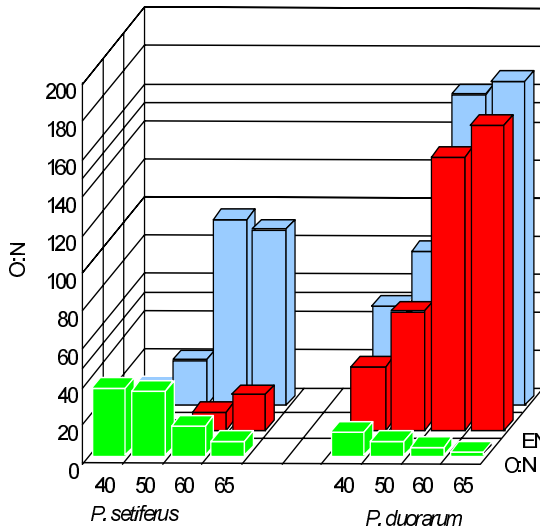


Figura 2. Aspectos bioenergéticos de las postlarvas de 30 días de *P. setiferus* y *P. duorarum*

Respecto a las postlarvas de *P. duorarum*, los cambios en el contenido de proteína dietética afectaron significativamente el crecimiento, la sobrevivencia y el rendimiento. (Fig1).

En cuanto al crecimiento, el valor máximo se obtuvo con 50% de proteínas, mientras que los otros tres tratamientos no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$), lo cual indicó que

tanto la insuficiencia, como el exceso de proteínas dietéticas afectó a las postlarvas de *P. duorarum* (Fig. 1). El exceso de proteínas dietéticas afectó significativamente la sobrevivencia. Al combinar el crecimiento con la sobrevivencia (IRB), se observó la misma tendencia a la disminución del rendimiento de las postlarvas en los tratamientos con 60 y 65% de proteínas (Fig. 1).

Sin embargo, en lo referente al sustrato metabólico, las razones O:N denotan el uso de las proteínas con fines energéticos. Esto se puede apreciar también en los resultados obtenidos en la ENPA, aunque el catabolismo de las proteínas afectó de manera significativa ($p < 0.05$) a la excreción de las postlarvas y por lo tanto al ICA de las postlarvas en los tratamientos con 60 y 65% de proteína (Fig. 2). Esto produjo un efecto importante en la sobrevivencia de los organismos y por lo tanto en el rendimiento (IRB) de estos tratamientos, cuyos valores fueron bajos (Fig. 1 y 2).

En resumen se puede señalar que tanto las postlarvas de 30 días de edad de *P. setiferus* como las de *P. duorarum* requirieron 50% de proteínas. Sin embargo, se aprecia una diferencia importante en el uso de los sustratos metabólicos, mientras que *P. setiferus* empleó la mezcla de lípidos y proteínas, *P. duorarum* usó solamente proteínas con fines energéticos.

b) Efecto de la relación entre las proteínas y la energía dietéticas sobre la respuesta nutricional y fisiológica de las postlarvas de 40 días de *P. setiferus*

La interacción de las proteínas y la energía dietéticas fue significativa para las postlarvas de 40 días de *P. setiferus*, tanto en el experimento en el que se mantuvieron fijos los niveles de inclusión de los lípidos, como en el que se fijaron los carbohidratos dietéticos.

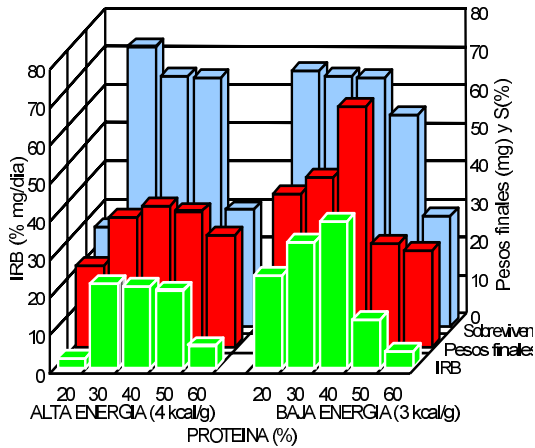


Figura 3. Respuesta nutricional de 40 días de *P. setiferus*. Lípidos fijos en la dieta

