

Uso del cártamo (*Carthamus tinctorius*) como ingrediente en alimentos para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei*

Roberto Civera^{1*}, Alfonso Galicia¹, Héctor Nolasco¹, Ernesto Goytortúa¹,
Lucía E. Cruz², Denis Ricque², Francisco Moyano³, Dariel Tovar¹, Elena
Palacios¹ y Alfonso Álvarez⁴

¹Laboratorio de Nutrición Acuícola, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Mar Bermejo 195, Colonia Playa Palo Santa Rita, La Paz, B.C.S. 23090, México. * rcivera04@cibnor.mx ²Programa de Maricultura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de Los Garza, Nuevo León 66450, México. ³Departamento de Biología Aplicada, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Almería, 04120 Almería, España. ⁴ DACBIOL Laboratorio de Acuicultura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa Cárdenas km 0.5, 86139, Villahermosa, Tabasco, México

Resumen

Se determinó el valor nutricional del cártamo para el camarón, con base en la composición química, factores antinutricionales, atractabilidad, digestibilidad y crecimiento, de tres productos de cártamo: 1) harina integral (HIC), 2) pasta baja en proteína (PCB), y 3) pasta alta en proteína (PCA). Se evaluó el efecto de la sustitución de pasta de soya por PCA en el alimento. El alimento con PCA a un nivel de sustitución de 75% y el alimento control fueron los que permitieron obtener las mayores tasas de crecimiento. La digestibilidad de materia seca varió entre 71.2% y 82.7%. Posteriormente, se evaluó la sustitución parcial de una harina de pescado (HP) con la PCA, así como la suplementación de D-L-metionina. Los tratamientos con 66% de sustitución de HP (D-66) y con D-L metionina (D-66CM) permitieron obtener las mayores tasas de crecimiento. Los CUDAm de los alimentos variaron entre 68.2% y 78.9%. Los mayores CUDAp se obtuvieron con los alimentos control y D-66. Se concluye que las pastas de cártamo pueden ser utilizadas como ingredientes en alimentos para camarón, especialmente la PCA, que es una fuente de proteína digestible, contiene bajos o nulos niveles de los factores antinutricionales, y puede sustituir a la pasta de soya o parcialmente a la harina de pescado.

Palabras clave: valor nutritivo, cártamo, composición química, factores antinutricionales, camarón *Litopenaeus vannamei*, crecimiento, digestibilidad.

Summary

The nutritional value of safflower for shrimp was determined in terms of chemical composition, anti-nutritional factors, attractiveness, digestibility and growth of three safflower products: 1) whole meal (HIC), 2) low-protein paste (PCB) and 3) high-protein paste (PCA). The effect of replacing soybean meal by PCA in shrimp feed was evaluated. The diet containing PCA, replacing 75% of soybean meal, and the control diet resulted in the higher growth rates. Dry matter digestibility varied between 71.2% and 82.7%. Subsequently, partial replacement of fish meal by PCA, as well as the supplementation DL-methionine in the diet was also evaluated. The treatments with 66% replacement of fish meal (D-66) and enriched with DL methionine (D-66CM) resulted in the higher growth rates. Dry matter digestibility varied between 68.2% and 78.9%. The higher protein digestibility coefficients were obtained with the control and D-66 diets. It is concluded that safflower pastes can be used as ingredients in shrimp feeds, especially the high-protein paste, which is a source of digestible protein, contains low or null levels of anti-nutritional factors, and can replace soybean meal or partially fishmeal.

Introducción

De acuerdo con los datos proporcionados por la FAO, hasta el año 2007 la producción pesquera y acuícola mundial fue de 221.56 millones de toneladas, de las cuales el 29.4% correspondieron a la acuicultura (Figura 1) (FAOSTAT, 2009). En México, la pesquería del camarón es una de actividad prioritaria y su volumen de producción en el 2007 fue de 184 695 t, siendo el 39.5% por captura y el restante 60.5% por acuicultura (SAGARPA, 2008). La región Noroeste del país es donde se encuentran el 97% de las granjas de camarón, considerándose como una de las zonas productoras de camarón más importantes de Latinoamérica (Páez-Osuna, Gracia, Flores-Verdugo, Lyle-Fritch, Alonso-Rodríguez, Roque, Ruiz-Fernández, 2003).

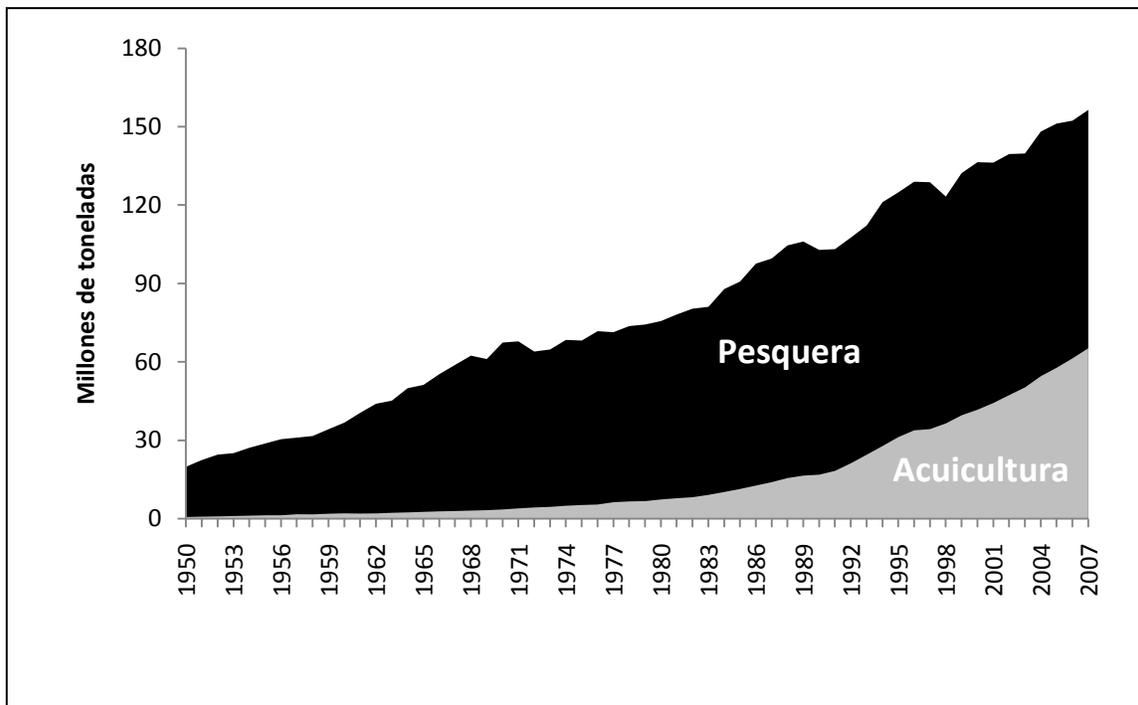


Figura 1. Producción pesquera y acuícola mundial de 1950 a 2007 (FAOSTAT, 2009).

Para que el cultivo de camarones sea rentable y sostenible es necesario el desarrollo de “alimentos amigables” de alto valor nutricional con ingredientes de bajo precio, considerando que en los sistemas intensivos de producción de camarones peneidos, el alimento artificial es la fuente exclusiva de nutrientes y representa el mayor costo de operación (superior al 60%) en las granjas (Tan y Dominy, 1997; Kureshy y Davis, 2002). En el año 2000 se produjeron 1.5 millones de toneladas de alimento para camarón, representando el 12% de la producción de alimentos para acuicultura. Para el 2010 se espera que la producción de alimento para camarón se incremente a 2.5 millones (Hardy, 2006).

Es así, que una línea actual de investigación en acuicultura se ha venido centrando en el estudio de factores que permitan la formulación y elaboración de alimentos que optimicen la eficiencia productiva, minimicen la pérdida de nutrientes en las heces y que puedan significar un ahorro en los costos de producción (Civera-Cerecedo, Goytortúa-Bores, Rocha-Meza, Vega-Villasante y Nolasco-Soria, 1998; Divakaran y Velasco, 1999).

El valor nutricional de un alimento no depende solo de su contenido de nutrientes, sino también de la capacidad del animal para digerirlos y absorberlos. En la acuicultura, los estudios de digestibilidad tienen un triple objetivo: mejor conocimiento de la utilización potencial de los nutrientes, optimización de la calidad de los alimentos para los organismos, y finalmente, disminución de los desechos de origen alimentario, de modo que se pueda preservar la sanidad del ambiente en general y del agua en particular.

Se han realizado diversos estudios para determinar los coeficientes de utilización digestiva aparente (CUDA) de ingredientes de origen animal (Tabla 1). Lee y Lawrence (1985) evaluaron alimentos con diferentes niveles de proteína en camarones *Penaeus setiferus* de diferentes tamaños y encontraron que los CUDA de materia seca y proteína disminuían a medida que los camarones incrementan su tamaño.

Sudaryono, Tsvetnenko y Evans (1996) evaluaron diferentes combinaciones de fuentes de proteína animal preparadas de subproductos de la pesca (harina de cabeza de camarón, harina de desperdicios de langosta y harina de desperdicios de mejillones) en alimentos

para camarón *P. monodon* y encontraron que los camarones alimentados con las harinas preparadas con subproductos tuvieron una mejor digestibilidad en comparación con los que fueron alimentados con harinas de pescado. Brunson, Romaine y Reigh (1997) evaluaron diferentes productos animales (de cangrejo, carne, hueso, pescado, camarón y calamar), encontrando que los camarones *P. setiferus* alimentados con productos de pescado y calamar tuvieron los mejores CUDA de proteína. Cruz-Suárez, Nieto-López, Guajardo-Barbosa, Tapia-Salazar, Scholz y Ricque-Marie (2007) evaluaron la sustitución de la harina de pescado con subproductos de pollo en alimentos para *L. vannamei* encontrando que los CUDA fueron similares y, aún superiores al 80% en todos los alimentos. Finalmente, Hernández, Olvera-Novoa, Aguilar-Vejar, González-Rodríguez y Abdo de la Parra (2008) evaluaron la sustitución de la harina de pescado por harina de carne de cerdo en alimentos para camarones *L. vannamei* encontrando que la harina de cerdo puede reemplazar el 35% de la harina de pescado sin que se tenga efectos negativos en los camarones.

Tabla 1. Respuesta en los CUDA de materia seca (CUDAmS), proteína (CUDAp), lípidos (CUDAl), carbohidratos (CUDAc) y de los componentes energéticos totales (CUDAce) de camarones peneidos después de ser alimentados con productos animales.

Especie	Productos evaluados	CUDAmS	CUDAp	CUDAl	CUDAc	CUDAce	Referencia
<i>P. indicus</i>	Harina de camarón = 21, 33, 43 y 53 ²	+	+				Colvin (1976)
<i>P. setiferus</i>	Harina de camarón = 22, 30, 38 y 50% ²	+	+				Lee y Lawrence (1985)
	Productos de cangrejo, carne, hueso, pescado, camarón y calamar = 30% ³	+	+			+	Brunson <i>et al.</i> (1997)
<i>P. japonicus</i>	Harina de cangrejo = 21, 31, 42, 50 y 61% ²	-	-				Koshio <i>et al.</i> (1993)
<i>P. monodon</i>	Subproductos de pescado = 40% ²	+	+				Sudaryono <i>et al.</i> (1996)
	Harinas de pescado, calamar, hígado de calamar e hígado de pescado = 15% ³	+		+			Merican y Shim (1995)
	Harinas de pescado y animales terrestres	+	+			+	Smith <i>et al.</i> (2000)
<i>L. vannamei</i>	Harina de pescado = 47% ¹	+	-	+	+	-	Cabanillas-Beltrán <i>et al.</i> (2001)
	Harinas de carne y hueso = 25, 50 y 75% ¹	+	+				Forster <i>et al.</i> (2003)
	Harina de langostilla = 5, 10 y 15% ¹	+	+	+	-	+	Goytortúa-Bores <i>et al.</i> (2006)
	Harina de subproductos de pollo = 35, 50, 65 y 80% ¹	+	+			+	Cruz-Suárez <i>et al.</i> (2007)
	Harina de carne de cerdo = 25, 35, 45, 55 y 65% ¹	+	+	+		+	Hernández <i>et al.</i> (2008)

La abreviaciones o símbolos utilizados son los siguientes: ningún incremento significativo del ingrediente evaluado (-); incremento significativo del ingrediente evaluado (+).¹Porcentajes de sustitución de la harina de pescado. ²Nivel de proteína en el alimento. ³Nivel de inclusión del ingrediente en el alimento.

Así como se han evaluado diferentes productos animales, también se han evaluado diversos ingredientes vegetales como posibles ingredientes en los alimentos para camarones (Tabla 2). Eusebio (1991) evaluó el valor nutritivo de *Vigna unguiculata* y *Phaseolus calcaratus* como fuentes de proteína en alimentos para camarones *P. monodon* encontrando que el proceso de descascarillado incrementó significativamente la digestibilidad de proteína en los camarones que fueron alimentados con arroz. Sudaryono, Tsvetnenko y Evans (1999a, 1999b) evaluaron el potencial de la harina de lupino como sustituto de la harina de pescado y pasta de soya en alimentos para camarones *P. monodon* encontrando que se puede sustituir más del 75% de la proteína de la harina de pescado y más del 50% de la pasta de soya por harina de lupino sin tener efectos negativos en el desarrollo de los organismos. Bautista-Teruel, Eusebio y Welsh (2003) evaluaron el potencial de la harina de chícharo como fuente alterna a la pasta de soya en alimentos para camarones *P. monodon* encontrando que los CUDA de materia seca y proteína de los alimentos que contenían harina de chícharo se incrementan a medida que se incrementa el reemplazo de la soya. Molina-Poveda y Morales (2004) usaron una mezcla de harina de cebada y gluten de trigo como alternativa en alimentos para camarones *L. vannamei*, encontrando que los organismos alimentados con esta mezcla incrementaron su digestibilidad de proteína y materia seca, concluyendo que la mezcla puede sustituir en su totalidad a la proteína de origen animal.

Tabla 2. Respuesta en los CUDA de materia seca (CUDAms), proteína (CUDAp), lípidos (CUDAI), carbohidratos (CUDAc) y de los componentes energéticos totales (CUDAce) de camarones peneidos después de ser alimentados con productos vegetales.

Especies	Productos evaluados	CUDAms	CUDAp	CUDAI	CUDAc	CUDAce	Referencia
<i>P. monodon</i>	Harinas de leguminosas = 40% ²		+				Eusebio (1991)
	Harina de trigo =40% ²	+	-	-			Catacutan (1991)
	Pasta de soya ¹	+		+			Merican y Shim (1995)
	Harina de lupino = 25, 50, 75 y 100% ¹	-	-				Sudaryono <i>et al.</i> (1999a)
	Harina de lupino = 25, 50, 75 y 100% ¹	+	+				Sudaryono <i>et al.</i> (1999b)
	Harina de chícharo 20, 40, 60, 80 y 100% ¹	+	+				Bautista-Teruel <i>et al.</i> (2003)
<i>L. stylirostris</i>	Harinas de chícharo y frijol = 50% ³	+	+	+	+		Kumaraguru <i>et al.</i> (2006)
	Harina de lupino = 30% ³	+	+			+	Smith <i>et al.</i> (2007)
<i>L. vannamei</i>	Harinas de chícharo y canola = 30% ³	+	-		-		Cruz-Suárez <i>et al.</i> (2001)
	Harinas de trigo, sorgo y maíz =30% ³	+				+	Davis y Arnold (1993)
	Harinas de trigo, maíz, arroz y milo = 30% ³	+				+	Davis y Arnold (1995)
	Almidón de maíz, papa y trigo = 35% ³		+	+	+		Cousin <i>et al.</i> (1996)
	Pasta de soya = 15 y 30% ³	+	+			+	Divakaran <i>et al.</i> (2000)
	Harinas de chícharo = 30% ³	-				-	Davis <i>et al.</i> (2002)
	Harinas de cebada y trigo = 33, 66 y 100% ¹	+	+		+		Molina-Poveda y Morales (2004)
	Almidón de maíz = 10, 15, 20, 25, 30 y 35% ³	+	-	+			Guo <i>et al.</i> (2006)
	Harinas de frijol = 30% ³	+	+		+		Rivas-Vega <i>et al.</i> (2006)
	Hierbas y plantas medicinales = 0, 1, 2, 4 y 8% ³		+	+			Lin <i>et al.</i> (2006)

La abreviaciones o símbolos utilizados son los siguientes: ningún incremento significativo del ingrediente evaluado (-); incremento significativo del ingrediente evaluado (+).¹Porcentajes de sustitución de la harina de pescado o soya. ²Nivel de proteína en el alimento. ³Nivel de inclusión del ingrediente en el alimento.

Rivas-Vega, Goytortúa-Bores, Ezquerro-Brauer, Salazar-García, Cruz-Suárez, Nolasco y Civera-Cerecedo (2006) midieron el valor nutricional de diversas harinas a base de frijol yorimón en alimentos para camarones *L. vannamei*, y concluyen que las harinas de frijol entero y el extruido son buenas fuente de carbohidratos y proteína que pueden ser usadas como un ingredientes en los alimentos para juveniles de esta especie. Smith *et al.* (2007) determinaron los CUDA de materia seca, proteína y componentes energéticos totales (energía) en alimentos que contenían harinas de lupino para camarones *P. monodon* encontrando valores superiores al 56.5, 92.7 y 69.6% para materia seca, proteína y energía.

