

Revisión del efecto de los antinutrientes y la fibra de leguminosas en la alimentación para peces

F. Valdez-González;¹ R. Gutiérrez-Dorado;¹ M. García-Ulloa³ y H. Rodríguez-González^{2*}

¹Programa Regional del Noroeste para el Doctorado en Biotecnología, Universidad Autónoma de Sinaloa; ²Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa, Instituto Politécnico Nacional;

³Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Guadalajara.

Resumen

Las leguminosas contienen el balance apropiado de proteínas y energía para ser incorporadas como ingredientes alimenticios de animales acuáticos; sin embargo, la eficiencia alimenticia por su inclusión en dietas comerciales se altera por el efecto que ejercen algunos factores antinutricionales de estas plantas. Los principales elementos indeseables encontrados en las leguminosas son los taninos, fitatos e inhibidores enzimáticos. En el caso de los peces, por carecer de la acción protectora que brinda la degradación bacteriana, la incorporación dietética de leguminosas es más difícil, ocasionándoles trastornos metabólicos y productivos. Asimismo, se ha comprobado que añadir altos niveles dietéticos de fibra puede reducir su crecimiento, además de disminuir la eficiencia proteínica, la energía metabolizable y digestibilidad de aminoácidos, al mismo tiempo que incrementan la excreción de minerales. Por lo que no se recomiendan niveles superiores de 4% de fibra cruda en alimentos balanceados para peces. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es revisar el impacto que ejercen los antinutrientes y la fibra de leguminosas al ser incluidos en dietas para peces, y describir qué tipo de procesos pueden ser utilizados para reducir o eliminar estos factores.

Palabras clave: Nutrición acuícola, factores antinutricionales, dieta, extrusión, fermentación en estado sólido.

Abstract

Effect of antinutrients and fiber from legumes in the fish feed. The legumes contain the proper balance of protein and energy to be incorporated as feed ingredients of aquatic animals, however, the feed efficiency for its inclusion in commercial diets is altered because of the effect of some antinutritional factors that the plants contain.

The main undesirable elements found in legumes are the tannins, phytates and enzyme inhibitors. In the case of fish, the dietary incorporation of legumes is more difficult since such vegetables cause productive and metabolic disorders. It has also been shown that to add high levels of dietary fiber can reduce its growth, plus decreasing the protein efficiency, digestibility and the metabolized energy of amino acids, while increasing the excretion of minerals. Then, it is not recommended levels higher than 4% of crude fiber in feed for fish. Therefore, the objective of this paper is to review the impact that the antinutrients and fiber from legumes have when they are included in fish diets, and to describe what kind of process can be used to reduce or eliminate these factors.

Key words: Aquatic nutrition, antinutritional factors, diet, extrusion, solid state fermentation.

Introducción

Los antinutrientes, o componentes no nutricionales, son elementos químicos que contienen ciertos vegetales que afectan o alteran la digestibilidad y el metabolismo de las fuentes energéticas (proteínas, lípidos y carbohidratos) en dietas elaboradas para animales de cultivo (Elizalde *et al.*, 2009). También existen ciertos compuestos en la membrana de algunos vegetales que en exceso, disminuyen la digestibilidad en los animales monogástricos (Belmar y Nava, 2005). Guillaume *et al.* (2004) consideran como antinutrientes a las sustancias que ejercen un efecto opuesto a los atrayentes. La acción de los antinutrientes no solamente consiste en interferir con el aprovechamiento de los nutrientes, sino que en muchos casos, promueve pérdidas importantes de proteína endógena llegando a producir daños al animal que los consume (Guillaume *et al.*, 2004). Desde el punto de vista bioquímico, los antinutrientes pueden ser tóxicos o causar efectos fisiológicos poco deseables como distensión estomacal, afectaciones pancreáticas, así como disminución en la asimilación de nutrientes (Morales y Troncoso, 2012).

Diversos estudios han demostrado que la variación de los niveles de fibra bruta en peces puede alterar el desempeño productivo, digestibilidad, velocidad de tránsito gastrointestinal, así como alteración en la morfología del tracto digestivo (Lanna *et al.*, 2004). La fibra soluble también es capaz de inhibir la digestión de los nutrientes (Sanz, 2002). Otro efecto

adverso que provoca el incluir altos niveles de fibra en el alimento, es el aumento en la excreción de minerales, así como la reducción de la energía metabolizable (Furuya *et al.*, 2000). Aunque cierta cantidad de fibra en la dieta puede mejorar la integridad estructural del alimento, es importante que se mantenga su nivel de inclusión por debajo de 10% (Castillo-Campo, 2011).