En la figura 3 se puede apreciar el efecto de esta interacción de las proteínas y la energía dietética, con lípidos fijos. Los pesos finales de las postlarvas fueron menores en las dietas con alta energía que los obtenidos con baja energía, hasta el nivel de 40% de proteínas, donde la situación se invirtió. El mejor tratamiento fue el de 40% de proteínas, 3 kcal/g y 11.47% de carbohidratos, con los lípidos fijos en 8.5%. Esta interacción fue producto de los altos niveles de inclusión de los carbohidratos, lo cual se vio reflejado en los bajos porcentajes de sobrevivencia y los rendimientos (IRB).

En lo que se refiere al sustrato metabólico, el uso de las proteínas produjo elevados ENPAs que influyeron al ICA en las dietas con alta energía (4 kcal/g) (Fig. 4). En particular el tratamiento con 40% de proteínas y 3 kcal/g presentó un ICA relativamente bajo, si se le compara con el valor de este mismo contenido proteico, pero con alta energía. Esto benefició al crecimiento de los camarones, a pesar de que la excreción nitrogenada fue relativamente alta (Fig. 4). Este tratamiento refleja un balance de los nutrientes, lo cual se aprecia en el conjunto de la respuesta nutricional (Fig. 3).

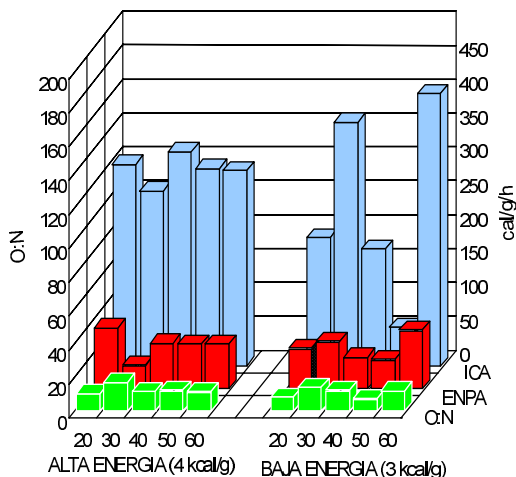


Figura 4. Aspectos bioenergéticos de las postlarvas de 40 días de *P. setiferus*. Lípidos fijos en la dieta.

Sin embargo, al variar los niveles de inclusión de los lípidos de las dietas, manteniendo fijos los carbohidratos, nuevamente, en general en las dietas con baja energía se obtuvieron los crecimientos más elevados, en las dietas con alta energía, lo cual sugiere que independientemente de los nutrientes energógenos no proteicos, los camarones requieren 3 kcal/g de energía total (Fig. 5). El crecimiento más elevado se obtuvo en el tratamiento con 40% de proteína y 8.5% de lípidos, con los carbohidratos fijos en 12%.

Por otra parte, la sobrevivencia de este experimento fue muy baja, lo cual es resultado del efecto de un frente frío que afectó a las postlarvas, causando elevadas mortalidades.

A pesar de esto, el conjunto de los parámetros medidos orienta sobre el efecto de las variaciones de los lípidos de las dietas. En las dietas con alta energía, el rendimiento de los camarones (IRB) tendió a disminuir conforme se incrementó el contenido proteico de la dieta

(Fig. 4). En lo que respecta al sustrato metabólico usado por los camarones, se puede observar que solamente en el tratamiento de 30% de proteínas con 4 kcal/g de energía, las postlarvas emplearon la mezcla de lípidos y proteínas (Fig. 5), sin embargo los crecimientos fueron menores al obtenido con 40% de proteínas y 3 kcal/g (Fig. 4). Ello indicó que 30% de proteína es insuficiente para promover buenos crecimientos. Por otra parte, el tratamiento en el que se obtuvo el máximo crecimiento (40% de proteínas y 3 kcal/g), se obtuvo una razón O:N que indica que las postlarvas emplearon solamente a las proteínas con fines energéticos (Fig. 6).