Fuentes alternativas de proteína

Los alimentos comerciales para camarón contienen entre 30 a 50% de proteína cruda, principalmente de productos de origen marino como son harinas de pescado, camarón y calamar (Lim y Dominy, 1990; Hardy y Masumoto, 1991). Estos ingredientes alimenticios tienen un alto valor nutricional y buena palatabilidad; sin embargo, son muy caros y su disponibilidad es variable (Lim y Petersen, 1989). Tomando en cuenta el posible incremento en el costo de los productos de origen marino y la incertidumbre de la disponibilidad a mediano plazo, se ha planteado la necesidad de buscar nuevas fuentes alternativas de proteína, convencionales o no convencionales, tanto de origen animal (Civera-Cerecedo *et al.*, 1998; Forster, Dominy, Obaldo y Tacon, 2003; Galicia-González, 2003) como vegetal (Lim y Dominy, 1990; Floreto, Bayer y Brown, 2000 y Cruz-Suárez, Ricque-Marie, Tapia-Salazar, McCallum y Hickling, 2001) que pueden ser empleadas como sustitutos parciales o totales de la harina de pescado. Sin embargo, la sustitución de la harina de pescado a niveles elevados con fuentes proteicas de origen vegetal no siempre ha dado buenos resultados, debido a tres principales razones: a) la presencia de factores antinutricionales como inhibidores de tripsina, saponinas, hemaglutininas, glucósidos, ácido fítico, etc., que afectan el valor nutricional de los alimentos y reducen su palatabilidad (Reigh y Ellis, 1992; Floreto *et al.*, 2000), b) una composición inadecuada de aminoácidos y bajo contenido de metionina y lisina (Dabrowski, Poczycynski, Koek y Berger, 1989); debido a esto, se han realizado varios estudios donde se suplementan los alimentos con los aminoácidos limitantes, en forma cristalina o protegidos contra la

Civera, R. *et al.* 2010. Uso del cártamo (*Carthamus tinctorius*) como ingrediente en alimentos para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei*. En: Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds), Avances en Nutrición Acuicola X - Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuicola, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp. 393-466.

lixiviación, y se ha encontrado una mejora en el crecimiento de los organismos (El-Saidy y Gaber, 2002; Alam, Teshima, Koshio e Ishikawa, 2004; Forster y Dominy, 2006), y c) un bajo contenido energético en comparación con la harina de pescado (Milton y Slinger, 1986). A pesar de esto, los subproductos de semillas oleaginosas, como la pasta de soya, son las proteínas vegetales más ampliamente utilizadas en la alimentación animal, por su alto contenido de proteína, su amplia disponibilidad y su costo, que generalmente es menor al de la harina de pescado (Taylor y Berk, 1981 citado en: Martínez-Palacios, Chávez-Sánchez, Olvera-Novoa y Abdo de la Parra, 1999).

Una ventaja de las oleaginosas es que la utilización primaria de estos productos vegetales es la obtención de aceite, la pasta derivada del proceso presenta un mayor contenido proteico en peso seco que la semilla original, y en consecuencia, su uso resulta adecuado como ingrediente en alimentos para salmón (*Salmo salar*), trucha (*Oncorhynchus mykiss*), carpa y bagre (Martínez-Palacios *et al.*, 1999).

Entre los productos de oleaginosas, se incluyen las semillas de soya, algodón, girasol, ajonjolí, cacahuete y cártamo. El proceso a que se someten las semillas para la extracción del aceite da lugar a variaciones en el contenido de lípidos y proteínas residuales (Hertrampf y Piedad-Pascual, 2000; Cruz-Suárez, Tapia-Salazar, Villareal-Cavazos, Beltran-Rocha, Nieto-López, Lemme y Ricque-Marie, 2009).

Cártamo

El cártamo *Carthamus tinctorius L.*, es miembro de la familia Compositae o Asteracea. Es una planta anual ramificada, con numerosas espinas y brácteas sobre las hojas. La planta tiene una altura entre 30-150 cm con una cabeza floral globular (capitula) de color amarillo, anaranjado o rojo (Li Dajue y Mündel, 1997; Gecgel, Demirci, Esendal y Tasan, 2007).

El cultivo del cártamo es uno de los más antiguos del mundo. México es uno de los principales productores de semilla de cártamo (*C. tinctorius L.*) a nivel mundial, reportándose una producción de 110 751 t en el 2008, y es el país que más aceite de cártamo exporta (Ortega y Ochoa, 2003; FAOSTAT, 2009). Dado que el cártamo es

resistente a la sequía y se puede cultivar en zonas áridas y semiáridas, es una de las oleaginosas que se cultivan en mayor proporción en el Noroeste de México (Figura 2) (SIAP/ANIAME, 2009). El aceite de cártamo es ampliamente utilizado para consumo humano, con un alto contenido de ácidos oleico y linoleico que puede cambiar de acuerdo con las variedades y condiciones climáticas de cultivo (Paredes y Ordorica, 1986).

Usos del cártamo

En Egipto, los pétalos del cártamo se usaban para teñir la vestimenta que se utilizaba en las ceremonias religiosas. Las semillas de cártamo y guirnaldas de flores han sido encontradas con restos humanos que tienen más de 4000 años. De acuerdo con Weiss (1971) en Europa y África se ha utilizado como medicamento (laxante).

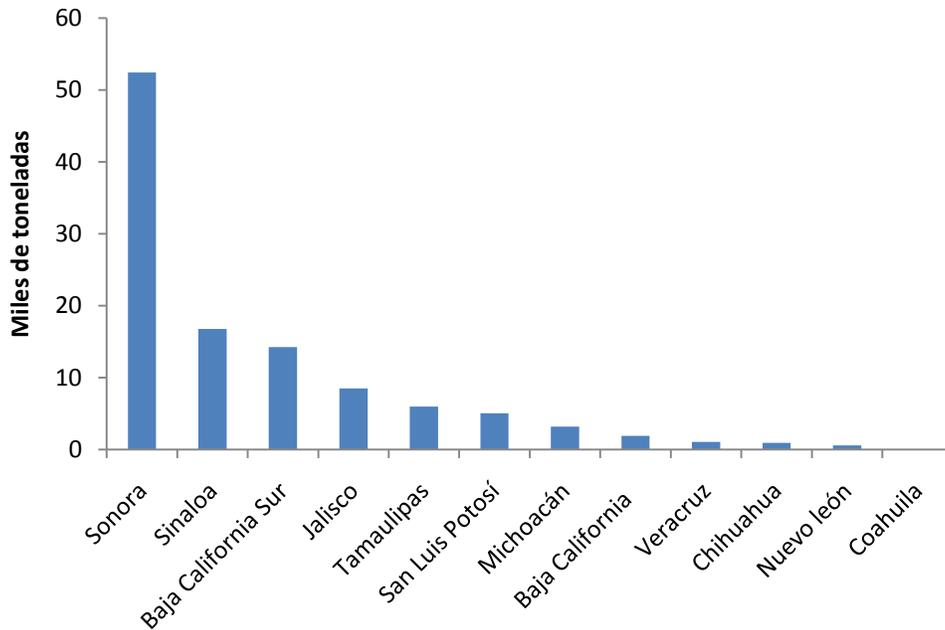


Figura 2. Producción de cártamo ciclo otoño - invierno 2008 en México

(SIAP/ANIAME, 2009).

Planta entera

En Afganistán y la India, el té elaborado con el follaje del cártamo se considera un buen remedio para prevenir la infertilidad de las mujeres (Weiss, 1983). Todas las partes de la planta se venden en tiendas naturistas en India y Pakistán como “pansari” y como afrodisíaco (Knowles, 1965). El forraje es palatable para becerros y el valor alimenticio así como los rendimientos son similares o mejores a los que se obtienen de la avena y la alfalfa (Smith, 1996).

Flores

En China se prepara té con flores de cártamo. También se utilizan para dar color a los alimentos; por ejemplo, el arroz, el pan y algunas salsas. China, principalmente en la provincia de Yunnan produce “carthamin” para su uso en la cocina y de las flores también se extraen tintes que se utilizan para teñir el cabello y las telas (Li Li Dajue y Mündel, 1997).

Semillas

Las semillas enteras de cártamo se utilizan generalmente como alimento para aves; en especial, loros y palomas. Se ha encontrado que la harina de cártamo usada como fuente proteica en alimentos para pollos mejora el crecimiento y la utilización del alimento (Kuzmicky y Kohler, 1968). En Irán preparan una pasta de cártamo para elaborar queso, y en Etiopía las semillas sirven para preparar una bebida llamada “fitfit”. En Sudán, las semillas tostadas mezcladas con cebada o trigo sirven para preparar una botana. Por otro lado, en muchos países de Asia, las semillas de cártamo continúan siendo un medicamento para la prevención de la arteriosclerosis (Belayneh y Wolde-Mariam, 1991).

Aceite

Alrededor del mundo, el aceite de cártamo se usa para cocinar, para condimentar ensaladas y para la fabricación de margarinas. El aceite de cártamo, nutricionalmente es similar al de oliva, con altos niveles de ácido oleico y linoleico, pero mucho más barato. Los ácidos grasos poli-insaturados se asocian con la reducción de los niveles de colesterol sanguíneo. De igual forma, se ha demostrado que los ácidos monoinsaturados como el oleico ayudan a disminuir los niveles de colesterol LDL (lipoproteína de baja densidad o “malo”) sin afectar el colesterol HDL (lipoproteína de alta densidad o “bueno”), (Smith, 1996). El aceite de cártamo tiene una estabilidad oxidativa alta (más de 25 horas), no cambia a baja temperatura, por lo que es muy adecuado para la preparación de alimentos congelados. El aceite de cártamo, rico en ácido oleico, es muy estable a temperaturas altas, y no genera humo u olor cuando se fríen alimentos (Li Dajue y Mündel, 1997).

Pasta

La pasta de cártamo, que se obtiene después de la extracción de aceite, contiene un elevado porcentaje de proteína bruta (25-42%) cuando se utiliza la semilla decorticada (Tacon, 1990; Hertrampf y Piedad-Pascual, 2000). Sin embargo, la pasta no se usa para el consumo humano debido a su sabor amargo, ocasionado por la presencia de glucósidos (Palter, Lundin y Fuller 1972 citado en: Madrigal y Ortega, 2002). Estos glucósidos son solubles en agua, por lo que pueden eliminarse por extracción de la proteína en su punto isoeléctrico (Paredes, 1991), y así los concentrados y otros productos de cártamo podrían utilizarse en alimentos para animales.

Generalmente, la pasta de cártamo se ha utilizado para alimentar organismos terrestres. Girau y Zweigart (1953) sustituyeron la pasta de soya del alimento con una pasta de cártamo decorticado (41% de proteína) para alimentar gallinas ponedoras, y después de 11 semanas de experimentación, encontraron que no había diferencias entre los tratamientos en cuanto a la producción de alimento consumido, y la producción y calidad del huevo.

Petersen, Wiese, Anderson y Lampman (1957) encontraron que la pasta de cártamo decortinado (35% de proteína) puede reemplazar la pasta de soya en pequeñas raciones si los alimentos contienen un 5% de harina de pescado y 5-10% de harina de carne. Madrigal y Ortega reportaron en el 2002 que es posible utilizar un concentrado proteico de cártamo como sustituto parcial de las proteínas lácteas en reemplazantes de leche para becerros.

El uso de cártamo en la alimentación para organismos acuáticos ha sido poco evaluado. Durante la década de 1950 y 1960 la empresa Pacific Oil Corporation (PVO) produjo en el Estado de California, alimentos peletizados con pasta de cártamo para alimentar truchas. Los peces del experimento aceptaron rápidamente los alimentos; sin embargo, los alimentos con cártamo tenían una menor estabilidad en el agua, comparados con los fabricados con pastas de menor contenido de fibra. Algunas granjas japonesas han utilizado el 5% de inclusión de pasta de cártamo en base seca en alimento para la alimentación de truchas, sin afectar el crecimiento (Smith, 1996).

Hasta donde sabemos, no se ha evaluado el valor nutricional del cártamo en camarones peneidos, por lo que en el presente trabajo se muestra una síntesis de los estudios realizados en el CIBNOR para determinar el valor nutricional del cártamo (*Carthamus tinctorius*) como fuente proteica en alimentos para juveniles de camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei*. Para este fin, se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivos

- 1.- Caracterizar los productos de cártamo: harina integral y dos pastas (alta y baja en proteína), con base en su composición proximal y contenido de aminoácidos, ácidos grasos fósforo, calcio y factores antinutricionales.
2. Determinar la digestibilidad *in vivo* e *in vitro* de la harina integral y dos pastas de cártamo (alta y baja en proteína) en juveniles de camarón *L. vannamei*.
3. Medir la atractabilidad y el consumo de alimentos para camarón que contienen los productos de cártamo, y compararlos contra un alimento a base de harina de pescado.

4.- Determinar el efecto de la sustitución de la pasta de soya con pastas de cártamo (alta y baja en proteína) en el alimento sobre el crecimiento, composición química y la digestibilidad *in vivo* de juveniles de camarón *L. vannamei*.

5.- Determinar el efecto de la sustitución parcial de la proteína de la harina de sardina con la proteína de la pasta de cártamo alta en proteína en alimentos suplementados o no con D-L-metionina protegida sobre el crecimiento ponderal y la digestibilidad *in vivo* de juveniles de camarón *L. vannamei*.

Parte 1

Valor nutricional de productos de cártamo con base en su composición proximal, contenido de aminoácidos y ácidos grasos, fósforo, calcio, factores antinutricionales, y digestibilidad.

Materias primas e ingredientes

La mayor parte de los ingredientes para elaborar los alimentos fueron adquiridos en casas comerciales (Proteínas Marinas y Agropecuarias, Guadalajara, México y PIASA, La Paz, México). Tres productos de cártamo fueron evaluados. Una harina integral de cártamo (HIC), la cual fue elaborada en el laboratorio de Nutrición Acuícola del CIBNOR, con semillas de cártamo (S-518) producidas en el Valle del Yaqui en el Estado de Sonora, México. Debido a que las semillas contenían un elevado contenido de aceite (~36%) no se pudieron moler y tamizar con los aparatos con los que se disponía en el CIBNOR, por lo que se realizó el siguiente procedimiento para obtener una harina con tamaño de partícula homogénea: el aceite de la semilla fue extraído cuantitativamente con éter de petróleo en un sistema de extracción (Soxtec Avanti 2050, Foss Analytical, Höganäs, Suecia). La harina desengrasada fue pulverizada en un molino (Cyclotec 1093, Foss Analytical, Höganäs, Suecia) y finalmente el aceite que se había extraído se reincorporó a esta harina en la misma proporción en que se encontraba originalmente, y se homogenizó en una mezcladora (Kitchen Aid). El segundo producto que se evaluó fue la pasta de cártamo baja en proteína (PCB). El tercer producto fue la pasta de cártamo alta en proteína (PCA). Estos dos últimos productos fueron comercialmente producidos por medio de extracción mecánica (prensas Hivex Hexpander) y solventes (hexano) por la empresa Aceites del Mayo S.A de C.V. en Sonora, México. Todos los ingredientes fueron molidos en un pulverizador (PULVEX 200, Molinos Pulvex, D.F., México) y tamizados a menos de 250- μ m (malla No. 35). Se almacenaron a 4°C hasta su uso. Para determinar la composición de aminoácidos, ácidos grasos, calcio, fósforo, de los productos de cártamo se utilizaron las metodologías descritas por Vázquez-Ortiz *et al.*, 1995; Mercier, 2007; Sapp y Davidson, 1991 y Jackson, 1958.

Para determinar el contenido de inhibidor de tripsina, hemaglutininas, saponinas, actividad ureásica y aflatoxinas de los productos de cártamo se utilizaron las metodologías descritas por Kakade y colaboradores, 1974; Gómez, 1992; Walter *et al.*, 1989; AOAC, 2002 y Norma Oficial Mexicana NOM- 188-SSAI-2002.

Sistema experimental

Los experimentos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Nutrición Experimental del CIBNOR. El sistema de cultivo consistió en acuarios de fibra de vidrio con una capacidad de 60 L (34 x 55 x 38cm) que contaron con agua de mar filtrada a través de filtro de arena, de cartucho (10 y 1 μm) y luz ultravioleta. La temperatura del agua en los acuarios fue controlada por calentadores sumergibles de 250W (EBO-JAGER) con precisión de $\pm 0.5^\circ\text{C}$. La iluminación del sistema experimental se hizo con lámparas de 200W controladas por un temporizador (“timer”) a manera de mantener una fotofase de 12h de luz, a partir de las 6:00 am constante a lo largo del experimento.

Diseño experimental y condiciones de cultivo

Para medir la digestibilidad *in vivo* se diseñaron 4 alimentos: Un alimento control con 35% de proteína (dieta de referencia de Monterrey ARD-F-65-050301, Tabla 3), y tres alimentos experimentales donde se incluía la harina integral de cártamo (HIC-D), pasta de cártamo baja en proteína (PCB-D) y pasta de cártamo alta en proteína (PCA-D) a un nivel de inclusión del 30%, y 1% de óxido crómico como marcador inerte (Tabla 4). Después de una semana de aclimatación, los juveniles de *L. vannamei* se pesaron individualmente y se seleccionaron 200 camarones con peso entre 5 y 6g. Se distribuyeron aleatoriamente en 20 acuarios a razón de 10 organismos por acuario, a manera de contar con cinco réplicas por cada tratamiento alimenticio.

Cada uno de los 4 alimentos fue asignado aleatoriamente a 5 acuarios. Los camarones fueron aclimatados a los alimentos con óxido crómico durante 7 días antes de iniciar la colecta de las heces. El experimento tuvo una duración de 45 días tiempo necesario para colectar aproximadamente 15 gramos de heces de cada acuario. Diariamente se monitorearon la temperatura ($27 \pm 1^\circ\text{C}$) con un termómetro de mercurio, la salinidad (39 ± 1 ups) por medio de un refractómetro portátil (Vista A366 ATC) y el oxígeno disuelto (5.0 ± 0.3 mg/mL) con un oxímetro portátil (YSI, 550A).