Por lo anterior, algunos reportes sugieren que la suplementación de leguminosas y cereales en la nutrición de peces ejerce efectos adversos sobre el hígado después de largos periodos de alimentación, debido a un incremento de los depósitos de glucógeno (Russell *et al.*, 2001). Entre las harinas de origen vegetal, las leguminosas de grano han sido intensamente probadas a nivel mundial como reemplazo de la harina de pescado en dietas acuícolas (Tabla 1), concluyendo que dicho cambio debe ser parcial para no alterar el crecimiento, la concentración de proteína corporal, la digestibilidad de los nutrientes y el uso de la energía por parte de los organismos (Glencross *et al.* 2004; Glencross *et al.* 2007). En esta revisión se hace énfasis en la fibra, así como también, en los antinutrientes derivados de las leguminosas, ya que su contenido no se menciona en las tablas de alimentos.

Nutrición y formulación de dietas para peces

La alimentación es el mayor costo de producción de peces (50 al 80%; Vandenberg *et al.*, 2012). Por lo tanto, con el fin de reducir los costos de producción, diversos investigadores han realizado trabajos sobre la sustitución de harina de pescado por fuentes proteínicas derivadas de leguminosas (Garduño-Lugo *et al.*, 2003; Goncalves-Leal y De-Castro *et al.*, 2009; Adamidou *et al.*, 2011; Olivera-Castillo *et al.*, 2011; Vandenberg *et al.*, 2012), mostrando que puede ser sustituida en diferentes porcentajes dependiendo de la fuente de proteína vegetal, tomando en consideración principalmente el contenido de proteína, la digestibilidad y el balance aminoacídico (Drew *et al.*, 2007). Los valores antes mencionados permiten elaborar dietas en base a proteína digestible y óptima, así como una reducción en la generación de productos nitrogenados al ambiente (De Silva, 2006).

Antinutrientes en leguminosas

Según Guillaume *et al.* (2004), los compuestos vegetales con acción antinutricional pueden generar principalmente los siguientes efectos:

- Limitar la utilización de nutrientes específicos (ejemplo: los factores antitripticos);
- Disminuir la eficacia de los procesos digestivos de una forma más o menos específica (ejemplo: el ácido fítico).
- Cambios a nivel metabólico (ejemplo: compuestos anti-tiroideos); y
- Afectación de forma múltiple incluyendo la supresión del apetito.

Existen diferentes compuestos antinutricionales presentes en leguminosas que se han utilizado en dietas para peces (Tabla 2), como la presencia de taninos, ácido fítico, inhibidores de proteasas, lectinas, saponinas que provocan efectos negativos al ser consumidos por los peces. Se han realizado pocos estudios acerca de los efectos dietéticos de las leguminosas, resumiéndose en la Tabla 1, algunos efectos negativos como disminución en la digestibilidad proteínica y lipídica, efectos adversos en crecimiento y una menor eficiencia en el factor de conversión alimenticia.