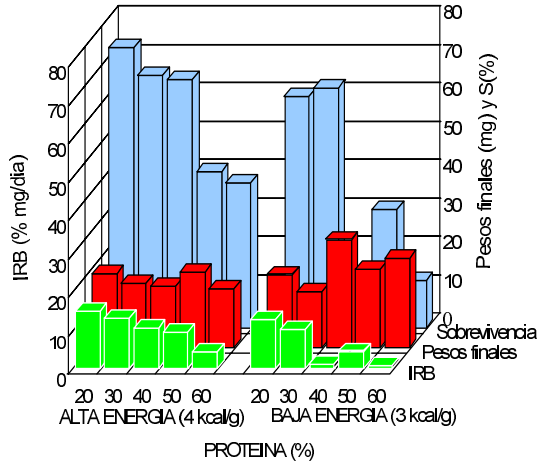


Figura 5. Respuesta nutricional de las postlarvas de 40 días de *P. setiferus*. Carbohidratos fijos en las dietas.

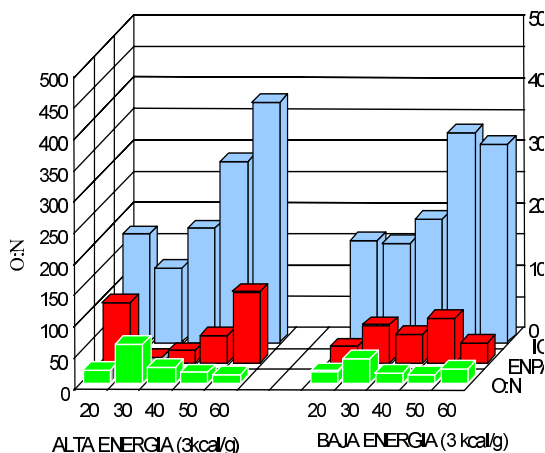


Figura 6. Aspectos bioenergéticos de las postlarvas de 40 días de *P. setiferus*. Carbohidratos fijos en la dieta.

c) Efecto de la relación entre las proteínas y la energía dietéticas sobre la respuesta nutricional y fisiológica de las postlarvas de 40 días de *P. duorarum*

Las respuesta nutricional y fisiológica de las postlarvas de 40 días de *P. duorarum* fue afectada significativamente por la interacción de las proteínas y la energía dietéticas, tanto al variar los carbohidratos, como los lípidos dietéticos.

En la figura 7, se puede apreciar la influencia que ejercieron los diferentes niveles de inclusión de los carbohidratos dietéticos sobre el crecimiento, la sobrevivencia y el rendimiento (IRB) de los camarones. Mientras que en las dietas con baja energía (3 kcal/g) los crecimientos disminuyeron conforme se incrementó el contenido proteico, en las dietas con alta energía (4 kcal/g), se obtuvo una mejoría, aunque no significativa, del crecimiento de los camarones alimentados con 55% de proteínas (Fig. 7). Aunque el peso final más elevado se obtuvo con 40% de proteínas y 4 kcal/g (45.6 mg), no hubo diferencias significativas con 40% de proteínas y 3 kcal/g (42.8 mg). La

diferencia de la energía total en estos dos tratamientos, está dada por los niveles de inclusión de los carbohidratos, por lo tanto se puede señalar que las necesidades de carbohidratos oscilan en el intervalo de 11.48 a 36.47% (Tabla 5). Sin embargo la tendencia al mejoramiento del crecimiento obtenida con 40% de proteínas y 4 kcal/g (Fig. 7), puede asociarse al menor gasto de energía involucrado en la excreción nitrogenada, observada en este mismo tratamiento, lo cual es reflejo de un valor de la razón O:N mayor (32.3) que el obtenido con 40% de proteínas y 3 kcal/g (24) (Fig. 8). Este mayor gasto de energía en la excreción nitrogenada se reflejó de manera muy evidente en las diferencias del consumo de oxígeno (ICA) de los organismos.