Los restos de alimento no consumido, mudas y heces fueron extraídos de los acuarios todos los días por la mañana (9:00h) y posteriormente se realizó un recambio de agua equivalente al 80% del volumen total. Una vez limpios los acuarios, se suministró el alimento (10:00h) correspondiente al 10% de la biomasa de los camarones, al paso de dos horas se llevó a cabo la primera colecta de las heces en cada acuario. Después de esta primera colecta, se volvió a proporcionar alimento (14:00 h), para luego de una hora proceder a una segunda ronda de colecta, por lo que las heces obtenidas corresponden a aquellas excretadas durante aproximadamente 3 a 4 horas después de la primera alimentación.

El material fecal de cada acuario fue colectado en un recipiente de plástico, enjuagado suavemente en agua destilada para eliminar sales, congelado a -20°C , liofilizado y homogenizado con la ayuda de una espátula, a fin de contar con una sola muestra por acuario (réplica biológica). Posteriormente, las heces fueron analizadas por triplicado para determinar sus contenidos de proteína (AOAC, 2005), lípidos (Folch, Lees y Sloane-Stanley, 1957), carbohidratos (Dreywood, 1946) y óxido crómico (Furukaka y Tsukahara, 1966).

Criterios de evaluación

Se estimaron los Coeficientes de Utilización Digestiva Aparente de materia seca, proteínas, lípidos y carbohidratos (CUDAmS, CUDAp, CUDAl y CUDAc, respectivamente) de los ingredientes de acuerdo con las ecuaciones reportadas en Galicia-González *et al.*, (2010).

La hidrólisis de proteínas de los productos de cártamo fueron medidas de acuerdo a Dimes y Haard (1994) usando el método pH-Stat.

Tabla 3. Composición de ingredientes de la dieta de referencia (% en base húmeda)

Ingrediente	%
Harina de pescado ¹	34.0
Harina de trigo ²	45.0
Pasta de soya ³	14.0
Lecitina de soya ⁴	3.5
Aceite de pescado ⁵	2.8
Premezcla de vitaminas ⁶	0.3
Premezcla de minerales ⁷	0.15
Vitamina C ⁸	0.06
Vitamina E ⁹	0.03
Antioxidante (etoxiquina) ¹⁰	0.02

¹Sardina 57% proteína bruta, Alimentos marinos, Ciudad Obregón, Sonora, México; ²Harina de trigo 12-13% proteína bruta, Ciudad Obregón, Sonora, México; ³Pasta de soya, extracción con solvente, 47% proteína bruta, ADM, EUA; ⁴Lecitina de soya. ADM, EUA; ⁵Aceite de pescado, Alimentos Marinos, Ciudad Obregón, Sonora, México; ⁶Composición de premezcla de vitaminas (IU o mg/kg): A, 4,000,000 IU; D₃, 3,200,000 IU; E, 60,000; B₁, 24,000; B₂, 16,000; DL-Ca pantoténico, 30,000; B₆, 30,000; B₁₂, 80; C, 60,000; K₃, 16,000; H, 400; niacina, 20,000; ácido fólico, 4000; ⁷Composición de premezcla de minerales (mg/kg): Co, 2000; Mn, 16,000; Zn, 40,000; Cu, 20,000; Fe, 1; Se, 100; I, 2000; ⁸Vitamina C (L-ascórbico l-2-polifosfato, 35%). Basf, D.F., México; ⁹Vitamina E. Basf, D.F., México; ¹⁰Antioxidant. Dresquin 66, Dressen, D.F., México.

Tabla 4. Formulación de los alimentos usados para determinar la digestibilidad *in vivo* de los productos de cártamo.

Ingrediente (g / 100 g base húmeda)	Alimentos ¹			
	DC	HIC-D	PCB-D	PCA-D
Dieta de referencia Monterrey ²	98.0	68.0	68.0	68.0
Harina integral de cártamo ³		30.0		
Pasta de cártamo baja en proteína ⁴			30.0	
Pasta de cártamo alta en proteína ⁵				30.0
Alginato de sodio ⁶	1.0	1.0	1.0	1.0
Óxido crómico	1.0	1.0	1.0	1.0

¹DC = Alimento control; HIC-D = Alimento con harina integral de cártamo; PCB-D = Alimento con pasta de cártamo baja en proteína; PCA-D = Alimento con pasta de cártamo alta en proteína. ²ARD-F-65-050301; ³HIC0505; ⁴PCbp0409; ⁵PCap0409; Sigma-Aldrich 180947-050301; ⁶IMPEX Continental 12233-050301 Monterrey, N.L.

Atractabilidad de los alimentos con productos de cártamo

Se utilizaron adultos de camarón blanco *L. vannamei* en estadio C de intermuda en ayuno de 24h. Los organismos fueron mantenidos en el laboratorio húmedo a una temperatura de $27 \pm 0.5^\circ\text{C}$ y una salinidad de 40ups, en acuarios de vidrio con una capacidad de 40L (10 organismos por acuario) con aireación constante, fotoperiodo de 12/12 y con dos alimentaciones diarias (11:00 y 15:30h) a base de alimento con 35% de proteína. Las pruebas de atractabilidad se realizaron en un dispositivo de acrílico transparente en forma de “Y” de 1.36m de largo, 0.81m de ancho y 0.20m de alto. La temperatura del agua dentro del dispositivo tipo “Y” se mantuvo a $27 \pm 1^\circ\text{C}$, con circulación de agua con la ayuda de una bomba sumergible. Se usó agua de mar filtrada (filtro de cartucho 10 μ). Los organismos fueron aclimatados por 30 minutos, antes de iniciar la prueba. Al tiempo cero, el alimento de prueba (Tabla 4) se colocó al azar en alguno de los extremos superiores de la

“Y” (denominándose como punto A=Atractante) y el otro extremo se denominará punto B (blanco). Cada prueba incluyó una prueba testigo donde no se colocó alimento en ningún extremo de la “Y” (B1 y B2). Los experimentos de atractabilidad se realizaron entre las 10:00 y las 14:00h, usando luz blanca dentro del laboratorio húmedo donde se ubicó el dispositivo tipo “Y”. Tres minutos antes del tiempo cero se inició la videograbación (Videocámara Panasonic, VHS, con contador de tiempo), por otros 20 minutos, para registrar el comportamiento de los animales en el sistema. Se utilizó el cronómetro del video para registrar el tiempo y comportamiento de los organismos en presencia y/o ausencia del alimento. La atractabilidad se cuantificó en función del tiempo de residencia relativo del animal cerca del alimento (Com. per. Nolasco, 2005).

Cuantificación de alimento consumido

Los organismos ($5 \pm 0.5\text{g}$) fueron alimentados durante una semana con los alimentos experimentales (Tabla 4) para que se acostumbraran al alimento. Posteriormente se procedió a evaluar el consumo de alimento utilizando para ello un sistema cerrado, en el cual el volumen de agua se mantuvo constante durante la cuantificación. El sistema consistió en recipientes circulares de 1L inmersos en un baño María (72cm x 40cm x 33cm) para regular la temperatura ($27 \pm 1^\circ\text{C}$) por medio de calentadores sumergibles de 250W. Se colocó un organismo ($5 \pm 0.5\text{g}$) en estadio de intermuda “C” por recipiente durante 24 horas antes de la evaluación de su consumo de alimento. Cada recipiente fue mantenido con aireación constante, 27°C de temperatura, 40ups de salinidad, y colocado en un cuarto con un mínimo de ruido para no perturbar a los organismos. Una vez transcurridas las 24 horas de aclimatación, se procedió a recambiar el 100% del agua de los recipientes, utilizando agua de mar filtrada (filtro de cartucho 10μ). Los recipientes se llenaron por medio de sifón a través de una manguera introducida hasta el fondo, evitando burbujeo y turbulencia. Los alimentos se suministraron con base al 10% del peso de los camarones y se les dejó comer durante dos horas. Se realizó la misma operación pero con recipientes sin organismos, los cuales fueron utilizados como blancos (3 blancos por cada tipo de alimento) para estimar la

pérdida de alimento por lixiviación. Transcurridas las dos horas de alimentación se retiraron los camarones y las heces. Toda el agua de cada recipiente fue filtrada a través de un papel filtro Whatman No. 1, previamente secado y pesado, con la ayuda de una bomba de vacío. El papel filtro con el alimento residual se sometió a un secado en una estufa con flujo de aire a 70°C por 24 horas. La fórmula utilizada para determinar el consumo de alimento fue la siguiente:

$$\text{Consumo de Alimento } g^{-1} \cdot h^{-1} = g \text{ de Alimento consumido} / g \text{ de camarón en peso húmedo} / \text{horas de alimentación}$$

Se realizaron cinco réplicas por cada tratamiento, todas las mediciones fueron realizadas durante el día entre las 09:00 y las 16:00 h. Después de la evaluación del consumo de alimento se midió el peso húmedo de cada organismo.

Análisis estadísticos

Se utilizó un diseño completamente al azar, con al menos 3 réplicas para todos los casos. Para el análisis de datos se llevó a cabo un análisis de normalidad y homogeneidad de varianzas utilizando las pruebas de Lillieford y Bartlett (Ott, 1992; Sokal, 1995). Se utilizó el análisis de varianza de una vía, a fin de determinar diferencias significativas entre los tratamientos, y una posterior comparación de medias de Tukey, cuando existieron diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%. Se realizó un análisis de correlación entre la digestibilidad *in vivo* y la digestibilidad *in vitro*. Se usó el paquete estadístico STATISTICA^{MR} 7.0. (StatSoft, Inc., Tulsa, Ok, EUA) (Zar, 1984).

Resultados Parte 1

Análisis proximal y energía

En la Tabla 5 se presenta la composición química proximal de las dos pastas de cártamo, producidas a nivel industrial, proporcionadas por la empresa Aceites del Mayo y una harina integral de cártamo fabricada en el CIBNOR. El contenido de proteína varió de 20.6 a 36.8% en base seca. La harina integral de cártamo presentó el mayor nivel de extracto etéreo 31% en base seca, mientras que las pastas de cártamo tuvieron un nivel muy bajo (1.8%, PCB y 1.0%, PCA). El contenido de fibra de harina integral de cártamo fue de 23.2% en base seca, disminuyendo en las pastas de cártamo, (21.7%, PCB y 17%, PCA). El nivel de ceniza en las pastas de cártamo fue alrededor de 7% en base seca. El contenido de energía bruta varió de 24.3 a 19.0kJ/g en los productos de cártamo.

Tabla 5. Composición proximal de los productos de cártamo.

	Ingredientes ¹		
	HIC	PCB	PCA
Humedad (%)	5.06 ± 0.2	2.52 ± 0.02	4.00 ± 0.08
Proteína bruta	20.64 ± 0.09	27.48 ± 0.16	36.77 ± 0.05
Extracto Etéreo	34.61 ± 0.12	1.78 ± 0.02	1.03 ± 0.04
Fibra	23.17 ± 0.06	21.66 ± 0.35	17.01 ± 0.23
Cenizas	3.66 ± 0.05	6.76 ± 0.09	6.58 ± 0.03
ELN ³	17.91	42.32	38.56
Energía bruta (kJ/g)	24.3 ± 0.07	19.1 ± 0.03	19.0 ± 0.04

¹Valores promedio de tres réplicas ± desviación estándar, expresados en g/100 de materia seca, excepto humedad; ²HIC = Harina integral de cártamo; PCB = Pasta de cártamo baja en proteína; PCA= Pasta de cártamo alta en proteína; ³Extracto libre de nitrógeno.

Composición de aminoácidos de los productos de cártamo

Los aminoácidos más abundantes en los productos de cártamo (g/100 g proteína bruta) fueron el ácido glutámico (~23), ácido aspártico (11) y arginina (9.4). El cómputo químico muestra que el primer aminoácido limitante en los productos de cártamo fue la lisina y el segundo fue la metionina (Tabla 6).

Composición de ácidos grasos de los productos de cártamo

El ácido oleico fue el ácido graso más abundante en las muestras de cártamo (71–74% del total de los ácidos grasos), seguido por los ácidos grasos linoleico (12–15%), palmítico (7–11%) y esteárico (2–3%); los otros ácidos grasos fueron menores al 2% (Tabla 7). Los ácidos grasos EPA y DHA no se presentaron en las muestras de cártamo.

Cuantificación de calcio y fósforo de los productos de cártamo

El contenido de calcio varió de 0.25 a 0.42% en los productos de cártamo. Por otro lado el contenido más alto de fósforo (0.25%) se presentó en la harina integral de cártamo; en las pastas PCB y PCA el contenido de fósforo fue de 0.24 y 0.23 g/100g muestra, respectivamente (Tabla 8).

Tabla 6. Contenido de aminoácidos (g /100 g proteína bruta) y cómputo químico de los productos de cártamo.

Aminoácidos	Requerimiento estimado ¹	Ingredientes ²			Cómputo químico		
		HIC	PCB	PCA	HIC	PCB	PCA
Ácido aspártico	9.85	10.90	10.58	10.96	110.7	107.4	111.3
Ácido glutámico	14.67	23.08	22.66	23.88	157.3	154.5	162.8
Alanina	5.60	5.01	4.66	4.79	89.5	83.2	85.5
Arginina	9.70	9.44	10.32	9.99	97.3	106.4	103.0
Fenilalanina	4.97	4.49	5.17	4.79	90.3	104.0	96.4
Glicina	8.04	7.40	7.59	7.82	92.0	94.4	97.3
Histidina	2.16	3.01	2.88	2.99	139.4	133.3	138.4
Isoleucina	4.13	4.30	4.57	4.47	104.1	110.7	108.2
Leucina	7.13	6.75	7.38	7.07	94.7	103.5	99.2
Lisina	5.35	1.38	2.98	1.63	25.8	55.7	30.5
Metionina	2.13	1.01	1.52	1.50	47.4	71.4	70.4
Serina	4.13	5.06	4.05	3.83	122.5	98.1	92.7
Tirosina	4.13	2.98	3.14	3.25	72.2	76.0	78.7
Treonina	4.00	3.98	3.46	3.57	99.5	86.5	89.3
Valina	4.57	6.02	6.13	6.19	131.7	134.1	135.4

¹Requerimiento estimado de aminoácidos del camarón (*L. vannamei*) Tacon *et al.* (2002). ²HIC = Harina integral de cártamo; PCB = Pasta de cártamo baja en proteína; PCA= Pasta de cártamo alta en proteína.

Tabla 7. Composición de ácidos grasos (% del total de ácidos grasos \pm DE) de los diferentes productos de cártamo.

Ácido graso	Ingredientes ¹		
	HIC	PCB	PCA
14:0	0.14 \pm 0.005	0.16 \pm 0.016	0.18 \pm 0.019
16:0	6.55 \pm 0.069	8.71 \pm 0.197	10.54 \pm 0.255
16:1n-7	0.10 \pm 0.002	0.16 \pm 0.002	0.26 \pm 0.017
17:0	0.06 \pm 0.002	0.11 \pm 0.011	0.15 \pm 0.011
17:1n-8	0.05 \pm 0.002	0.04 \pm 0.039	ND
18:0	2.04 \pm 0.008	2.77 \pm 0.279	2.81 \pm 0.022
18:1n-9*	74.08 \pm 0.069	72.17 \pm 0.564	71.00 \pm 0.166
18:1n-7	0.69 \pm 0.002	0.81 \pm 0.055	0.83 \pm 0.007
18:2n-6**	15.15 \pm 0.011	13.21 \pm 0.082	12.34 \pm 0.037
18:3n-3	0.12 \pm 0.002	0.38 \pm 0.004	0.36 \pm 0.012
20:0	0.38 \pm 0.006	0.60 \pm 0.009	0.61 \pm 0.021
20:1n-11	0.30 \pm 0.004	0.38 \pm 0.049	0.35 \pm 0.022
22:0	0.32 \pm 0.004	0.49 \pm 0.006	0.26 \pm 0.038

¹HIC = Harina integral de cártamo; PCB = Pasta de cártamo baja en proteína; PCA = Pasta de cártamo alta en proteína. ND = no detectado. * Ácido oleico, ** Ácido linoleico.

Tabla 8. Contenido de calcio y fósforo (% \pm DE) de los diferentes productos de cártamo.

	Ingredientes ¹		
	HIC	PCB	PCA
Calcio	0.25 \pm 0.001	0.36 \pm 0.003	0.42 \pm 0.002
Fósforo	0.25 \pm 0.015	0.24 \pm 0.013	0.23 \pm 0.006

¹HIC = Harina integral de cártamo; PCB=Pasta de cártamo baja en proteína; PCA = Pasta de cártamo alta en proteína.

Factores antinutricionales en los productos de cártamo

Los factores antinutricionales determinados en los productos de cártamo se muestran en la Tabla 9. La actividad del inhibidor de tripsina de la harina integral de cártamo (7.56 UTI/mg muestra) fue significativamente mayor en las pastas de cártamo. No se encontró actividad de hemaglutininas en ninguno de los productos de cártamo. La determinación de saponinas resultó negativa para todos los productos de cártamo. La actividad ureásica medida por el incremento del pH en los productos de cártamo fue menor a 0.01. El mayor contenido de aflatoxinas 2 ppb se encontró en la PCA, mientras que en los productos HIC y PCB el contenido de aflatoxinas fue de 0.5 y 1 ppb, respectivamente.

Tabla 9. Factores antinutricionales en los productos de cártamo.

	Ingredientes ¹		
	HIC	PCB	PCA
Inhibidor de tripsina (UTI/mg muestra) ²	7.56 ± 0.2a	5.65 ± 0.1b	5.01 ± 0.1b
Hemaglutininas ³	ND	ND	ND
Saponinas (mm) ⁴	PN	PN	PN
Actividad uréasica ⁵	0.01 ± 0.01	ND	ND
Aflatoxinas (ppb)	0.5 ±	1 ± 0.0	2 ± 0.0

¹HIC = Harina integral de cártamo; PCB = Pasta de cártamo baja en proteína; PCA = Pasta de cártamo alta en proteína; ²UTI = Unidades de tripsina inhibida; ³Dilución máxima que produce aglutinación visible en una hora; ⁴Altura menor de 5mm de espuma del sobrenadante indica prueba negativa (PN); ⁵Incremento de pH o actividad ureásica. ND= No detectado.