TABLA 1 Efectos biológicos de leguminosas como reemplazo de harina de pescado en dietas para peces.				
Leguminosa	Especie	Inclusión (%)	Efectos biológicos	Referencia bibliográfica
Harina de soya	Trucha	40	Incremento de amilasas y aminotransferasas en la sangre y provocó pancreatitis.	Hart <i>et al.</i> , 2010
Harina de soya	Bacalao	24.5	Baja digestibilidad proteica, lipídica, energía y de aminoácidos.	Refstie <i>et al.</i> , 2006
Harina de Soya	Trucha	7.5-15-22.5 y 30	Efectos en crecimiento con niveles de inclusión menores a 30%.	Collins <i>et al.</i> , 2012
Soya tostada	Trucha	25 y 29	Disminución en la ingesta, crecimiento y digestibilidad lipídica y aminoacídica.	Romarheim <i>et al.</i> , 2006
Frijol chino	Tilapia	13-50	A 25% de inclusión se presentó un mayor factor de conversión alimenticia (FCA) y crecimiento.	De Silva y Gunasekera, 1989
Cacahuete	Carpa	25	Crecimiento similar con niveles <25% de inclusión.	Hasan <i>et al.</i> , 1997
Canola	Trucha	7.5-15-22.5 y 30	Efectos negativos en el crecimiento con niveles de inclusión <30%.	Collins <i>et al.</i> , 2012
Chícharo	Lobina	20 a 40	No mostró diferencias significativas en el crecimiento.	Gouveia y Davies, 1998
Chícharo	Tilapia	50	Mayor eficiencia en crecimiento y FCA al sustituir al 50%.	McCallum <i>et al.</i> , 2000.
Chícharo	Trucha	7.5-15-22.5 y 30	La dieta con 30% fue similar en parámetros de crecimiento a la dieta control.	Collins <i>et al.</i> , 2012
Leucaena	Tilapia	20 a 100	La producción de alevines fue reducida a <40% de inclusión.	Santiago <i>et al.</i> , 1988
Leucaena	Carpa	25	Bajo crecimiento y baja eficiencia alimenticia al alimentar con 25%.	Hasan <i>et al.</i> , 1997

TABLA 1
Efectos biológicos de leguminosas como reemplazo de harina de pescado en dietas para peces.

Leguminosa	Especie	Inclusión (%)	Efectos biológicos	Referencia bibliográfica
Alfalfa	Carpín	0-40	A 15% de harina de alfalfa (60 mg de carotenoides/kg) se presentó un mejor crecimiento, eficiencia alimenticia y buena pigmentación	Yanar <i>et al.</i> , 2008
H. De lupino extruída	Trucha	30-50 y 70	Niveles <50% se presentó un buen crecimiento y niveles >70% se presentó depósito de lípidos en hígado y poco crecimiento	Burel <i>et al.</i> , 1998
Lupino	Trucha	30	Menor digestibilidad de materia seca, pero benefició la digestibilidad proteica.	Glencross <i>et al.</i> , 2003
Vigna	Tilapia	35	Tratamiento a 48 °C, redujo en 34.9% el ácido fítico y disminuyó en 94.5% los inhibidores de tripsina y hemaglutinina.	Lara-Flores <i>et al.</i> , 2007
Haba	Tilapia	12-24 y 36	A 24% de inclusión no se presenta efectos adversos en crecimiento y disminución de lípidos en los peces.	Azaza <i>et al.</i> , 2009
Garbanzo	Lobina	16.5-35	No hubo diferencias significativas en crecimiento y FCA en las dietas.	Adamidou <i>et al.</i> , 2009
Garbanzo extruído	Trucha	30	A 30% de sustitución no hay diferencias en crecimiento y composición química del músculo.	Tiril <i>et al.</i> , 2009
Jatropha	Carpa común	23	Harina sin tratamiento térmico mostró un bajo crecimiento, mientras, con tratamiento térmico no mostró diferencias significativas con la dieta control.	Makkar y Becker, 1999
Jatropha	Tilapia	25	No afecta el peso ganado y FCA con respecto a la dieta control. 500 unidades de fitasa/kg de alimento permitió tener una buena absorción de nutrientes.	Kumar <i>et al.</i> , 2010

a) Ácido fítico

El ácido fítico está formado por un inositol esterificado con 6 moléculas de ácido fosfórico, y se encuentra mayormente en la semilla y fibra de los vegetales (Guillaume *et al.*, 2004). Los vertebrados, a diferencia de las bacterias, no poseen ninguna enzima capaz de hidrolizar eficazmente los enlaces externos del ácido fítico, por lo tanto, no son disponibles en los peces (Hendricks y Bailey, 1989). Además, durante el tránsito por el tracto digestivo, esta molécula puede acoplarse a otras para formar sales con metales divalentes (calcio, magnesio, manganeso, zinc, cobalto, entre otros) (Liener, 1980); asimismo, puede actuar