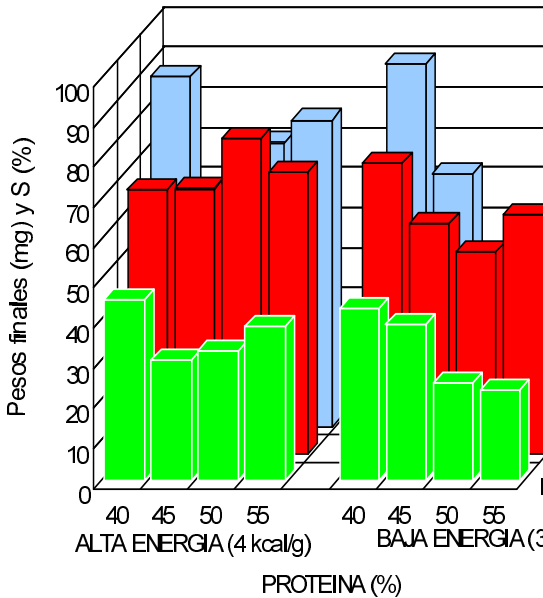


Figura 7. Respuesta nutricional de las postlarvas de 40 días de *P. duorarum*. Lípidos fijos en la dieta.

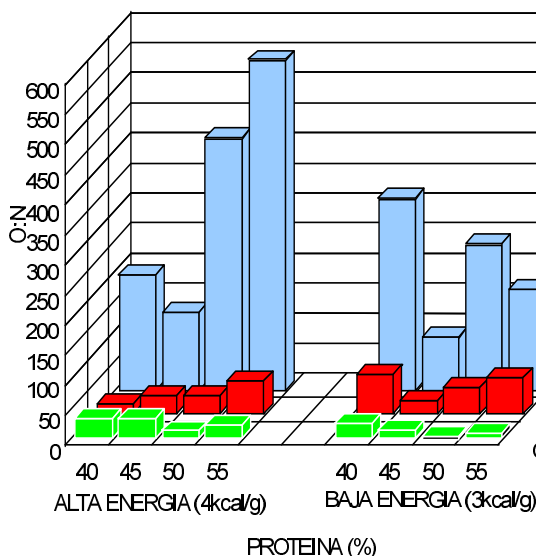


Figura 8. Aspectos bioenergeticos de las postlarvas de 40 días de P. duorarum. Lípidos fijos en la dieta.

Por otra parte, cuando se variaron los lípidos y las proteínas, manteniendo fijos los niveles de inclusión de carbohidratos (12%) (Tabla 6) se observó una interacción significativa de las proteínas y la energía dietéticas sobre la respuesta nutricional y fisiológica de las postlarvas de *P. duorarum* (Fig. 9 y 10). Los crecimientos más elevados se obtuvieron con 40% de proteínas y 3 kcal/g, pero no presentaron diferencias significativas con 45 y 50% de proteínas con 4 kcal/g. Esto podría indicar que cuando la energía total de la dieta es de 3 kcal/g, el crecimiento se favoreció con 40% de proteínas, mientras que cuando la energía total de la dieta fue de 4 kcal/g, las necesidades de proteína se encontraron en un intervalo de 45 a 50% (Fig. 9). Sin embargo, atendiendo al concepto de requerimiento nutricional, que significa que es la cantidad mínima de un nutriente que produce un crecimiento óptimo (Tacon, 1990), se puede concluir que las necesidades de proteínas dietéticas de las postlarvas de *P. duorarum* se satisfacen con 40%, mientras que el requerimiento de lípidos se encuentra en un intervalo de 5.78 a 16.9% (Tabla 6). Al valorar los resultados del sustrato metabólico, se puede señalar el tratamiento que se mantuvo

con valores pertenecientes al intervalo de la mezcla de proteínas y lípidos fue 40% de proteínas y 3 kcal/g, que fue en donde se produjo la más baja excreción nitrogenada post-alimentaria (ENPA), y aunque el ICA fue muy elevado, esto fue producto de la dispersión que caracteriza a este tipo de parámetros, como lo evidenció el error estándar de este tratamiento, cuyo coeficiente de variación fue superior al 10% (fig. 10).

En resumen se puede concluir que las postlarvas de 40 días de edad de *P. duorarum*, presentan un requerimiento de proteína de 40%, de 11.47 a 36.47% de carbohidratos y de 5.78 a 16.9% de lípidos dietéticos.