Experimento de CUDA de productos de cártamo

La composición proximal de los alimentos se presenta en la Tabla 10. Se observan diferencias en el contenido proteínico de los alimentos, el cual varió de 35.18 a 28.58%. El mayor contenido de extracto etéreo (17.71%) lo presentó el alimento que contenía harina integral de cártamo. El contenido de fibra se incrementó en los alimentos que contenían productos de cártamo. El contenido de cenizas fue menor en los alimentos que contenían cártamo en comparación con el control. El alimento con harina integral de cártamo fue el que presentó el mayor contenido de energía bruta (4,683 cal/g) en comparación con los demás alimentos.

Las condiciones de cultivo durante el bioensayo para determinar los coeficientes de utilización digestiva aparente (CUDA) *in vivo* fueron 27.0 ± 0.5°C de temperatura, 40.0 ± 0.3ups de salinidad y 5.5 ± 0.5 mg/mL de oxígeno disuelto, las cuales se mantuvieron constantes en todos los tratamientos.

Tabla 10. Composición química proximal de los alimentos usados para determinar los CUDA de los productos de cártamo.

Nutriente (g/100g materia seca)	Alimentos ²			
	DC	HIC-D	PCB-D	PCA-D
Humedad (%) ¹	5.95	5.91	6.78	6.59
	±0.15	±0.05	±0.20	±0.05
Proteína cruda ¹	34.65	28.58 ±0.10	33.65	35.18
	±0.18		±0.35	±0.22
Extracto etéreo ¹	8.59	17.71	6.41	6.25
	± 0.28	±0.30	±0.08	±0.18
Fibra cruda ¹	1.56	6.35	5.81	6.31
	±0.06	±0.12	0.18	±0.16
Cenizas ¹	11.36	8.92	10.24	10.25
	±0.03	±0.03	±0.01	±0.02
E.L.N. ³	43.83	38.44	43.90	42.00
Energía (cal/g)	4,078	4,683	4,170	4,130
	±7	±8	±8	±5

¹Valores promedio de tres réplicas ± desviación estándar, expresados en g/100 de materia seca, excepto humedad. ²DC = Alimento control; HIC-D = Alimento con harina integral de cártamo; PCB-D = Alimento con pasta de cártamo baja en proteína; PCA-D = Alimento con pasta de cártamo alta en proteína. ³ELN= Extracto libre de nitrógeno.

En la Tabla 11 se muestran los CUDA de materia seca, proteína, lípidos, carbohidratos y energía de los productos de cártamo. Los CUDAMs de los productos de cártamo variaron entre 47.8 a 56%. El CUDAp de HIC (72.4%) fue significativamente más bajo en

Civera, R. *et al.* 2010. Uso del cártamo (*Carthamus tinctorius*) como ingrediente en alimentos para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei*. En: Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds), Avances en Nutrición Acuícola X - Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp. 393-466.

comparación con el de PCA (89.3%) y el de PCB (87.6%). En contraste, el CUDAI de la HIC fue significativamente más alto en comparación con los otros productos de cártamo. El CUDAI más bajo (60.7%) lo presentó PCA. Los CUDAc fueron superiores al 96.8% y no se encontraron diferencias significativas entre los productos de cártamo. PCB presentó el menor CUDAc (67.7%) y fue significativamente más bajo que los de PCA (76.0%) y HIC (73.4%).

Tabla 11. CUDA (% \pm DE) de materia seca, proteína, lípidos, carbohidratos y energía de los productos de cártamo.

	Ingrediente ¹		
	HIC	PCB	PCA
Materia seca	56.0 \pm 4.4a	47.8 \pm 5.2a	51.8 \pm 10.0a
Proteína	72.4 \pm 6.3b	87.6 \pm 1.5a	89.3 \pm 3.0a
Lípidos	93.6 \pm 2.0a	76.1 \pm 10.1b	60.7 \pm 6.2c
Carbohidratos	97.4 \pm 3.2a	96.8 \pm 1.6a	98.8 \pm 2.5a
Energía (componentes energéticos totales) ²	73.4 \pm 1.2a	67.7 \pm 1.0b	76.0 \pm 2.5a

¹HIC = Harina integral de cártamo; PCB = Pasta de cártamo baja en proteína; PCA = Pasta de cártamo alta en proteína; ²La energía digestible fue calculada en base a los valores calóricos 23, 35 y 15 KJ/g de proteína, lípidos y carbohidratos, respectivamente (Cousin 1995); Valores con diferentes superíndices dentro de las filas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Digestibilidad in vitro

Los resultados de la digestibilidad *in vitro* de los productos de cártamo, medido por el grado de hidrólisis usando enzimas de camarones que fueron alimentados con productos de cártamo se muestra en la Tabla 12. No se encontraron diferencias significativas en el grado de hidrólisis y digestibilidad relativa de proteína entre los productos de cártamo; sin embargo, se observa una ligera tendencia a incrementarse en la pasta de cártamo alta en

proteína. Se encontró una correlación positiva ($r^2 = 0.87$) entre el valor de digestibilidad *in vitro* y la digestibilidad *in vivo* de proteína de los productos de cártamo.

Tabla 12. Digestibilidad *in vitro* de los productos de cártamo medido por el grado de hidrólisis y digestibilidad relativa de proteína.

	Ingredientes ^a			
	HIC	PCB	PCA	Caseína ^b
Grado de hidrólisis (%)	4.46	4.86	5.18	9.6
	± 0.54a	± 0.48a	± 0.10a	± 0.20
Digestibilidad relativa de proteína (%)	44.8	48.7	51.9	100%
	± 5.4a	± 4.9a	± 1.0a	

Valores promedio ± DE. ^aHIC = Harina integral de cártamo; PCB = Pasta de cártamo baja en proteína; PCA = Pasta de cártamo alta en proteína. ^bProteína de referencia. Letras diferentes dentro de las filas indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Atractabilidad y consumo de los alimentos con productos de cártamo

La atractabilidad y consumo de los alimentos con un 30% inclusión de los productos de cártamo mostraron valores significativamente menores a los encontrados con el alimento control (Tabla 13). Entre las pastas de cártamo alta y baja en proteína, no se observaron diferencias significativas en la atractabilidad o el consumo de los alimentos. Se encontró una correlación positiva ($R^2 = 0.94$) entre la atractabilidad y el consumo de alimento con un 30% de inclusión de los productos de cártamo (Figura 3).

Tabla 13. Atractabilidad y consumo de alimento por camarones *L. vannamei* alimentados alimentos que contienen productos de cártamo.

Alimentos	Atractabilidad ¹	Consumo de alimento ²
DC	38.45 ±1.05a	0.136 ±0.004a
PCA-D	25.33 ±1.30b	0.125 ±0.005b
PCB-D	24.49 ±1.10b	0.124 ±0.004bc
HIC-D	19.34 ±0.85c	0.114 ±0.003c

Valores promedio ± D.E. ¹Tiempo de residencia (min). ²Alimento consumido, g/g de camarón/hora. Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas (P<0.05).

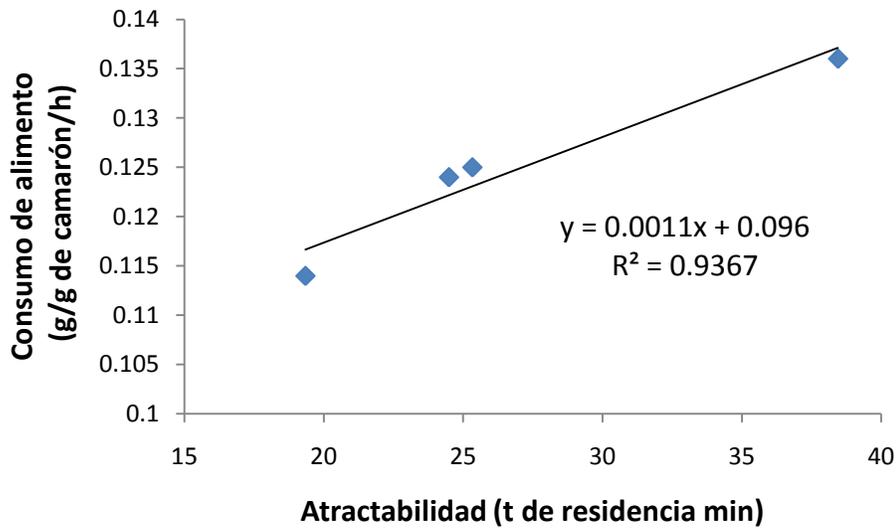


Figura 3. Correlación entre atractabilidad y consumo de alimento.

Parte 2

Efecto de la sustitución de la pasta de soya con pastas de cártamo en el alimento sobre el crecimiento y la digestibilidad de juveniles de camarón *L. vannamei*

Diseño experimental y condiciones de cultivo

Se formularon 9 alimentos: un alimento control (CT), cuatro con diferentes niveles de sustitución de una mezcla de pasta de soya y harina integral de trigo (1:2) por pasta de cártamo baja en proteína (alimentos PCB-25, PCB-50, PCB-75, PCB-100%) y cuatro con diferentes niveles de sustitución de la proteína de la pasta de soya por proteína de la pasta de cártamo alta en proteína (alimentos PCA-25, PCA-50, PCA-75, PCA-100%) (Tabla 14). Los alimentos se formularon para contener 32.5% de proteína y 8.5% de lípidos, así como satisfacer el contenido de aminoácidos esenciales para camarón según lo sugerido por Akiyama et al. (1991) y la relación proteína/energía (80 mg proteína/Kcal) reportado por Cruz-Suárez, Antimo-Pérez, Luna-Mendoza, Tapia-Salazar y Ricque-Marie (2000).

Los organismos se pesaron individualmente y se seleccionaron 360 camarones con peso promedio de 350 ± 0.05 mg. Se distribuyeron aleatoriamente en 36 acuarios a razón de 10 organismos por acuario, a manera de contar con cuatro réplicas por cada tratamiento alimenticio.

Cada uno de los 9 alimentos fue asignado aleatoriamente a 4 acuarios. El experimento de crecimiento tuvo una duración de 45 días. Diariamente se monitorearon la temperatura con un termómetro de mercurio, la salinidad por medio de un refractómetro portátil (VISTA A366 ATC) y el oxígeno disuelto con un oxímetro portátil (YSI, 550A). Los restos de alimento no consumido, mudas y heces fueron extraídos de los acuarios todos los días por la mañana (09:00h) y posteriormente se realizó un recambio de agua equivalente al 80% del volumen total. El alimento fue distribuido en dos raciones al día (50% a las 10:00h y 50% a las 17:30h). Al inicio del bioensayo, el alimento se suministró a razón del 10% de la biomasa total de los organismos en cada acuario y posteriormente se ajustó en función del

consumo diario a manera de que siempre hubiera un excedente (de aprox. 20% del alimento suministrado).

Los criterios para evaluar los diferentes tratamientos fueron los siguientes: supervivencia, peso final, tasa relativa de crecimiento, alimento consumido total, factor de conversión alimenticia, y eficiencia proteica (Tacon, 1989).

Tabla 14. Composición de los alimentos (g/100g alimento) usados para determinar el efecto de la sustitución de una mezcla de pasta de soya-harina de trigo por pasta de cártamo baja en proteína (PCB) y la sustitución de la proteína de la pasta de soya por proteína de la pasta de cártamo alta en proteína (PCA).

Ingrediente (base húmeda)	CT	PCB				PCA			
		25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
Mezcla Pasta Soya-Harina Int. Trigo ¹	43.11	32.33	21.56	10.78	0.00				
Pasta de Soya ²						11.25	7.50	3.75	0.00
Harina Integral de Trigo ³	17.55	17.56	17.55	17.57	17.58	44.30	42.94	41.58	40.22
Pasta de Cártamo Baja ⁴	0.00	10.78	21.56	32.33	43.11				
Pasta de Cártamo Alta ⁵						5.10	10.19	15.29	20.39
Harina de Pescado ⁶	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
Aceite de Pescado ⁷	3.05	3.04	3.03	3.03	3.02	3.06	3.07	3.08	3.09
Ácido Algínico ⁸	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Premezcla Vitaminas Crustáceos ⁹	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
Lecitina de Soya ¹⁰	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Fosfato Dibásico de Sodio ¹¹	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Óxido Crómico ¹²	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Premezcla de Minerales Crustáceos ¹³	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Cloruro de Colina 62% ¹⁴	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Vitamina C ¹⁵	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
BHT ¹⁶	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004

¹Proteínas Marinas, Guadalajara, México. PC = 26.76% y EE = 1.67% (PsoyHIT0609-1); ²Proteínas Marinas, Guadalajara, México. PC = 47.98% y EE = 0.88% (Psoy0607-1); ³Proteínas Marinas, Guadalajara, México. PC = 15.44% y EE = 2.08% (HIT0607-1); ⁴Aceites del Mayo, Sonora, México. 26.79% y EE = 1.74% (PCB); ⁵Aceites del Mayo, Sonora, México. 35.30% y EE = 0.99% (PCA); ⁶Proteínas Marinas, Guadalajara, México. PC = 64.87% y EE = 10.95 (HP0607-1); ⁷Proteínas Marinas, Guadalajara, México (AcPes0607); ⁸Sigma, A-7128; ⁹(VITCRU0604 CIBNOR); ¹⁰(LSoy0607); ¹¹Sigma, S-0876; ¹²Impex, 12233; ¹³(MINCRU0409 CIBNOR); ¹⁴(CloCol98); ¹⁵(Stay-C 35% aa); ¹⁶ICN, 101162.

Al inicio y final del bioensayo se disectaron 5 camarones en estadio de intermuda “C” (por medio de la observación del desarrollo setal o setogénesis de los urópodos de los camarones con la ayuda de un estéreomicroscopio (40X) de cada tratamiento, a fin de medir la actividad de enzimas digestivas en el hepatopáncreas. A éstos mismos organismos se les disectó el músculo para determinar el contenido de proteína.

Los extractos enzimáticos se prepararon homogenizando los hepatopáncreas en agua destilada a una proporción de 1:3p/v. Posteriormente fueron centrifugados a 16 000 x g, durante 30min a 4°C, los sobrenadantes se guardaron en alícuotas de 500 µL y se almacenaron a -20°C. El sobrenadante se utilizó para determinar el contenido de proteína soluble (Bradford, 1976), de actividad de proteasas alcalinas totales, tripsina, quimotripsina y α -amilasa (Galicia-González, 2009).

Experimento de digestibilidad aparente

Se midieron los CUDA de los 9 alimentos empleados en el experimento de crecimiento anterior, descritos en la Tabla 14. El sistema experimental fue el mismo que se mencionó en la Parte 1.

Diseño experimental y condiciones de cultivo

Los organismos se pesaron individualmente y se seleccionaron 190 camarones con un peso de entre 16.5 y 19.5g. Se distribuyeron aleatoriamente en 36 acuarios a razón de 5 organismos por acuario, a manera de contar con 4 réplicas por cada tratamiento alimenticio.

Cada uno de los 9 alimentos fue asignado aleatoriamente a 4 acuarios. El experimento de CUDA tuvo una duración aproximada de 40 días, tiempo necesario para coleccionar aproximadamente 15 gramos de heces en cada acuario. Las condiciones de cultivo, monitoreo de parámetros, colecta de heces y criterios de evaluación fueron similares a los descritos en la Parte 1.

Civera, R. *et al.* 2010. Uso del cártamo (*Carthamus tinctorius*) como ingrediente en alimentos para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei*. En: Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds), Avances en Nutrición Acuícola X - Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp. 393-466.

Resultados Parte 2

Análisis proximal de los alimentos

Los alimentos que se utilizaron en este experimento presentaron un contenido proteico que varió de 34.5 en el alimento del 100% de sustitución de la mezcla trigo-pasta de soya por pasta de cártamo baja en proteína (PCB-100) a 31.3% en el alimento del 75% de sustitución de la soya por pasta de cártamo alta en proteína (PCA-75). Los alimentos con el 75% y 100% de la sustitución de la mezcla trigo-pasta de soya por pasta de cártamo baja en proteína (PCB75 y PCB-100, respectivamente) son los que presentaron los valores más altos de lípidos (9.52 y 9.15%), mientras que el menor valor se presentó con el alimento PCA-25 (7.60%). Los valores más altos de fibra (3.3 y 6.8%) se presentaron en los alimentos con el 75% y 100% de la sustitución de la mezcla trigo-pasta de soya por pasta de cártamo baja en proteína (PCB75 y PCB-100, respectivamente), mientras que el menor valor se presentó con el alimento control (0.87%). El contenido de cenizas en todos los alimentos varió entre 9.9 y 11.5% (Tabla 15).

Sustitución de la pasta de soya por pasta de cártamo alta en proteína

Después de 45 días de experimentación la supervivencia fue superior al 92.5% con todos los tratamientos (Tabla 16). Los tratamientos PCA-75 y CT fueron los que presentaron el mayor peso promedio final (3.48 y 3.32g, respectivamente), así como también la mayor tasa de crecimiento (902.1 y 853.3%, respectivamente), mientras que los tratamientos PCA-100 y PCA-25 fueron los que presentaron el menor peso promedio (3.12 y 3.13g, respectivamente) y la menor tasa de crecimiento. La sustitución de la pasta de soya por la pasta de cártamo de alta proteína no produjo cambios significativos en ninguna de los parámetros zootécnicos evaluados. El nivel de reemplazo del 75% produjo el mayor crecimiento entre todos los tratamientos.

Tabla 15. Composición química proximal de los alimentos utilizados para evaluar la sustitución de la pasta de soya por pastas de cártamo.