sobre ciertas enzimas digestivas y disminuir la digestibilidad de las proteínas alimentarias (Guillaume *et al.*, 2004; Chan *et al.*, 2008). Lo anterior puede provocar una desmineralización (Vielma *et al.*, 1998), aumentar la deposición de grasa en la carcasa (Eya y Lovell, 1997) y disminuir la resistencia enfermedades (Eya y Lovell, 1998). El ácido fítico a niveles de 0.5 % en el alimento, puede influir disminuyendo la digestión proteínica y por lo tanto, la utilización del alimento lo cual se ha observado para la trucha arcoiris (Reddy *et al.*, 1989). En los salmónidos se ha observado un efecto depresivo neto de los fitatos en la utilización proteínica (Hendricks y Bailey, 1989), mientras que en los langostinos el fósforo fítico es relativamente disponible debido a la hidrólisis por una fosfatasa (Guillaume *et al.*, 2004). Martín-Cabrejas *et al.* (2009), reportaron que mediante un tratamiento de deshidratación es posible eliminar hasta un 44% el ácido fítico de su origen vegetal.

TABLA 2
Antinutrientes presentes en leguminosas que se han utilizado en dietas para peces.

Leguminosas	Antinutrientes
Harina de soya	Inhibidores de proteasas, lectinas, ácido fítico, saponinas
Harina de frijol	Inhibidores de proteasas, fitohemaglutininas, cianógenos, ácido fítico, saponinas, antivitaminas
Harina de garbanzo	Inhibidores de proteasas, cianógenos, ácido fítico, fitoestrógenos
Harina de lupino	Inhibidores de proteasas, saponinas, fitoestrógenos, alcaloides
Harina de alfalfa	Inhibidores de proteasas, saponinas, fitoestrógenos, antivitaminas
Harina de chícharo	Inhibidores de proteasas, lectinas, taninos, cianógenos, ácido fítico, saponinas, antivitaminas
Harina de vigna	Inhibidores de proteasas, fitohematoglutininas, ácido fítico
Harina de haba	Inhibidores de proteasas, fitohemaglutininas, ácido fítico, taninos, dihidroxifenilalanina
Harina de cacahuete	Inhibidores de proteasas, fitohemaglutininas, ácido fítico, saponinas, fitoestrógeno
Harina de leucaena	Mimosina

b) Factores antitripsicos

Son compuestos de naturaleza proteínica que se encuentran en la mayoría de los granos (Liener, 1989). En el caso de los cereales, su función antinutricional puede considerarse insignificante a diferencia de las leguminosas (Hendricks y Bailey, 1989). Norton (1991) observó que tal efecto antinutricional está relacionado con la inhibición de la actividad de la tripsina y en menor medida, de la quimiotripsina y elastasa lo cual se logra mediante la formación de complejos estables, lo que finalmente provoca que se disminuya la digestibilidad metabólica de las proteínas. Para la mayoría de las especies de peces se ha detectado

un mecanismo compensatorio, el cual se realiza mediante la secreción de tripsina que se activa por una hipersecreción de colecistoquinina y posteriormente, provoca una hipertrofia del páncreas (Guillaume *et al.*, 2004). Algunas de las especies comerciales en las que se ha observado el efecto de inhibición de proteasas son: tilapia (Shiau *et al.*, 1988; Bezerra *et al.*, 2005; Jun-sheng *et al.*, 2006; Shimei y Luo, 2011), carpa (Makkar y Becker, 1999; Gao *et al.*, 2011), bagre (Wilson y Poe, 1985), trucha (Rumsey *et al.*, 1993; Krogdahl *et al.*, 1994), salmón (Olli y Krogdahl, 1994) y la dorada (Moyano *et al.*, 1999). Por otro lado, se ha reportado que los tratamientos térmicos destruyen los factores antitripsicos sin causar alteración notable al valor nutritivo de las proteínas, aunque se recomienda que en la elaboración de alimento para peces, solamente se consideren ingredientes con bajo contenido de factores antitripsicos (Olvera-Novoa y Olivera-Castillo, 2000).