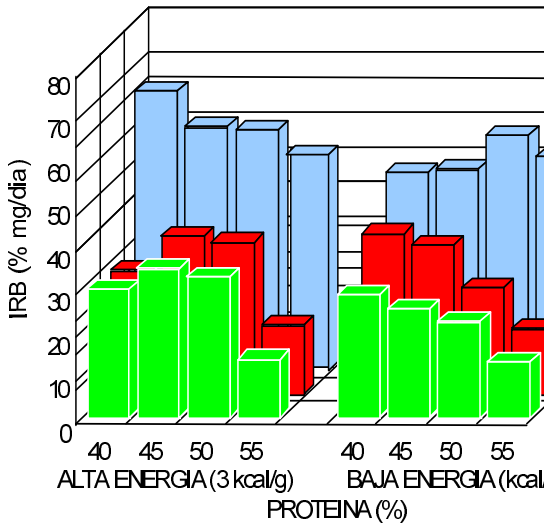


Figura 9. Respuesta nutricional de las postlarvas de 40 días de *P. duorarum*. Carbohidratos fijos en la dieta.

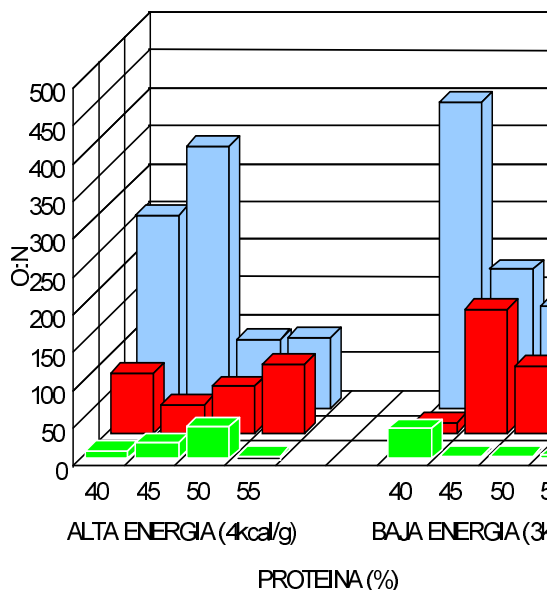


Figura 10.- Aspectos bioenergéticos de las postlarvas de 40 días de *P. duorarum*. Carbohidratos fijos en la dieta.

e) Algunas consideraciones generales

Como se ha podido observar en los resultados, las variaciones de las proteínas, los carbohidratos y los lípidos, así como la energía dietética afectó a las postlarvas de *P. setiferus* y *P. duorarum*.

Aunque la comparación directa de los resultados obtenidos no es posible debido a que son experimentos diferentes si se podrían establecer algunos planteamientos de orden general. Para tal fin se estimó la tasa instantánea de crecimiento (TIC). Este parámetro ha sido empleado para establecer algunas consideraciones entre los distintos experimentos de nutrición (Castille et al., 1993). En general, se puede señalar que las postlarvas de *P. setiferus* y *P. duorarum* presentaron tasas de crecimiento menores conforme aumentó su edad. De igual manera, en el caso de la comparación de las tasas de crecimiento entre postlarvas y juveniles de *P. setiferus*, se pudo apreciar la misma tendencia. Este mismo comportamiento fue reportado por Castille et al.,

(1993), para las postlarvas tempranas de *P. vannamei*. Estos autores demostraron que el crecimiento de las postlarvas se ajusta mejor al modelo exponencial que al modelo lineal.

Aunque de manera general se ha señalado que los camarones menores a los 5 g de peso pueden ser alimentados con piensos con un contenido proteico de 45% (Akiyama y Dominy, 1990), esta investigación demostró que el requerimiento de proteínas cambia con la edad y que tiende a disminuir gradualmente. Además el exceso de proteínas resultó ser perjudicial para los camarones, como se pudo observar a través del análisis de su respuesta nutricional y fisiológica.