Nutriente (g/100g base seca)	CT	PCA				PCB			
		25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
Humedad (%) ¹	9.51	8.31	9.01	8.55	8.32	8.15	8.16	7.76	7.51
	±0.4	±0.04	±0.18	±0.14	±0.21	±0.04	±0.18	±0.06	±0.10
Proteína bruta ¹	31.97	32.93	31.59	31.34	31.40	32.27	32.63	33.59	34.47
	±0.26	±0.44	±0.39	±0.09	±0.18	±0.24	±0.11	±0.19	±0.37
Extracto etéreo ¹	7.66	7.60	7.63	7.70	8.16	7.91	7.79	8.52	9.15
	±0.04	±0.10	±0.17	±0.32	±0.14	±0.17	±0.20	±0.26	±0.29
Fibra ¹	0.87	0.92	1.23	1.71	1.71	1.26	3.17	3.33	6.80
	±0.03	±0.14	±0.25	±0.15	±0.23	±0.26	±0.25	±0.28	±0.29
Cenizas ¹	9.89	10.46	10.19	10.30	10.43	10.28	10.63	11.10	11.48
	±0.04	±0.05	±0.04	±0.07	±0.13	±0.03	±0.11	±0.02	±0.04
E.L.N. ²	49.61	48.09	49.36	48.95	48.30	48.28	45.78	43.47	38.09
Energía (cal/g)	4194.5	4157.2	4171.2	4138.3	4129.8	4116.2	4147.4	4160.6	4287.8
	±10.1	±8.8	±6.8	±8.2	±6.7	±8.1	±5.4	±5.4	±7.2

¹Valores promedio de tres réplicas ± desviación estándar, expresados en g/100 de materia seca, excepto humedad. ²ELN= Extracto libre de nitrógeno.

Tabla 16. Resultados zootécnicos finales (45 días) de juveniles de camarón *L. vannamei* para evaluar la sustitución pasta de soya por pasta de cártamo alta en proteína

Alimento	Peso inicial (g)	Supervivencia (%)	Peso final (g)	Alimento consumido (g/org/día)	Alimento consumido Total (g)	Tasa de crecimiento (%)	Factor de conversión alimenticia	Eficiencia proteica
Control	0.35 ^a ±0.01	90.0 ^a ±8.16	3.32 ^{ab} ±0.30	0.21 ^a ±0.01	45.50 ^a ±1.72	853.26 ^{ab} ±63.95	1.62 ^a ±0.14	1.91 ^a ±0.16
PCA-25	0.35 ^a ±0.01	87.5 ^a ±12.56	3.13 ^{ab} ±0.27	0.20 ^a ±0.02	41.52 ^a ±2.18	796.61 ^{ab} ±75.90	1.60 ^a ±0.11	1.94 ^a ±0.13
PCA-50	0.35 ^a ±0.01	92.5 ^a ±12.56	2.89 ^b ±0.20	0.20 ^a ±0.03	39.29 ^a ±3.29	716.54 ^b ±79.76	1.71 ^a ±0.11	1.83 ^a ±0.12
PCA-75	0.35 ^a ±0.01	92.5 ^a ±9.57	3.48 ^a ±0.26	0.21 ^a ±0.03	45.00 ^a ±6.59	902.10 ^a ±87.74	1.49 ^a ±0.09	2.11 ^a ±0.14
PCA-100	0.35 ^a ±0.01	92.5 ^a ±5.00	3.12 ^{ab} ±0.24	0.19 ^a ±0.01	42.00 ^a ±1.45	831.98 ^{ab} ±62.86	1.53 ^a ±0.13	2.08 ^a ±0.17

Valores promedio de 4 réplicas ± desviación estándar. Alimentos PCA-25, PCA-50, PCA-75 y PCA-100 (correspondientes a 25, 50,75 y 100% de sustitución de la pasta de soya por pasta de cártamo alta en proteína). Valores con diferente superíndice dentro de la misma columna indican diferencias significativas (p<0.05).

El mayor consumo de alimento lo presentaron los camarones que fueron alimentados con el alimento control; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas ($p>0.05$) (Tabla 16).

Sustitución de la mezcla trigo-pasta de soya por pasta de cártamo baja en proteína

Después de 45 días de experimentación la supervivencia fue superior al 87.5% con todos los tratamientos (Tabla 17). La sustitución de la mezcla trigo-pasta de soya por pasta de cártamo baja en proteína tendió a disminuir el crecimiento y la eficiencia proteica.

Actividad enzimática digestiva

La Tabla 18 muestra la actividad enzimática específica de proteinasas, tripsina y amilasa de camarones *L. vannamei* alimentados con alimentos en donde se sustituyó totalmente la pasta de soya por pasta de cártamo alta en proteína (PCA-100) y donde se sustituyó la mezcla trigo-pasta de soya por pasta de cártamo baja en proteína (PCB-100). La cantidad de proteína soluble se incrementó significativamente en los camarones que fueron alimentados con PCB-100. La actividad enzimática no fue significativamente influenciada por la inclusión de los productos de cártamo en el alimento ($p>0.05$). El valor más alto de proteinasas fue obtenido en el alimento con PCA-100 (7.9 U/mg proteína). La actividad de tripsina no fue significativamente diferente en ninguno de los tratamientos. La actividad específica más alta de amilasa fue encontrada en los camarones que se alimentaron con el alimento control, siendo significativamente diferente con respecto a los que se alimentaron con el alimento PCB-100.

Contenido de proteína en el músculo del camarón

En la Figura 4 se muestra el contenido de proteína en el músculo de los camarones al inicio del experimento, así como de camarones al final del experimento que fueron alimentados con los alimentos Control, PCA-100 y PCB-100. Se muestra que hubo un incremento en la cantidad de proteína en el músculo de los camarones al final con respecto al inicio del experimento. Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos alimenticios.

Donde la mayor cantidad de proteína en el músculo de los camarones (83.7%) se presentó cuando fueron alimentados con el alimento PCB-100.

Tabla 17. Resultados zootécnicos de juveniles de camarón *L. vannamei* para evaluar la sustitución de la mezcla trigo-pasta de soya por pasta de cártamo baja en proteína.

Alimento	Peso inicial (g)	Supervivencia (%)	Peso final (g)	Alimento consumido (g/org/día)	Alimento consumido Total (g)	Tasa de crecimiento (%)	Factor de conversión alimenticia	Eficiencia proteica
Control	0.35 ^a	90.0 ^a	3.32 ^a	0.21 ^a	45.50 ^a	853.26 ^a	1.62 ^a	1.91 ^a
	±0.01	±8.16	±0.30	±0.01	±1.72	±63.95	±0.14	±0.16
PCB-25	0.34 ^a	90.0 ^a	3.00 ^a	0.20 ^a	41.65 ^a	778.09 ^{ab}	1.66 ^a	1.86 ^a
	±0.02	±8.16	±0.33	±0.03	±3.33	±82.87	±0.07	±0.07
PCB-50	0.35 ^a	87.5 ^a	2.97 ^a	0.20 ^a	40.33 ^a	739.99 ^{ab}	1.65 ^a	1.87 ^a
	±0.01	±12.58	±0.33	±0.05	±4.13	±79.23	±0.12	±0.13
PCB-75	0.34 ^a	87.5 ^a	2.73 ^a	0.21 ^a	43.98 ^a	694.26 ^b	1.98 ^b	1.56 ^b
	±0.01	±9.57	±0.19	±0.03	±2.44	±50.56	±0.12	±0.10
PCB-100	0.35 ^a	90.0 ^a	2.82 ^a	0.21 ^a	45.24 ^a	710.29 ^{ab}	1.93 ^b	1.60 ^b
	±0.01	±8.16	±0.23	±0.03	±4.37	±52.85	±0.09	±0.07

Valores promedio de 4 réplicas ± desviación estándar. Alimentos PCB-25, PCB-50, PCB-75 y PCB-100 (correspondientes a 25, 50,75 y 100% de sustitución de la mezcla trigo-pasta de soya por pasta de cártamo baja en proteína). Valores con diferente superíndice dentro de la misma columna indican diferencias significativas (P<0.05).

Tabla 18. Proteína soluble (mg/mL) y actividad específica (U/mg Proteína) de diferentes enzimas en el hepatopáncreas del camarón blanco.

	Alimentos ^b		
	CT	PCA-100	PCB-100
Proteína soluble	8.8±0.9 ^a	8.9±0.5 ^a	9.6±1.0a
Proteinasas totales	7.0±0.5 ^a	7.9±2.2 ^a	7.3±0.8a
Tripsina	52.5±5.1 ^a	51.8±3.4 ^a	48.8±4.8a
Quimotripsina	835.0±140.6 ^a	827.4±76.8a	677.5±89.76a
Amilasa	351.0±33.4 ^a	348.6±19.6a	327.1±29.7a

^a Letras diferentes dentro de las filas indican diferencias significativas ($P < 0.05$); ^bCT = Alimento control; PCA-100 = 100% de sustitución de la proteína de la pasta de soja por pasta de cártamo alta en proteína; PCB-100 = 100% de sustitución de la mezcla trigo-pasta de soja por pasta de cártamo baja en proteína.

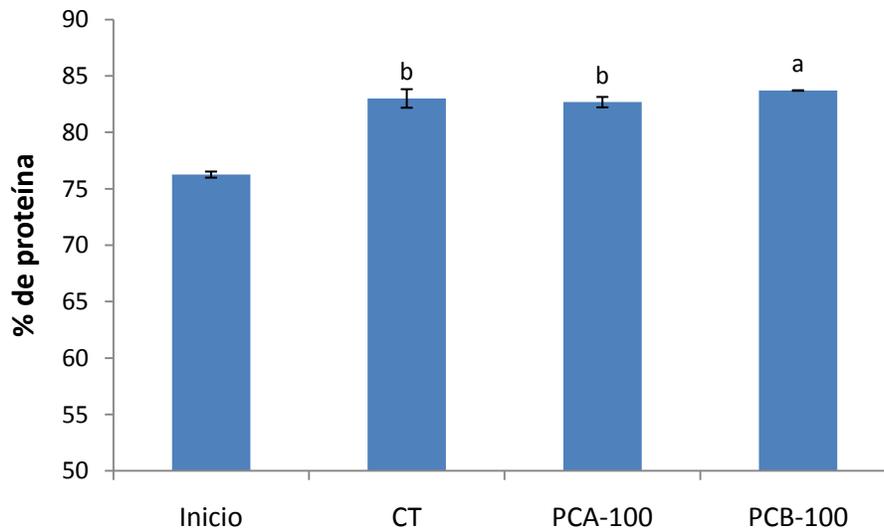


Figura 4. Composición de proteína en el músculo de los camarones al inicio, y al final del bioensayo de crecimiento después de haber sido alimentados con el alimento control (CT), y los alimentos donde se sustituyó al 100% pasta de soja por pasta de cártamo alta en proteína (PCA-100) o la mezcla trigo-soja por pasta de cártamo baja en proteína (PCB-100).

*Experimento de digestibilidad aparente**Sustitución de la pasta de soya por pasta de cártamo alta en proteína*

En la Tabla 19 se muestran los CUDA de materia seca, proteína, lípidos y carbohidratos de los alimentos en donde se sustituyó la pasta de soya por pasta de cártamo alta en proteína. Los CUDAmS de los alimentos variaron entre 71.2% a 82.7%. Se observa que a medida que se incrementó la sustitución de la pasta de soya con el cártamo el CUDAmS disminuyó. Los mayores CUDAp se obtuvieron con los alimentos CT y PCA-25 (91.4% y 89.5%, respectivamente), mientras que los menores CUDAp se observan con los mayores niveles de sustitución PCA-50, PCA-75 y PCA-100. El mayor CUDAl se obtuvo con el alimento CT (93.7%) y el menor fue con el alimento PCA-100 (89.9%).

Tabla 19. CUDA (% \pm DE) de materia seca, proteína, lípidos y carbohidratos de los alimentos para juveniles de camarones *L. vannamei*

	Alimentos ¹				
	CT	PCA-25	PCA-50	PCA-75	PCA-100
Materia seca	82.74 \pm 0.59a	78.77 \pm 0.58b	78.36 \pm 0.85b	75.44 \pm 0.19c	71.21 \pm 0.46d
Proteína	91.41 \pm 0.75a	89.45 \pm 0.25ab	88.22 \pm 1.67b	88.72 \pm 0.12b	85.69 \pm 0.50c
Lípidos	93.68 \pm 0.43a	91.46 \pm 0.04b	91.04 \pm 1.11bc	91.26 \pm 0.28bc	89.89 \pm 0.59c

¹DC = Alimento control; Alimentos; PCA-25, PCA-50, PCA-75 y PCA-100 (correspondientes a 25, 50, 75 y 100% de sustitución de la pasta de soya por pasta de cártamo alta en proteína, respectivamente, en base seca). Valores con diferentes letras dentro de las filas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Sustitución de la mezcla trigo-pasta de soya por pasta de cártamo baja en proteína

En la Tabla 20 se muestran los CUDA de materia seca, proteína, lípidos y carbohidratos de los alimentos en donde se sustituyó la mezcla trigo-pasta de soya pasta de soya por pasta de

Civera, R. et al. 2010. Uso del cártamo (*Carthamus tinctorius*) como ingrediente en alimentos para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei*. En: Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds), Avances en Nutrición Acuicola X - Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuicola, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp. 393-466.

cártamo baja en proteína. Los CUDAMs de los alimentos variaron entre 56.7% a 82.7%. Se observa que a medida que se incrementó la sustitución de la mezcla trigo-pasta de soya con la pasta de cártamo baja en proteína el CUDAMs y CUDAI disminuyeron. El alimento PCB-100 fue significativamente diferente con respecto a los demás tratamientos. Los mayores CUDAp se obtuvieron con los alimentos CT y PCB-25 (91.4% y 85.2%, respectivamente), aunque fueron significativamente diferentes entre sí, mientras que los menores CUDAp se obtuvieron con los mayores niveles de sustitución PCB-50, PCB-75 y PCB-100. Entre los alimentos donde se utilizó pasta de cártamo baja en proteína no se encontraron diferencias significativas en los CUDAp y CUDAI, y fueron significativamente menores que el alimento (CT).

Tabla 20. CUDA (% \pm DE) de materia seca, proteína, lípidos y carbohidratos de los alimentos para juveniles de camarones *L. vannamei*

	Alimentos ¹				
	CT	PCB-25	PCB-50	PCB-75	PCB-100
Materia seca	82.74 \pm 0.59 ^a	68.87 \pm 1.51 ^b	65.07 \pm 1.72 ^b	62.95 \pm 0.52 ^b	56.68 \pm 1.62 ^c
Proteína	91.41 \pm 0.75 ^a	85.21 \pm 1.44 ^b	83.33 \pm 3.32 ^b	85.31 \pm 0.17 ^b	82.90 \pm 0.28 ^b
Lípidos	93.68 \pm 0.43 ^a	87.80 \pm 0.42 ^b	85.26 \pm 2.18 ^b	86.45 \pm 0.44 ^b	86.27 \pm 0.52 ^b

¹CT = Alimento control; Alimentos; PCB-25, PCB-50, PCB-75 y PCB-100 (correspondientes a 25, 50, 75 y 100% de sustitución de la mezcla trigo-pasta de soya por la pasta de cártamo baja en proteína, respectivamente, en base seca). Valores con diferentes letras dentro de las filas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Parte 3

Efecto de la sustitución parcial de la proteína de harina de pescado con la proteína de la pasta de cártamo en alimentos suplementados con o sin D-L metionina sobre el crecimiento y la digestibilidad de juveniles de camarón *L. vannamei*.

Diseño experimental y condiciones de cultivo

Se formularon 7 alimentos: un alimento control (CT), tres con diferentes niveles de sustitución de la proteína de la harina de pescado por la proteína de la pasta de cártamo alta en proteína (alimentos D-22, D-44 y D-66) y éstos mismos alimentos fueron suplementados con D-L metionina protegida (alimentos D-22CM, D-44CM y D-66CM) (Tabla 21).

Después de una semana de aclimatación, los juveniles de camarón blanco *L. vannamei* se pesaron individualmente y se seleccionaron 280 camarones con peso promedio de 222 ± 0.005 mg. Se distribuyeron aleatoriamente en 28 acuarios a razón de 10 organismos por acuario, a manera de contar con cuatro réplicas por cada tratamiento alimenticio.

La protección de la D-L-metionina se realizó de la siguiente manera: se calentó agua destilada a 60°C para hacer un gel con la caboxil-metil-celulosa (CMC; 99%, Fermex, México), se dejó enfriar, y posteriormente el gel se mezcló en una proporción de 7.5% de CMC con 92.5% de D-L-metionina (p/p), finalmente la mezcla se liofilizó y se molió a menos de 250µm.

Experimento de digestibilidad aparente

Para este experimento se utilizaron los mismos alimentos que en el experimento de crecimiento anterior (Tabla 21).

Organismos experimentales

Se utilizaron camarones juveniles de la especie *L. vannamei* (Boone, 1931), donados por la granja Camarón Sureño, ubicada en el poblado de Melitón Albañez, B.C.S.

Diseño experimental y condiciones de cultivo

Juveniles de camarón blanco *L. vannamei* se pesaron individualmente y se seleccionaron 140 organismos con peso entre 14.6 y 14.7 g. Se distribuyeron aleatoriamente en 28 acuarios a razón de 5 organismos por acuario, a manera de contar con cuatro réplicas por cada tratamiento alimenticio.

Tabla 21. Composición de los alimentos (g/100g alimento, en base húmeda) usados para determinar la sustitución de la proteína de la harina de pescado por proteína de la pasta de cártamo alta en proteína.