c) Otros antinutrientes de naturaleza proteínica

Se tiene evidencia de que algunos otros compuestos de las leguminosas presentan un efecto inhibitor en la digestión, entre los que se pueden citar: la ureasa, algunas lectinas (Ologhobo *et al.*, 1993; D'Mello, 1995), amilasas (Liener, 1980) y la mirosinasa (Sangalli *et al.*, 2004). Las leguminosas se destacan por su alto contenido de lectinas, como el frijol machete (*Canavalia ensiformis*), frijol reyna (*Phaseolus lunatus*) y frijol chino (*Vigna unguiculata*), así como el chícharo (*Pisum sativum*) (Liener, 1980). Las lectinas constituyen un grupo de compuestos proteínicos extremadamente ubicuos (Guillaume *et al.*, 2004). Su presencia ha sido señalada tanto en las plantas superiores como en microorganismos o animales inferiores con el nombre específico de hemaglutininas (Gueguen *et al.*, 1993). Las hemaglutininas-esterasas son proteínas glicosiladas que forman las espículas del virión y que se adhieren a la célula del huésped. Los peces afectados por estas proteínas, se caracterizan por presentar anemia con un hematocrito menor al 10 %, palidez de branquias y corazón, además de presentar congestión de bazo, hígado e intestino y pequeños derrames vasculares en vísceras e intestino. Se ha registrado que la inclusión de harina de soya en dietas para trucha, ha provocado incremento de amilasas y aminotransferasas en la sangre, lo cual es causa de pancreatitis en peces (Hart *et al.*, 2010). Los peces más susceptibles son el salmón Chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*), salmón coho (*Oncorhynchus kisutch*), trucha marrón (*Salmo trutta*) y la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) (Panorama Acuícola Magazine, 2009).

d) Glucosinolatos

Estos compuestos se encuentran principalmente en la familia de las Brasicáceas (Liener, 1980). Los glucósidos están formados por una molécula de glucosa y un compuesto con azufre que contiene una cadena lateral de naturaleza variable (D'Mello, 1995). Los glucosinolatos no son muy tóxicos, aunque podrían influenciar el comportamiento alimentario por su sabor amargo (Guillaume *et al.*, 2004). Higgs *et al.* (1982), determinaron que el salmón chinook puede soportar niveles mayores de 300 mg/g de glucosinolatos en el alimento, sin embargo, se recomienda que se suplemente con tirosina para contrarrestar sus efectos.

La inclusión de harina de canola, que contiene altos niveles de glucosinolatos en dieta para salmón coho (*Onchorhynchus kisutch*), causó una reducción significativa en el crecimiento e hiperplasia de la tiroides, incremento en la grasa corporal, así como una reducción en la eficiencia alimenticia (Higgs *et al.*, 1982). Se ha comprobado que los glucosinolatos afectan la glándula tiroides y causan hemorragias en el hígado (De Acuicultura, 2012). La sensibilidad de los peces a este compuesto y sus derivados parece bastante variable de una especie a otra, incluso dentro de un mismo grupo como el de los salmones del pacífico (Guillaume *et al.*, 2004).

e) Taninos

Se definen como compuestos naturales polifenólicos e hidrosolubles que forman complejos con proteínas, carbohidratos y otros polímeros del alimento (Belmar y Nava, 2005). Los taninos son moléculas que fácilmente se desnaturalizan por el calor, pero el simple descascarillado de los granos los elimina en gran medida (Guillaume *et al.*, 2004). La inhibición enzimática que provocan los taninos, disminuye la digestibilidad de los nutrientes nitrogenados y en menor medida, la energía (Cabrera, 2009); esto causa una baja digestibilidad proteínica, aumento en la conversión alimenticia, así como una disminución en el peso (Reichert *et al.*, 1980). De las leguminosas utilizadas en la alimentación animal se destacan por el contenido de taninos el *Sorghum vulgare*, *S. bicolor*, *Vicia faba*, *Phaseolus vulgaris*, *Pisum sativum* y *Hordeum vulgare* (Guillaume *et al.*, 2004). Por otro lado, se reporta que los taninos hidrolizables pueden causar efectos tóxicos a nivel sistémico, específicamente en el hígado pueden provocar efectos adversos (Butler y Bos, 1993; Jansman, 1993). En peces, se ha reportado el efecto de los taninos provenientes de la favela (*Dimorphandra mollis* Benth), comprobando que niveles iguales o superiores a 0.63 % afectan significativamente la digestibilidad de materia seca, proteínas y lípidos en tilapia nilótica (Pinto *et al.*, 2000). Asimismo, Becker y Makkar (1999) evaluaron los efectos en la carpa (*Cyprinus carpio*) al agregar 2 % de taninos hidrolizables y condensados de la planta conocida como quebracho (*Loxopterygium loetzi*), concluyendo que no se presentaron efectos en la ingesta de alimentos, composición corporal y peso ganado con taninos condensados; sin embargo, el ácido tánico hidrolizado produjo efectos adversos después de 28 días y un rechazo total de las dietas después de 40 días.