En cuanto a los nutrientes energógenos no proteicos (carbohidratos y lípidos), se manifestaron importantes diferencias entre las dos especies de camarones aquí estudiadas. *P. setiferus* presentó necesidades muy precisas de carbohidratos (12%) y de lípidos (8,26 a 8,5%) y 3 kcal/g de energía total. *P. duorarum*, presentó un amplio rango de requerimiento de carbohidratos (11.48-36.47%) y de lípidos (5.78-16.9%), dependiendo de la energía total de la dieta.

REFERENCIAS

- Akiyama D.M. and W.G. Dominy, 1989. Penaeid shrimp nutrition for the commercial fed industry. Texas Shrimp Farming Manual 1. Growth Technology. Tech Report of Texas Agriculture Extension Service and Texas A & M University. Sea Grant College Program, U.S.A. 50 pp.
- Andrews J.W., Sick L.V. and Baptist, J., 1972. The influence of dietary and energy levels on growth and survival of penaeid shrimp. *Aquaculture* 1: 341-347.
- Castille F.L., Samocha T.M., Lawrence A.L. He, H., Frelier, P., and Jaeneke, F., 1993. Variability in growth and survival of early postlarval shrimp. (*Penaeus vannamei*, Boone, 1931). *Aquaculture*, 113: 65-81.
- Condrey, R., Gosseelink, J.C and J. Benett, 1972. Comparison of the assimilation of different diets by *Penaeus setiferus* and *P. aztecus*. *Fishery Bulletin* 70(4): 1281-1292.
- Fenucci, J., Lawrence, A.L., and Zein-Eldin, A., 1981. The effects of fatty acids and shrimp meal composition of prepared diets on growth of juvenil shrimp *Penaeus stylirostris*. *Jour. World Mariculture Society* 12 (1): 315-324.
- Lawrence, A.L., Castille, F.L., Sturmerly, L.M., and Akiyama, D.M., 1986. Nutritional response of marine shrimp to different levels of soybean in feeds. In D.M. Akiyama (ed). American Soybean Association. Texas.
- Lee, P., and Lawrence, A.L., 1985. Effects of diet and size on growth, fed digestibility and digestive enzyme activities of the marine shrimp *Penaeus setiferus* Linnaeus. *Jour. World Maricult Soc* 16 : 275-287.
- Mayzaud P. and Conover R.J., 1988. O.N atomic ratio as a tool to descibe zooplankton

metabolism. Mar. Ecol. Prog. Ser., 45 : 289-302.

Nose 1979, citado pp. 187, 188, 193.

Parker, J.C., Conte, F.S., Mac Grath W.S. and Miller, B.W., 1974. An intensive culture system for penaeid shrimp. Proc., World Maricult. Soc., 5: 65-79.

Rosas et al., 1995 citados p. 84.

Rosas, C., Sánchez, A., Gallardo P.P., Gaxiola G. Díaz, E. and. L.A. Soto, 1995 a. Oxygen consumption and indigestion rate of *Penaeus Setiferus* larvae fed *Chaetoceros* *cera* *tosporum*, *Tetraselmis* *chuii* and *Artemia* *nauplii* Aquaculture Nutrition a 1, (1), 13-20.

Rosas, C., Bolgare-Crevenna, A., A. Sánchez, G. Gaxiola, L.A. Soto and E. Escobar. 1995b. Roles of digestive gland in the energetic metabolism of *Penaeus setiferus*. Biol. Bull. 189:168-174.

Rosas C., Sánchez A., Díaz E., Soto, L., Gaxiola, G., and Brito R., 1996. Effect of dietary protein level on apparent heat increment and postprandial nitrogen excretion of *Penaeus setiferus*, *P. schmitti*, *P. duorarum* and *P. notialis*. Jour. World Aquacult. Soc. 27(1): 68-76.

Sandifer, P.A., Hopkins, J.S., Stokes, A.D. and Browdy, C.L., 1993. Preliminary comparisons of the native *Penaeus setiferus* and *P. vannamei* white shrimp for pond culture in South Carolina. U.S.A. World Aquacult Soc 24 (3): 295-303.

Sick y Andrews 1973, citado, p. 182.

Tacon, A.G., 1990. The Nutrition and feeding of farmed fish and shrimps. A Training Manual. Argent Press, 100 pp.