Ingrediente (base húmeda)	CT	Nivel de sustitución Sin D-L metionina			Nivel de sustitución Con D-L metionina		
		D-22	D-44	D-66	D-22CM	D-44CM	D-66CM
Harina Integral de Trigo ¹	43.59	35.82	28.11	20.37	35.76	27.96	20.13
Harina de Pescado ²	25.00	19.50	14.00	8.50	19.50	14.00	8.50
Pasta de Soya ³	19.72	22.16	24.68	27.17	22.19	24.73	27.24
Pasta de cártamo alta en proteína ⁴		10.17	20.21	30.32	10.17	20.21	30.32
Aceite de Pescado ⁵	3.40	4.05	4.70	5.35	4.05	4.71	5.36
Ácido Algínico ⁶	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Premezcla Vitaminas Crustáceos ⁷	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
Lecitina de Soya ⁸	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Fosfato Dibásico de Sodio ⁹	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Óxido Crómico ¹⁰	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Premezcla de Minerales Crustáceos ¹¹	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Cloruro de Colina 62% ¹²	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Vitamina C ¹³	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
BHT ¹⁴	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
D-L Metionina protegida ¹⁵					0.043	0.10	0.15

¹Proteínas Marinas y Agropecuarias, Guadalajara, México. PC = 15.44% y EE = 2.08% (HIT0607-1); ²Proteínas Marinas y Agropecuarias, Guadalajara, México. PC = 64.87% y EE = 10.95 (HP0607-1); ³Proteínas Marinas y Agropecuarias, Guadalajara, México. PC = 47.98% y EE = 0.88% (Psoy0607-1); ⁴Aceites del Mayo, Sonora, México. 35.30% y EE = 0.99% (PCA); ⁵Proteínas Marinas y Agropecuarias, Guadalajara, México (AcPes0607); ⁶Sigma, A-7128; ⁷(VITCRU0604); ⁸(LSoy0607); ⁹Sigma, S-0876; ¹⁰Impex, 12233; ¹¹(MINCRU0409); ¹²(CloCol98); ¹³(Stay-C 35% aa ROCHE, DF, México); ¹⁴ICN, 101162; ¹⁵Fabricada en el laboratorio de Nutrición Acuícola, CIBNOR (92.5%-CMC7.5%-D-L-metionina).

Civera, R. *et al.* 2010. Uso del cártamo (*Carthamus tinctorius*) como ingrediente en alimentos para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei*. En: Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds). Avances en Nutrición Acuícola X - Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp. 393-466.

Resultados Parte 3

Experimento de crecimiento

Análisis proximal de los alimentos

Los alimentos que se utilizaron en este experimento presentaron un contenido proteico que varió de 34.5% en el alimento control a 37.7% en el alimento con 66% de sustitución de la proteína de la harina de pescado por proteína de la pasta de cártamo alta en proteína (D-66) (Tabla 22).

El contenido de extracto etéreo varió de 8.5% a 7.9% entre todos los tratamientos. El contenido de fibra se incrementó a medida que aumentó el nivel de sustitución de la proteína de la harina de pescado. El alimento control fue el que presentó el mayor contenido de cenizas (11.8%), mientras que el menor contenido lo presentó el alimento D-66CM. El contenido de energía bruta varió entre 4,242 y 4,524 cal/g (Tabla 22).

Tabla 22. Composición química proximal de los alimentos utilizados para determinar el efecto de la sustitución de la proteína de la harina de pescado por proteína de la pasta de cártamo alta en proteína en el alimento, con y sin D-L-metionina adicionada.

Nutriente (g/100g base seca)	Nivel de sustitución de proteína de pescado ³				Nivel de sustitución de proteína de pescado ³		
	CT	Sin D-L metionina			Con D-L metionina		
		D-22	D-44	D-66	D-22CM	D-44CM	D-66CM
Humedad (%) ¹	8.0	6.0	7.7	7.5	7.4	7.7	7.1
	±1.5	±0.2	±0.1	±0.1	±0.0	±0.1	±0.1
Proteína bruta ¹	34.4	35.6	36.7	37.2	35.3	35.8	35.5
	±0.2	±0.3	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.1
Extracto etéreo ¹	7.9	8.2	7.9	8.5	8.1	8.4	8.4
	±0.1	±0.1	±0.0	±0.0	±0.1	±0.0	±0.0
Fibra ¹	0.3	0.8	1.2	2.0	1.4	1.8	3.1
	±0.0	±0.2	±0.1	±0.6	±0.3	±0.2	±0.3
Cenizas ¹	10.8	10.4	9.7	9.1	10.6	9.6	9.2
	±0.4	±0.0	±0.1	±0.0	±0.0	±0.2	±0.2
E.L.N. ²	46.7	45.0	44.5	43.2	44.7	44.5	43.8
Energía (cal/g)	4,467	4,460	4,595	4,524	4,242	4,406	4,430
	±11	±28	±25	±25	±43	±31	±20

¹Valores promedio de tres réplicas ± desviación estándar, expresados en g/100 de materia seca, excepto humedad. ²ELN= Extracto libre de nitrógeno.

³CT= Alimento control; D-22, D-44 y D-66 (correspondientes a 22, 44 y 66% de sustitución de la proteína de la harina de pescado por la proteína de la pasta de cártamo alta en proteína, respectivamente, en base seca); D-66CM D-66CM (correspondientes al 66% de sustitución de la proteína de la harina de pescado por la proteína de la pasta de cártamo alta en proteína y con suplementación de D-L metionina).

Parámetros zootécnicos

Después de 45 días de experimentación la supervivencia en todos los tratamientos fue superior al 83.3% y no se encontraron diferencias significativas entre los mismos (Tabla 23). Los tratamientos D-66 y D-66CM fueron los que permitieron obtener el mayor peso promedio final en los camarones (4.26 y 3.96 g), así como también las mayores tasa de crecimiento (1756.9 y 1644.7%), mientras que los tratamientos D-22 y CT fueron los que resultaron en el menor peso promedio (3.32 y 3.37 g) y la menor tasa de crecimiento. No se encontraron diferencias significativas en el Factor de Conversión Alimenticia (FCA) y la Eficiencia Proteica (EP) entre en ninguno de los tratamientos alimenticios. En el consumo de alimento, no se encontraron diferencias significativas entre estos tratamientos ($p>0.05$) (Tabla 23).

Tabla 23. Resultados zootécnicos finales (45 días) de juveniles de camarón *L. vannamei* para evaluar el efecto de la sustitución parcial de la proteína de la harina de pescado por proteína de la pasta de cártamo alta en proteína en el alimento, con y sin D-L-metionina adicionada.

Alimento	Peso Inicial (g)	Supervivencia (%)	Peso final (g)	Alimento consumido (g/org/día)	Alimento consumido Total (g)	Tasa de crecimiento (%)	Factor de conversión alimenticia	Eficiencia proteica
Control	0.223 ^a ±0.006	83.3 ^a ±5.8	3.37 ^b ±0.30	0.12 ^{ab} ±0.03	45.3 ^{bc} ±10.6	1417.1 ^b ±176.2	1.56 ^a ±0.23	2.00 ^a ±0.28
D-22	0.225 ^a ±0.002	90.0 ^a ±0.0	3.32 ^b ±0.22	0.10 ^b ±0.02	41.8 ^c ±7.4	1375.4 ^b ±104.6	1.42 ^a ±0.17	2.19 ^a ±0.26
D-44	0.225 ^a ±0.006	96.7 ^a ±5.8	3.57 ^b ±0.30	0.12 ^{ab} ±0.01	54.1 ^{abc} ±5.9	1488.0 ^{ab} ±125.4	1.64 ^a ±0.09	1.87 ^a ±0.11
D-66	0.229 ^a ±0.007	90.0 ^a ±10.0	4.26 ^a ±0.27	0.16 ^a ±0.00	63.9 ^a ±5.6	1756.9 ^a ±63.1	1.67 ^a ±0.17	1.85 ^a ±0.18
D-22CM	0.223 ^a ±0.003	86.7 ^a ±11.5	3.50 ^b ±0.37	0.12 ^{ab} ±0.03	47.7 ^{abc} ±10.1	1473.0 ^{ab} ±168.7	1.56 ^a ±0.27	2.01 ^a ±0.35
D-44CM	0.226 ^a ±0.006	85.0 ^a ±7.1	3.81 ^{ab} ±0.12	0.14 ^{ab} ±0.01	55.2 ^{abc} ±1.8	1591.3 ^{ab} ±99.8	1.66 ^a ±0.05	1.85 ^a ±0.05
D-66CM	0.227 ^a ±0.005	86.7 ^a ±15.3	3.96 ^{ab} ±0.57	0.16 ^a ±0.02	61.3 ^{ab} ±13.5	1644.7 ^{ab} ±215.2	1.75 ^a ±0.11	1.76 ^a ±0.11

¹Valores promedio de tres réplicas ± desviación estándar, expresados en g/100 de materia seca, excepto humedad. ²ELN= Extracto libre de nitrógeno. ³CT= Alimento control; D-22, D-44 y D-66 (correspondientes a 22, 44 y 66% de sustitución de la proteína de la harina de pescado por la proteína de la pasta de cártamo alta en proteína, respectivamente, en base seca); D-66CM D-66CM (correspondientes al 66% de sustitución de la proteína de la harina de pescado por la proteína de la pasta de cártamo alta en proteína y con suplementación de D-L metionina).

Actividad enzimática digestiva

La Tabla 24 muestra la actividad enzimática específica de las proteasas alcalinas totales, tripsina y amilasas de camarones *L. vannamei* alimentados con alimentos en donde se sustituyó la proteína de la harina de pescado por pasta de cártamo alta en proteína (D-22, D-44 y D-66) y un alimento en donde se sustituyó la proteína de la harina de pescado por pasta de cártamo alta en proteína y se suplementó con D-L metionina (D-66CM). En general, la concentración de proteína soluble, y de actividad de proteasas generales, tripsina, quimotripsina y amilasa no fue significativamente afectada en los tratamientos D-22 y D-44, con respecto a la dieta control; en contraste, la proteína soluble, en los extractos, se incrementó significativamente en los camarones que fueron alimentados con los alimentos D-66 y D-66CM. La actividad de tripsina, quimotripsina y amilasa fueron significativamente diferentes entre los tratamientos D-66 y D-66CM, respecto al alimento control (excepto para quimotripsina para la dieta D-66). En general, se observa que a medida que se aumentó la sustitución de proteína de pescado, disminuyó la actividad enzimática digestiva (Tabla 24), siendo significativa al 66% de sustitución y particularmente en los alimentos que se suplementaron con metionina.

Tabla 24. Proteína soluble (mg/mL) y actividad específica (U/mg Proteína) de diferentes enzimas en el hepatopáncreas del camarón blanco.

	Alimento ^b				
	CT	D-22	D-44	D-66	D-66CM
Proteína soluble	10.7	11.4	12.2	13.9	13.9
	±0.2b	±1.1b	±1.0ab	±0.7a	±0.7a
Proteinasas total	4.8	5.1	4.7	5.1	5.0
	±0.4a	±0.5a	±0.3a	±0.3a	±0.8a
Tripsina	45.0	43.0	41.0	37.6	37.5
	±1.5a	±3.4ab	±2.7ab	±0.9b	±1.8b
Quimotripsina	566.2	518.7	499.4	580.0	342.3
	±74.7a	±44.1ab	±59.4ab	±72.8a	±39.7b
Amilasa	281.2	255.4	249.8	213.4	217.7
	±18.6a	±17.7ab	±14.0abc	±17.1c	±12.2bc

^a Letras diferentes dentro de las filas indican diferencias significativas ($P < 0.05$); ^bCT=

Alimento control; D-22, D-44 y D-66 (correspondientes a 22, 44 y 66% de sustitución de la proteína de la harina de pescado por la proteína de la pasta de cártamo alta en proteína, respectivamente, en base seca); D-66CM D-66CM (correspondientes al 66% de sustitución de la proteína de la harina de pescado por la proteína de la pasta de cártamo alta en proteína y con suplementación de D-L metionina protegida).

Experimento de digestibilidad aparente

Sustitución de la proteína de harina de pescado por pasta de cártamo alta en proteína sin D-L metionina adicionada

En la Tabla 25 se muestran los coeficientes de utilización digestiva aparente (CUDA) de materia seca, proteína y lípidos de los alimentos en donde se sustituyó la proteína de la harina de pescado por la proteína de la pasta de cártamo alta en proteína, sin suplementación de D-L metionina protegida. Los CUDAs de los alimentos variaron entre 68.2 a 78.9%. Se observó que a medida que se incrementó la sustitución de

proteína de la harina de pescado con el cártamo el CUDAmS disminuyó. Los mayores CUDAp se obtuvieron con los alimentos CT y D-66 (91.2 y 89.1%). Mientras que los alimentos en donde se incluyó la pasta de cártamo no presentaron diferencias significativas entre ellos en los CUDAp. Tampoco se detectaron diferencias significativas en los CUDAI entre los tratamientos (Tabla 25).

Tabla 25. CUDA (% \pm DE) de materia seca, proteína y lípidos materia seca, proteína y lípidos de los alimentos en donde se sustituyó la proteína de la harina de pescado por la proteína de la pasta de cártamo alta en proteína, sin suplementación de D-L metionina protegida.

	Alimentos ¹			
	CT	D-22	D-44	D-66
Materia seca	78.93 \pm 4.38a	72.32 \pm 1.08ab	70.55 \pm 3.24b	68.18 \pm 3.06b
Proteína	91.17 \pm 1.16a	89.03 \pm 0.32b	88.92 \pm 0.73b	89.14 \pm 0.52b
Lípidos	91.83 \pm 3.22a	89.42 \pm 1.59a	87.82 \pm 1.39a	87.71 \pm 1.42a

¹CT = Alimento control; Alimentos; D-22, D-44 y D-66 (correspondientes a 22, 44 y 66% de sustitución de la proteína de la harina de pescado por la proteína de la pasta de cártamo alta en proteína, respectivamente, en base seca). Valores con diferentes superíndices dentro de las filas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Sustitución de la proteína de la harina de pescado por pasta de cártamo alta en proteína con D-L metionina adicionada.

En la Tabla 26 se muestran los CUDA de materia seca, proteína y lípidos de los alimentos en donde se sustituyó la proteína de la harina de pescado por la proteína de la pasta de cártamo alta en proteína, con suplementación de D-L metionina. Todos los CUDAs tendieron a disminuir con el nivel de reemplazo. Los CUDAmS de los alimentos variaron entre 60.9 a 78.9%. Los alimentos D-44CM y D-66CM fueron significativamente menores con respecto al alimento control. El mayor CUDAp se

obtuvo con el alimento control (91.2%). Los alimentos en donde se sustituyó la proteína de la harina de pescado por proteína de la pasta de cártamo alta en proteína no presentaron diferencias significativas en el CUDAp. El CUDAI más alto fue encontrado con el alimento control (91.8%); sin embargo, no se presentaron diferencias entre los tratamientos (Tabla 26).

Tabla 26. CUDA (% \pm DE) de materia seca, proteína y lípidos de los alimentos en donde se sustituyó la proteína de la harina de pescado por la proteína de la pasta de cártamo alta en proteína, con suplementación de D-L metionina.

	Alimentos ¹			
	CT	D-22CM	D-44CM	D-66CM
Materia seca	78.93 \pm 4.38a	69.13 \pm 1.31ab	67.47 \pm 7.95b	60.94 \pm 3.76b
Proteína	91.17 \pm 1.16a	87.57 \pm 0.54b	88.26 \pm 2.38ab	88.72 \pm 1.47b
Lípidos	91.83 \pm 3.22a	88.75 \pm 1.69a	87.09 \pm 4.90a	85.16 \pm 2.59a

¹CT = Alimento control; Alimentos; D-22CM, D-44CM y D-66CM (correspondientes a 22, 44 y 66% de sustitución de la proteína de la harina de pescado por la proteína de la pasta de cártamo alta en proteína y con suplementación de D-L metionina, respectivamente, en base seca). Valores con diferentes superíndices dentro de las filas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Discusión general

En el presente trabajo, la composición proximal y química (aminoácidos, ácidos grasos, fósforo y calcio) de los productos de cártamo modificó la digestibilidad de los alimentos en los juveniles de camarón blanco *L. vannamei*. Lo anterior se observó en algunas de las variables evaluadas, tales como los CUDAs de proteína, lípidos y energía de los productos de cártamo (Parte 1). Estos resultados tienen implicaciones directas para el cultivo de camarón, ya que la determinación adecuada de la digestibilidad permitirá formular alimentos equilibrados que cubran los requerimientos nutricionales del camarón. Así mismo, los resultados obtenidos sugieren que los CUDAs pueden ser usados para reducir la producción de desperdicios. Sin embargo, el tipo de proceso al que fueron sometidos los productos de cártamo modifica su digestibilidad por los camarones, por lo que se debe de tomar en cuenta al momento de formular los alimentos y utilizarlos como ingredientes alternativos.

No se detectaron o están a niveles muy bajos, los factores antinutricionales (hemaglutininas, saponinas, aflatoxinas e inhibidor de tripsina) en los productos de cártamo. Sin embargo, Hertrampf y Piedad-Pascual (2000) han reportado que el cártamo contiene glucósidos que le confieren un sabor amargo, lo que ha limitado su uso en la alimentación de organismos terrestres (pollos y puercos). Desafortunadamente, estos compuestos no se pudieron determinar en este estudio por falta de una metodología adecuada, pero no se descarta que la presencia de glucósidos pudiera ser una causa de la reducción de la atractabilidad y el consumo de los alimentos que fueron observados en los ensayos realizados para ese propósito. Por lo anterior, se concluye que el uso de los diferentes productos de cártamo, a un nivel de inclusión de 30% en los alimentos para juveniles de camarón blanco, disminuye la atractabilidad y el consumo del alimento en comparación con el alimento control, por lo que sería necesario incluir atractantes y fagoestimulantes en este tipo de alimentos para *L. vannamei* cuando el alimento tiene un alto contenido de los productos de cártamo. No obstante, cuando los productos de cártamo fueron utilizados en los alimentos a niveles de inclusión diferentes (tanto más bajos, como más elevados; Partes 2 y 3) en los bioensayos de crecimiento no se observaron efectos negativos sobre el consumo del alimento, lo cual es muy alentador, y deja pensar que los productos de cártamo podrían utilizarse como

ingredientes alternos a la pasta de soya o parcialmente para la harina de pescado en los alimentos para organismos juveniles de *L. vannamei*.