f) Saponinas

Las propiedades de las saponinas son variadas, pero debido a su sabor pueden disminuir la palatabilidad de las dietas (Guillaume *et al.*, 2004). La afinidad de las saponinas por los esteroides permite que interfieran en la absorción intestinal de estos compuestos y limitan el reciclaje de las sales biliares (Liener, 1980). La toxicidad de las saponinas en peces es controvertida debido a que no hay muchos estudios que mencionen el daño que producen en ellos. En un estudio realizado por Chikwati *et al.* (2011), se concluyó que las dietas con bajas cantidades de soya cruda puede provocar irritación de la mucosa y rompimiento de las membranas intestinales. En crustáceos, los datos experimentales son todavía inexistentes,

pero se debe esperar un grado de toxicidad mayor que en los vertebrados debido a la incapacidad de los artrópodos para sintetizar el núcleo esterol (Guillaume *et al.*, 2004).

g) Compuestos cianogénicos

Los compuestos cianogénicos se encuentran ampliamente distribuidos en leguminosas, aunque no son el principal factor antinutricional, excepto en dos especies: *Phaseolus lunatus* y *Vicia faba* (Belmar y Nava, 2005). Las semillas que contienen cianógenos son potencialmente dañinas al animal que las consume por la rápida hidrólisis de las *b*-glucosidasas microbianas o de la planta (Belmar y Nava, 2005), provocando un incremento en el requerimiento del animal hacia los aminoácidos azufrados (D'Mello, 1995). Los peces son organismos acuáticos sensibles al cianuro y el aumento de su concentración en el agua. En el bagre marrón (*Ictalurus nebulosus*), el aumento en la frecuencia cardíaca se manifiesta a bajas concentraciones de cianuro y la disminución de la velocidad cardíaca se da a concentraciones más altas. Por otro lado, se han observado efectos adversos en la capacidad natatoria y en la reproducción de salmones y truchas expuestos a concentraciones de cianuro libre de 5.0 y 7.2 µg/L, y letales a 20 a 76 µg/L (Eisler, 1991). El cianuro también afecta negativamente a la reproducción de peces expresándose en una reducción en la ovoposición y la viabilidad de los huevos, retrasando el proceso de deposición de la yema secundaria en el ovario (Ruby *et al.*, 1986). La exposición a 10 µg/L de cianuro en una hembra reproductora de trucha arcoíris por 12 días durante el inicio del ciclo reproductivo, causó una reducción en los niveles de vitelogenina del plasma y una reducción de peso en el ovario (Ruby *et al.*, 1986). Los tratamientos térmicos reducen su efecto ya que son muy lábiles ante el calor (Guillaume *et al.*, 2004).

Fibra

La fibra soluble inhibe la digestión de los nutrientes haciendo que los contenidos del intestino se vuelvan más viscosos lo que impide que las enzimas digestivas trabajen libremente (Sanz, 2002). Por otro lado, la fibra puede mejorar la estabilidad del alimento y servir como distribuidor uniforme de los nutrientes, es decir, mantiene la integridad estructural de los pellets. Según Castillo-Campo (2011) los niveles de fibra deben mantenerse entre 5% a 10%, debido a que los animales carnívoros son menos eficientes para digerirla a diferencia de los herbívoros. Existen estudios en los que se menciona que niveles elevados de proteína y fibra cruda no interfieren con el crecimiento de los peces (Pereira-Filho *et al.*, 1994). García *et al.* (1999) reportaron que al aumentar el nivel de fibra en la dieta se incrementaron los niveles de proteína cruda en el contenido corporal de los peces, pero a su vez, ocurre una disminución de lípidos. En la Tabla 3, se muestran los efectos biológicos de fibra, en diferentes niveles de inclusión en dietas para peces.