Por otra parte, existió una correlación positiva ($r^2 = 0.87$; $p < 0.05$) entre los CUDA de proteína y la digestibilidad *in vitro* de proteína obtenida utilizando un sistema pH-stat. Al respecto, existe bastante controversia sobre la correlación de las digestibilidades de proteína en camarones *L. vannamei*. (Siccardi *et al.* 2006). Sin duda, se requieren realizar más investigaciones antes de que éstos resultados puedan utilizarse para predecir los CUDA. Los resultados de digestibilidad *in vitro* podrían reemplazar a los trabajos de digestibilidad *in vivo* solamente si son capaces de predecir la compleja naturaleza de la digestión de los camarones, la que se ha demostrado que está modulada por los componentes del alimento (Moyano-López, 2006). A pesar de haber tenido una aceptable correlación entre la digestibilidad *in vitro* de proteína y los CUDA de proteína de los ingredientes, no se encontró una correlación entre la digestibilidad *in vitro* de proteína y los CUDA de proteína de los alimentos con 30% de los productos de cártamo. Lo anterior muestra que el método *in vitro* utilizado no parece suficientemente adecuado para predecir los resultados obtenidos en los bioensayos de digestibilidad *in vivo*, pero sí es complementario.

En el presente estudio (Parte 2) se demostró que es posible sustituir en el alimento una mezcla de pasta de soya-trigo con la pasta de cártamo baja en proteína, sin afectar el consumo del alimento y el crecimiento en peso de los juveniles de camarón *L. vannamei*. Ahora bien, desde un punto de vista económico, la pasta de cártamo baja en proteína tiene un precio de \$ 220 dólares/t, mientras que la pasta de soya cuesta \$ 538 dólares/t (precios proporcionados por la empresa Aceites del Mayo, Navojoa, Son. México; Junio de 2009) y la tonelada de trigo cuesta aproximadamente 340 dólares. Considerando lo anterior, los tratamientos alimenticios PCB-75 y PCB-100 (75 y 100% de sustitución de la mezcla pasta de soya-trigo con pasta de cártamo baja en proteína) permiten disminuir el costo del alimento en 11.5 y 15.4% con respecto al alimento control. Esta reducción del costo se tiene que analizar con cuidado ya que cuando se toma en cuenta el factor de conversión alimenticia para calcular el costo de producción de kilogramo de camarón no hay una disminución en el costo, por el momento. Esto se puede deber a que los CUDA de materia seca, proteína y lípidos disminuyeron a medida que se incrementó la sustitución de la pasta de soya. Cruz-Suárez *et al.* (2009)

Civera, R. *et al.* 2010. Uso del cártamo (*Carthamus tinctorius*) como ingrediente en alimentos para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei*. En: Cruz-Suarez, L.E., Rique-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds), Avances en Nutrición Acuicola X - Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuicola, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp. 393-466.

reportan una mayor digestibilidad de materia seca (84.2%) y proteína (96.9%) en productos de soya en comparación con los obtenidos en este trabajo para la pasta de cártamo baja en proteína para materia seca (47.8%) y para proteína (87.6%). Esto se puede deber a la diferencia en la digestibilidad de aminoácidos y la diferencia en el porcentaje de fibra entre la pasta de soya (0.59%) y el cártamo (17.07%).

En el caso de los alimentos en donde se sustituyó la pasta de soya con pasta de cártamo alta en proteína, los tratamientos PCA-75 y PCA-100 (75 y 100% de sustitución) permiten disminuir los costos del alimento en 5.4 y 7.1% con respecto al alimento control. Si tomamos en cuenta el factor de conversión alimenticia obtenido en el experimento de crecimiento, se pueden disminuir los costos de producción de kilogramo de camarón en un 13.0 y 12.3%. Adicionalmente, aprovechar un subproducto de la industria aceitera que ha sido subutilizado en la industria de la acuicultura permitiría diversificar las opciones de ingredientes para hacer las formulaciones de los alimentos. Los resultados demuestran la factibilidad económica de sustituir totalmente la pasta de soya por pasta de cártamo alta en proteína en alimentos para juveniles de camarón *L. vannamei*, bajo las condiciones experimentales empleadas en este estudio, a pesar de que el cártamo tiene un mayor contenido de fibra y una menor digestibilidad de materia seca. Desafortunadamente, no se determinó la digestibilidad de aminoácidos de los alimentos. Investigaciones sobre este aspecto en el camarón son necesarias. A raíz de este estudio se vislumbra la necesidad determinar la digestibilidad y la lixiviación de aminoácidos de los productos de cártamo, así como de los alimentos que los contienen, a fin de tratar de explicar el por qué no se correlacionó el crecimiento con la digestibilidad *in vivo*.

La sustitución de harina de pescado con ingredientes vegetales no siempre ha tenido buenos resultados en términos de crecimiento, debido a la baja atractabilidad, inadecuada composición de aminoácidos, bajos niveles de ácido eicosapentaenóico (EPA; 20:5n-3) y ácido docosahexaenóico (DHA; 22:6n-3), así como la presencia de factores antinutricionales (Davis y Arnold, 2000; Samocha, Davis, Saoud y DeBault, 2004; Amaya, Davis y Rouse, 2007). A lo largo de este trabajo hemos visto cómo algunos de estos parámetros son modificados positivamente o negativamente; aún así, en la parte final del trabajo (Parte 3), se evaluó la sustitución parcial de la proteína de la harina de pescado por proteína de la pasta de cártamo alta en proteína, a pesar de que la

harina de pescado tiene un mayor poder attractante y una mejor composición de aminoácidos. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, ya que se pudo sustituir al menos un 66% de la proteína de la harina de pescado, correspondiendo a un 78% de sustitución de la harina de pescado en el alimento (25% de inclusión de harina de pescado), sin afectar el crecimiento, el FCA y la EP. En el caso de los alimentos en donde se sustituyó la proteína de la harina de pescado con pasta de cártamo alta en proteína, tratamientos D-10 y D-66 (22 y 66% de la sustitución), éstos permiten disminuir los costos del alimento en un 6.7 y 20% con respecto al alimento control. Adicionalmente, si tomamos en cuenta el factor de conversión alimenticia obtenido en el experimento de crecimiento, se pueden disminuir los costos de producción de kilogramo de camarón en un 15.1 y 14.4%. Desafortunadamente, no contamos con los resultados de la digestibilidad de carbohidratos y de aminoácidos de los alimentos, que son elementos que nos podrían ayudar a explicar por qué se mejoró el crecimiento en los alimentos con 66% de sustitución. Sería conveniente realizar un bioensayo similar, pero de mayor duración, donde se evaluaran las mismas formulaciones, pero inclusive utilizando niveles de sustitución aún mayores, en la medida de lo posible, a fin de verificar si se confirman los resultados obtenidos aquí, y conocer la respuesta de los organismos ante la sustitución total de la harina de pescado.

Por otra parte, dado que la harina de pescado contiene más metionina que la pasta de cártamo (1.98 vs 0.55%), al hacer la sustitución de uno por otro, el contenido de metionina en el alimento disminuye. De ahí que se hiciera la suplementación de los alimentos con D-L metionina protegida para tratar de equilibrar el alimento; sin embargo, esto no mejoró el desempeño biológico de los organismos. Lo anterior se pudo deber a que éste aminoácido protegido no tuvo una buena estabilidad en el agua o que posiblemente la velocidad de absorción fue más rápida que la de los aminoácidos que componen la proteína de los ingredientes del alimento, y por tanto, los camarones no pudieron utilizar más eficientemente los aminoácidos. No obstante, no se detectaron diferencias significativas en la Eficiencia Proteica con los diversos tratamientos, por lo que una explicación plausible sería que el aporte de proteína, y por ende de aminoácidos digestibles, en todos los alimentos hayan cubierto los requerimientos nutricionales del camarón, por lo que una ligera disminución en el contenido de metionina por la inclusión del cártamo, no llegó a tener consecuencias a nivel del crecimiento o la

utilización de los alimentos. Esto implicaría o sería una indicación de que las cantidades de proteína y aminoácidos esenciales recomendadas por Akiyama y Dominy (1991) para los alimentos de camarón blanco, y en las cuales se basaron las formulaciones realizadas en el presente trabajo, pudieran estar sobrestimadas.

El presente trabajo demuestra que las pastas de cártamo, pueden ser utilizadas como ingredientes en la formulación de alimentos para juveniles del para camarón, especialmente la pasta alta en proteína, debido a que es una fuente de proteína digestible, contiene bajos o nulos niveles de los factores antinutricionales determinados, y puede sustituir totalmente a la pasta de soya o parcialmente a la harina de pescado, sin afectar el crecimiento y la eficiencia de utilización del alimento.

Conclusiones

- La harina integral de cártamo no resultó tener una composición química adecuada para ser utilizada en los alimentos para camarón, debido a que tiene un bajo contenido de proteína y altos contenidos de lípidos, pobres en HUFAS, y fibra. En cambio, las pastas de cártamo alta y baja en proteína son subproductos que tienen composiciones químicas más adecuadas, con proteínas y carbohidratos que fueron bien digeridos por los juveniles del camarón blanco, y su contenido de los factores antinutricionales aquí evaluados no fue detectable o muy bajo, por lo que pueden ser usadas como ingredientes en alimentos para camarón, particularmente la que tiene nivel más elevado de proteína.
- La pasta de cártamo baja en proteína permitió sustituir una mezcla de trigo-soya en el alimento, mientras que la pasta de cártamo alta en proteína permitió sustituir a la pasta de soya. En ambos casos, a pesar de su mayor contenido de fibra y su menor digestibilidad de materia seca, no se detectaron efectos adversos sobre la supervivencia, el consumo de alimento, ni el crecimiento de los organismos. Sin embargo, la utilización del alimento sí se vio afectada, por lo que se recomienda no sustituir más del 75% de la mezcla trigo-soya.
- Bajo las condiciones experimentales empleadas en este estudio realizado a nivel de laboratorio, el uso de la pasta alta en proteína, permitió disminuir el costo del alimento, así como el costo de producción de los camarones. Mientras que la sustitución de la mezcla soya-trigo con la pasta baja en proteína, redujo el costo de los alimentos, pero no el costo de producción del camarón, que inclusive fue más elevado que con el alimento control. Sin embargo, estos aspectos deberán ser corroborados en condiciones industriales de fabricación de alimentos y de producción de camarón en diversos sistemas de cultivo en granja comercial.
- La pasta de cártamo alta en proteína puede reemplazar al menos el 66% de la proteína de la harina de pescado, que corresponde a 78% de sustitución de ésta en el alimento, sin afectar negativamente el crecimiento y la utilización del alimento. Por el contrario, a ese nivel de sustitución se obtuvo el mejor crecimiento, a pesar de que la digestibilidad de materia seca, proteína y lípidos fue menor con el cártamo.

Habrán de realizarse estudios de mayor duración y con niveles de sustitución aún mayores para corroborar estos resultados.

- La suplementación de D-L- metionina protegida en los alimentos en donde se sustituyó la proteína de la harina de pescado no mejoró el crecimiento, la utilización del alimento, ni la digestibilidad aparente de proteína. Es posible que el aporte de proteína, y por ende, de aminoácidos digestibles en todos los alimentos, haya cubierto los requerimientos de aminoácidos esenciales del camarón, por lo que una ligera disminución en el contenido de metionina por la inclusión del cártamo, no llegó a tener consecuencias a nivel del crecimiento o la utilización de los alimentos.

Recomendaciones

- Determinar la atractabilidad de los productos de cártamo a diferentes niveles de inclusión y su eventual correlación con el crecimiento.
- Determinar los CUDA de los aminoácidos esenciales de los productos de cártamo.
- Evaluar el beneficio de utilizar la pasta de cártamo alta en proteína como sustituto total de la pasta de soya o sustituto parcial de la harina de pescado en alimentos comerciales, así como probarlas en camarones de diferentes estadios de desarrollo y bajo condiciones de cultivo intensivo o semi-intensivo en granjas camaroneras.
- Evaluar el efecto de la suplementación de diferentes tipos de metionina y formas de protegerlas con diferentes ligantes, sobre el crecimiento y utilización de alimento de juveniles de camarón *L. vannamei*.
- Realizar un estudio económico detallado, actual y prospectivo, sobre el costo-beneficio del uso de las pastas de cártamo en los alimentos comerciales para camarón, debido a que desde el punto biológico, resultaron ser susceptibles de ser usadas.

Agradecimientos

Se agradece a la empresa Aceites del Mayo, Sonora, México por proveer la semilla y pastas industriales de cártamo. A la empresa Malta-Clayton de México por su apoyo al proyecto. Se reconoce especialmente la participación de Antonia Barros, Sonia Rocha, Dolores Rondero, Olivia Arjona y Sandra de La Paz, el apoyo técnico brindado para los análisis *in vitro*, los proximales, de ácidos grasos y durante los bioensayos. El estudio se llevó a cabo con el apoyo financiero de los proyectos SAGARPA-CONACYT-2004-C01-122, del AC1.15 del CIBNOR, y una beca de doctorado del CONACYT para Alfonso Galicia.

Literatura citada

- Akiyama D.M., Dominy W.G. y Lawrence A.L. (1991). Penaeid shrimp nutrition for the commercial feed industry. pp. 80–97. En: Akiyama D.M., Tan R.K.H. (Eds.). *Proceeding of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop*. American Soybean Association. 19 al 25 Septiembre 1991. Tailandia e Indonesia.
- Alam M.S., Teshima S., Koshio S. y Ishikawa M. (2004). Effects of supplementation of coated crystalline amino acids on growth performance and body composition of juvenile kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicus*. *Aquaculture Nutrition*. 10, 309–316.
- Amaya E., Davis A.D. y Rouse D.B. (2007). Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under ponders conditions. *Aquaculture*. 262, 393–401.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (2002). Official methods of analysis 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Gaithersburg, Maryland, EUA.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (2005). Official methods of analysis 18th edition. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Gaithersburg, Maryland, EUA.
- Bautista-Teruel M.N., Eusebio P.S. y Welsh T.P. (2003). Utilization of feed pea, *Pisum sativum*, meal as a protein source in practical diets for juvenile tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*. 225, 121–131.
- Belayneh H. y Wolde-Mariam Y. (1991). Safflower production, utilization and research in Ethiopia. pp. 43–55. En: Ranga R.V. y Ramachandran M. (Eds.) *Proceedings Second International Safflower Conference*. Indian Society of Oilseeds Research, Directorate of Oilseeds Research Hyderabad, India, 9 al 13 Enero 1989. Hyderabad.
- Bradford M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72, 248–254.
- Brunson J.F., Romaine R.P. y Reigh R.C. (1997). Apparent digestibility of selected ingredients in diets for white shrimp *Penaeus setiferus* L. *Aquaculture Nutrition*. 3, 9–16.
- Cabanillas-Beltran H., Ponce-Palafox J., Martínez-Palacios C.A., Chávez-Sánchez M.C. y Ross L.G. (2001). Comparison of the digestibility of diets based on fish meal and soybean meal in *Litopenaeus vannamei* Boone 1931, using different temperatures and salinities for culture. *Ciencias Marinas*. 27, 577–593.
- Catacutan M.R. (1991). Apparent digestibility of diets with various carbohydrates levels and the growth response of *Penaeus monodon*. *Aquaculture*. 95, 89–96.
- Civera-Cerecedo R., Goytortúa-Bores E., Rocha-Meza S., Vega-Villasante F., y Nolasco-Soria H. (1998). Utilización de la langostilla roja como insumo proteico en alimentos para camaronicultura. Proyecto Piloto. Promotora Industrial Acuasistemas, S.A. Federación de Sociedades Cooperativas Pesqueras de Baja California-CIBNOR Informe Ejecutivo No.2 Febrero de 1998 86p.
- Civera, R. et al. 2010. Uso del cártamo (*Carthamus tinctorius*) como ingrediente en alimentos para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei*. En: Cruz-Suarez, L.E., Rique-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds), Avances en Nutrición Acuicola X - Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuicola, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp. 393-466.

- Colvin P.M. (1976). Nutritional studies on penaeid prawns: protein requirements in compounded diets for juvenile *Penaeus indicus* (Milne Edwards). *Aquaculture*. 7, 315–326.
- Cousin M. (1995). Etude de l'utilisation des glucides et du rapport proteines-energie chez deux especes de crevettes penaeides: *Penaeus vannamei* et *Penaeus stylirostris*. PhD. Dissertation Université de Bretagne Occidentale, Brest, France. 209p.
- Cousin M., Cuzon G., Guillaume J. y Aquacop (1996). Digestibility of starch in *Penaeus vannamei*: in vivo and in vitro study on eight samples of various origins. *Aquaculture*. 140, 361–372.
- Cruz-Suárez L.E. (1999). Digestión en camarón y su relación con formulación y fabricación de alimentos balanceados. pp. 207-232. En: Cruz-Suárez L.E., Ricque-Marie D. y Mendoza-Alfaro R. (Eds.) *Avances en Nutrición Acuícola III*. Memorias del Tercer Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 11 al 13 de Noviembre 1996. Monterrey, Nuevo León, México.
- Cruz-Suárez L.E., Antimo-Pérez J.S., Luna-Mendoza N., Tapia-Salazar M. y Ricque-Marie D. (2000). Relaciones proteína/energía y proteína vegetal/animal óptimas en alimentos de engorda para *Litopenaeus vannamei* y *L. stylirostris*. In: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Olvera-Novoa, M.A., Civera-Cerecedo, R., (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola V – Memorias del Quinto Simposio Internacional de Nutrición Acuícola*. 19 al 20 de Noviembre 2000. Mérida, Yucatán, México.
- Cruz-Suárez L.E., Ricque-Marie D., Tapia-Salazar M., McCallum I. y Hickling D. (2001). Assessment of differently processed feed pea (*Pisum sativum*) meals and canola meal (*Brassica* sp.) in diets for blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*). *Aquaculture*. 196, 87–104.
- Cruz-Suárez L.E., Nieto-López M., Guajardo-Barbosa C., Tapia-Salazar M., Scholz U. y Ricque-Marie D. (2007). Replacement of fish meal with poultry by-product meal in practical diets for *Litopenaeus vannamei*, and digestibility of the tested ingredients and diets. *Aquaculture*. 272, 466–476.
- Cruz-Suárez L.E., Tapia-Salazar M., Villareal-Cavazos D., Beltran-Rocha J., Nieto-López M., Lemme A. y Ricque-Marie D. (2009). Apparent dry matter, energy, protein and amino acid digestibility of four soybean ingredients in White shrimp *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Aquaculture*. 292, 87–94.
- Dabrowski K., Poczycynski P., Koek G. y Berger B. (1989). Effect of partial or totally replacing fish meal protein by soybean meal protein on grow, food utilization and proteolytic enzyme activities in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. New in vivo test for exocrine pancreatic secretion. *Aquaculture*. 77, 29–49.
- Davis A.D. y Arnold C.R. (1993). Evaluation of five carbohydrate sources for *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*. 114, 285–292.
- Davis A.D. y Arnold C.R. (1995). Effect of two extrusion processing conditions on the digestibility of four cereal grains for *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*. 133, 287–294.
- Davis A.D. y Arnold, C. R. (2000). Replacement of fish meal in practical diets for the pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 185, 291–298.

- Davis A.D., Arnold C.R. y McCallum I. (2002) Nutritional value of feed peas (*Pisum sativum*) in practical diet formulations for *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*. 8, 87–94.
- Dimes L.E. y Haard N.F. (1994). Estimation of protein digestibility: I. Development of an in vitro method for estimating protein digestibility in salmonids (*Salmo gairdneri*). *Comp. Biochem. Physiol.* 108, 349–362.
- Divakaran S. y Velasco M. (1999). Effect of proteolytic enzyme addition to a practical feed on growth of the pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Aquaculture Nutrition*, 30, 335-339.
- Divakaran S., Velasco M., Beyer E., Forster I.P. y Tacon A.G.J. (2000). Soybean meal apparent digestibility for *Litopenaeus vannamei*, including a critique of methodology. pp. 267-277. En: Cruz-Suárez L.E., Rique-Marie D., Tapia-Salazar M., Olvera-Novoa M.A. y Civera-Cerecedo, R. (Eds.) *Avances en Nutrición Acuícola V*, Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 19 al 22 Noviembre, Mérida, Yucatán, México.
- Dreywood R. (1946). Qualitative test for carbohydrate material. *Ind. Engng. Chem. Analyt. Edm.* 18, 499–505.
- El-Saidy D.M.S y Gaber M.M.A. (2002). Complete replacement of fish meal by soybean meal with dietary L-lysine supplementation for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) Fingerlings. *Journal of The World Aquaculture Society*. 33, 297–305.
- Eusebio P. (1991) Effect of dehulling on the nutritive value of some leguminous seeds as protein source for tiger prawn, *Penaeus monodon*, juveniles. *Aquaculture*. 99, 297–308.
- FAOSTAT Database. URL <http://fao.org>. [Ingresado en Marzo 2009].
- Floreto E.A.T., Bayer R.C., y Brown P.B. (2000). The effects of soybean-based diets, with and without amino acid supplementation, on growth and biochemical composition of juvenile American lobster, *Homarus americanus*. *Aquaculture*. 189, 211–235.
- Folch J., Lees M. y Sloane-Stanley G.H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipid from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226, 497–509.
- Forster I.P., Dominy W., Obaldo L. y Tacon A.G.J. (2003). Rendered meat and bone meals as ingredients of diets for shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture*. 219, 655–670.
- Forster I.P. y Dominy W.G. (2006). Efficacy of three methionine sources in diets for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 37, 474–480.
- Furukawa A. y Tsukahara, H., (1966). On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 32, 502–506.
- Galicia-González A. (2003). Utilización de hidrolizado de langostilla (*Pleuroncodes planipes*) como aditivo en alimentos para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei*. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, B.C.S., México.
- Galicia González, Alfonso. 2009. Uso del cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) como ingrediente en alimentos para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). Tesis de Doctorado. Programa de Posgrado del CIBNOR. 172 p.

- Galicia-González A., Moyano-López F. J., Cruz-Suárez L. E., Ricque-Marie D., Goytortúa-Bores E., Civera-Cerecedo R. (2010) Chemical Composition and Digestibility of Three Mexican Safflower Meals Used as Ingredients in Diets for Whiteleg Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of World Aquaculture Society* 41(2) 191–202.
- Gecgel U., Demirci M., Esendal E. y Tasan M. (2007). Fatty acid composition of the oil from developing seeds of different varieties of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 84, 47-54.
- Gómez F.E. (1992). Efecto de las lectinas de dos variedades de frijol sobre la respuesta inmune intestinal en ratas. Tesis de Licenciatura.
- Goytortúa-Bores E., Civera-Cerecedo R., Rocha-Meza S. y Green-Yee A. (2006). Partial replacement of red crab (*Pleuroncodes planipes*) meal for fish meal in practical diets for the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Effects on growth and in vivo digestibility. *Aquaculture*. 256, 414–422.
- Guillaume J., Kaushik S., Bergot P. y Métailler R. (2004). Nutrición y alimentación de peces y crustáceos. pp. 287–302. Ed. Mundi-Prensa. España.
- Guo R., Liu Y.J., Tian L.X. y Huang J.W. (2006). Effect of dietary cornstarch levels on growth performance, digestibility and microscopic structure in the white shrimp, *Litopenaeus vannamei* reared in brackish water. *Aquaculture Nutrition*. 12, 83–88.
- Hardy R.W and Masumoto T. (1991). Specifications for marine by-products for aquaculture. pp. 99-108. En: Akiyama D.M y Tan R.K. (Eds.) *Proceedings of the aquaculture feed processing and nutrition workshop*. American Soybean Association. 19 al 25 Septiembre 1991. Tailandia e Indonesia.
- Hardy R.W. (2006). Worldwide fish meal production outlook and the use of alternative protein meals for aquaculture. En Cruz-Suárez L.E., Ricque-Marie D., Tapia-Salazar M., Nieto-López M., Villareal-Cevallos D.A, Puello-Cruz A., García-Ortega A. (Eds). *Avances en nutrición acuícola VIII*. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 15 al 17 Noviembre 2006. Mazatlán, Sinaloa, México.
- Hernández C., Olvera-Novoa M.A., Aguilar-Vejar K., González-Rodríguez B. y Abdo de la Parra I. (2008). Partial replacement of fish meal by porcine meat meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*. 277, 244–250.
- Hertrampf J.W. y Piedad-Pascual F. (2000). *Handbook on ingredients for aquaculture feeds*. pp. 414–513. Ed. Kluwer Academic. Dordrecht. Boston.
- Jackson M.L. (1958). *Soil chemical analysis*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, W. J.
- Kakade M.L., Rackis J.J., McGhee J.E. y Pusk,i F. (1974). Determination of trypsin inhibitors activity of soy products. A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chem.* 51, 376–382.
- Knowles P.F. (1965). Report of sabbatic leaves, Agosto 1, 1964- Agosto 1, 1965. Report for University of California, Davis, CA, EUA.
- Koshio S., Teshima S., Kanazawa A. y Watase T. (1993). The effect of dietary protein content on growth, digestion efficiency and nitrogen excretion of juvenile Kuruma prawns, *Penaeus japonicus*. *Aquaculture*. 113, 101–114.
- Civera, R. et al. 2010. Uso del cártamo (*Carthamus tinctorius*) como ingrediente en alimentos para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei*. En: Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds), *Avances en Nutrición Acuicola X - Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuicola*, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp. 393-466.

- Kumaraguru-Vasagam K. P., Balasubramanian T. y Venkatesan R. (2006). Apparent digestibility of differently processed grain legumes, cow pea and mung bean in black tiger shrimp, *Penaeus monodon* Fabricius and associated histological anomalies in hepatopancreas and midgut. *Animal Feed Science and Technology*. 132, 250-266.
- Kureshy N. y Davis A.D. (2002). Protein requirement for maintenance and maximum weight gain for the pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 204, 125-143.
- Kuzmicky D.F. y Kohler G.O. (1968). Safflower meal utilization as a protein source for broiler ration. *Poultry Sci.* 47, 1266-1270.
- Lee D.L. (1970). Study on digestibility and absorption of protein in artificial feeds by four species of shrimp. *Collect. Repr. Tungkang Mar. Lab.* 1, 77-84.
- Lee P.H. y Lawrence A.L. (1985). Effect of diet and size on growth, feed digestibility and digestive enzyme activities of the marine shrimp, *Penaeus setiferus* Linnaeus. *J. World Maricul. Soc.* 16, 275-287.
- Li Dajure y Mündel H. H. (1997). Safflower *Carthamus tinctorius* L. En: International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), *Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. (Prom Underused Crops)* 7, 1-83.
- Lim C. y Petersen D. (1989). Practical feeding-penaeid shrimps. pp. 205-222. En: Lovell T. (Ed.) *Nutrition and feeding of fish*. Nueva York, Nostrand Reinhold.
- Lim C. y Dominy W.G. (1990). Evaluation of soybean meal as a replacement for marine animal protein in diets for shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture*. 87, 53-63.
- Lin H.Z., Li Z.J., Chen Y.Q., Zheng W.H. y Yang K. (2006). Effect of dietary traditional Chinese medicines on apparent digestibility coefficients of nutrients for white shrimp *Litopenaeus vannamei*, Boone. *Aquaculture*. 253, 495-501.
- Madrigal L.V. y Ortega M.E. (2002). Obtención de un concentrado proteico de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) para su uso en remplazantes de leche para becerras. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 36, 211-216.
- Martínez-Palacios C.A., Chávez-Sánchez M.C., Olvera-Novoa M.A. y Abdo de la Parra M.I. (1999). Fuentes alternativas de proteínas vegetales como sustitutos de la harina de pescado para la alimentación en acuicultura. Pp 279-324. En: Cruz-Suárez L. E., Ricque-Marie D., y Mendoza-Alfaro R. *Avances en Nutrición Acuícola III*. Memorias del Tercer Simposium Internacional de Nutrición Acuícola 11 al 13 de Noviembre 1996. Monterrey, Nuevo León, México.
- Mercier L. (2007). Efecto de los ácidos grasos altamente insaturados sobre el sistema de defensa y la susceptibilidad al estrés en camarón blanco. Tesis de doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Baja California Sur, México.
- Merican Z.O. y Shim K.F. (1995). Apparent digestibility of lipid and fatty acids in residual lipids of meals by adult *Penaeus monodon*. *Aquaculture*. 133, 275-286.
- Molina-Poveda C. y Morales M.E. (2004). Use of a mixture of barley-based fermented grains and wheat gluten as an alternative protein source in practical diets for *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Aquaculture Research*. 35, 1158-1165.

- Moyano-López F.J. (2006). Bioquímica digestiva en especies acuicultivadas: Aplicaciones en nutrición. En: Cruz-Suárez L.E., Ricque-Marie D., Tapia-Salazar M., Nieto-López M., Villarreal-Cavazos D.A., Puello-Cruz A.C., García-Ortega A. *Avances en Nutrición VIII*. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 15-17 Noviembre, 2006. Mazatlán, Sinaloa, México.
- Norma Oficial Mexicana NOM- 188-SSAI-2002. Control de aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal. Octubre de 2002. URL <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/188ssa12.html>
- Ortega R.C. y Ochoa B.R. (2003). El cártamo, una oleaginosa para el mercado de exportación. *Claridades Agropecuarias*. 114, 1–16.
- Ott L. R. (1992). Analyzing data: analysis of variance methods. En: Ott R.L. y Longnecker M.T. (Eds.). *An introduction to statistical methods and data analysis*. 4th Edición. Doxbury Press, Belmont, California, EUA.
- Páez-Osuna F., Gracia A., Flores-Verdugo F., Lyle-Fritch L.P., Alonso-Rodríguez R., Roque A., Ruiz-Fernández A.C. (2003). Shrimp Aquaculture development and the environment in the Gulf of California ecoregion. *Marine Poll. Bull.* 46, 806–815.
- Paredes-López O. y Ordorica-Falomir C. (1986). Production of safflower protein isolates: Composition, yield and protein quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 37, 1097–1103.
- Paredes L.O. (1991). Safflower proteins for food use. En: *Developments in Food Proteins*. pp. 7–33. Elsevier Appl. Sci. Publ. Ltd. Barking, UK.
- Petersen C.F., Wiese A.C., Anderson G.J. y Lampman, C.E. (1957). *Poultry Sci.* 36, 3–6.
- Reigh R.C. y Ellis S.C. (1992). Effects of dietary soybean and fish-protein ratios on growth and body composition of red drum, *Sciaenops ocellatus* fed isonitrogenous diets. *Aquaculture*. 104, 279–292.
- Rivas-Vega M.E., Goytortúa-Bores E., Ezquerria-Brauer J.M., Salazar-García M.G., Cruz-Suárez L.E., Nolasco, H. y Civera-Cerecedo, R. (2006). Nutritional value of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) meals as ingredients in diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). *Food Chemistry*. 97, 41–49.
- SAGARPA (2008). Anuario estadístico de pesca. URL <http://www.siea.sagarpa.gob.mx>
- Samocha T., Davis D.A., Saoud L.P. y DeBault K. (2004). Substitution of fish meal by co-extruded soybean poultry by-product meal in practical diets for the pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 231, 197–203.
- Sapp R.E. y Davidson S.D. (1991). Microwave digestion of multi-component foods for sodium analysis by atomic absorption spectrometry. *Journal of Food Science*. 55, 1412–1420.
- SIAP – Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera / ANIAME – Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles, A. C., (2009). México. *ANIAME, informe anual*. Abril, 2009.
- Siccardi III A.J., Lawrence A.L., Gatlin III D.M., Fox J.M., Castille F.L., Perez-Velazquez M. y González-Félix M.L. (2006). Digestibilidad aparente de energía, proteína y materia seca de ingredientes utilizados en alimentos balanceados para el camarón blanco del Pacífico
- Civera, R. et al. 2010. Uso del cártamo (*Carthamus tinctorius*) como ingrediente en alimentos para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei*. En: Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds), *Avances en Nutrición Acuícola X - Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuícola*, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp. 393-466.

- Litopenaeus vannamei*. En: Cruz-Suárez L.E., Ricque-Marie D., Tapia-Salazar M., Nieto-López M., Villarreal-Cavazos D.A., Puello-Cruz A.C., García-Ortega A. *Avances en Nutrición VIII*. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 15-17 Noviembre, 2006. Mazatlán, Sinaloa, México.
- Smith D.M., Allan G., Williams K.C. y Barlow C.G. (2000). Fishmeal replacement research for shrimp feed in Australia. En: Cruz-Suárez L.E., Ricque-Marie D., Tapia-Salazar M., Olvera-Novoa M.A. y Civera-Cerecedo R. *Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. 19-22 Noviembre, 2000. Mérida, Yucatán, México.
- Smith J.R. (1996). Safflower. AOCS Press, Champaign, IL, EUA.
- Smith D.M., Tabrett S.J., Glencross B.D., Irvin S.J. y Barclay M.C. (2007) Digestibility of lupin kernel meals in feeds for the black tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*. 264, 353-362.
- Sokal R.R. (1995). Assumption of analysis of variance. pp 392–450. En: Sokal R. R. y Rohlf F. J. (Eds) *Biometry: Principles and practice of statistic in biological research*, 3rd Edición. W. H. Freeman and Company, Nueva York, EUA.
- Suárez A.J., Gaxiola G., Mendoza R., Cadavid S., García G., Alanis G. y Suárez A. (2009). Substitution of fish meal with plant protein source and energy budget for white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture*. 289, 118–123.
- Sudaryono A., Tsvetnenko E. y Evans L. (1996). Digestibility studies on fisheries by-product based diets for *Penaeus monodon*. *Aquaculture*. 143, 331–340.
- Sudaryono A., Tsvetnenko E. y Evans L.H. (1999a). Evaluation of potential of lupin meal as an alternative to fish meal in juvenile *Penaeus monodon* diets. *Aquaculture Nutrition*. 5, 277–285.
- Sudaryono A., Tsvetnenko E., y Evans L.H. (1999b). Replacement of soybean meal by lupin meal in practical diets for juvenile *Penaeus monodon*. *Journal of The World Aquaculture Society*. 30, 46–57.
- Tacon A.G.J. (1989). Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Italia. 572p.
- Tacon A.G.J. (1990). Standard methods for the nutrition and feeding of farmed fish and shrimp. Ed. Argent Laboratory Press. Redmond, Washington, EUA.
- Tacon A. G. J., Cody J. J., Conquest L. D., Divakaran S., Forster I. P., y Decamp O. E. (2002). Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. *Aquaculture Nutrition* 8, 121–137.
- Tan R.K. y Dominy W.G. (1997). Commercial pelleting of crustacean feed. pp.520–549. En: D’Abramo L.R., Conklin D.E. y Akiyama D.M. (Eds.) *Crustacean Nutrition*. Adv. World Aquac. Vol 6. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, EUA.
- Vázquez-Ortiz F.A., Caire G., Higuera-Ciapara I. y Hernández G. (1995). High performance liquid chromatographic determination of free amino acids in shrimp. *J. Liq. Chrom.* 18, 2059–2068.
- Walter F. G., Rosales M., Murgueitio E. y Larrahondo J.E. (1989). Sustancias antinutricionales en hojas de guamo, nacedero y matarratón. *Livestock research for rural development*. 1(1). URL <http://www.lrrd.org/lrrd1/1/mauricio.htm>
- Weiss E.A. (1971). Castor, Sesame and Safflower. pp. 529–550. Barnes and Noble, Inc. Nueva York.
- Civera, R. et al. 2010. Uso del cártamo (*Carthamus tinctorius*) como ingrediente en alimentos para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei*. En: Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds), *Avances en Nutrición Acuícola X - Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuícola*, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp. 393-466.

- Weiss E.A. (1983). Oilseed crops. Capítulo 6. Safflower. pp. 216–281. Longman Group Limited, Longman House, London, UK.
- Zar J.H. (1984). *Biostatistical analysis*. 2da Edición Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 679p.