TABLA 3
Efectos biológicos de la fibra en dietas para peces

Especie	Inclusión %	Efectos biológicos	Referencia bibliográfica
Trucha	10 y 20	Niveles de fibra dietética para trucha no deben superar el 10% en las dietas porque reduce el crecimiento.	Hilton <i>et al.</i> , 1983
Tilapia	2-6 y 10	Disminución en la tasa de eficiencia proteica, aumentando los niveles de inclusión de celulosa.	Teshima <i>et al.</i> , 1987
Tilapia	2-4-6-10 y 16	Incluir el 4% de fibra, reduce el crecimiento y el contenido de lípidos en los peces cuando se alimentaron con altos niveles de fibra dietética.	Shiau <i>et al.</i> , 1988
Tilapia	10	Reducción significativa en crecimiento en dietas con fibra.	Shiau y Kwok, 1989
Tilapia	3 a 10	Mayor a 3.6% de fibra en dietas reduce la eficiencia alimenticia en tilapia.	Young <i>et al.</i> , 1989
Tilapia	0-2.5-5-7.5 y 10	Mayor crecimiento, supervivencia, factor de conversión alimenticia y eficiencia proteica con 2.5 y 5% de inclusión de fibra cruda en las dietas.	Dioundick y Stom, 1990
Tilapia	22	No encontraron diferencias significativas en crecimiento, FCA y eficiencia proteica alimentando con 22% de fibra cruda.	El Sayed, 1991
Tilapia	6	Niveles mayor a 6% de fibra cruda reducen el crecimiento en tilapia.	National Research Council, 1993
Salmón de río	2-10 y 20	Niveles altos de proteína y fibra cruda no afectan el crecimiento.	Pereira-Filho, 1994
Salmón criollo	5-7-8 y 9	Mayor crecimiento a 9% de inclusión de fibra bruta. Al mayor nivel de fibra en las dietas, mayor niveles de proteína en los peces, pero disminuían los lípidos.	García <i>et al.</i> , 1999

El efecto de los elevados niveles de fibra sobre la reducción del valor de energía digestible fue señalado por Sintayehu *et al.* (1996), para la tilapia del Nilo. También trabajando con tilapia nilótica, Shiau y Kwok (1989) observaron una reducción en su crecimiento con el aumento en la inclusión de fibra, mientras que Teshima *et al.* (1987), además de la reducción en el crecimiento, observaron una disminución en su tasa de eficiencia proteica con el aumento en los niveles de inclusión de celulosa. Para la tilapia de Mozambique no se recomiendan niveles superiores de 2 al 4 % de fibra cruda (Shiau *et al.*, 1988). En otro estudio se menciona que el nivel máximo de inclusión para tilapia del Nilo debe ser 3.6 % (Young *et al.*, 1989). De acuerdo con el National Research Council (1993), el nivel de fibra en la dieta no debe ser superior al 6 % para esta misma especie. Hilton *et al.* (1983) observaron que los niveles de fibra dietética no deben estar presentes en niveles superiores al 10% en las dietas.

Lanna *et al.* (2004) realizaron un estudio con 3 diferentes niveles de inclusión (6, 9 y 12%) de fibra cruda en dietas para tilapia del Nilo, observando que es posible utilizar hasta 9%, debido a que a niveles mayores pueden provocar una reducción significativa en la digestibilidad de materia seca y digestibilidad proteínica.

Dioundick y Stom (1990) obtuvieron los mejores resultados de supervivencia, factor de conversión alimenticia y eficiencia proteica con niveles de inclusión de 2.5 y 5% de fibra cruda en dietas para tilapia. Estos resultados difieren con lo reportado por El-Sayed (1991) que no encontró diferencias significativas en crecimiento, factor de conversión alimenticia y eficiencia proteica alimentando con un nivel de inclusión de 22% de fibra cruda en dietas experimentales para tilapia.

En especies como salmónidos, la utilización digestiva de polisacáridos es limitada, pero con tratamientos de calor, como la extrusión, se produce el quiebre de la estructura del almidón, y así, se mejora su digestibilidad tanto proteica como energética (Burel *et al.*, 2000). El descascarillado, además, produce una disminución en el contenido de fibra del grano (Davis *et al.*, 2001) aumentando con esto la concentración de proteína cruda de 25.5 a 27.7% (Booth *et al.*, 2001). Efectos favorables por la inclusión de 9% de fibra en la dieta de salmón criollo se reflejaron en el aumento de su crecimiento (García *et al.*, 1999).

Procesos para eliminación de antinutricionales y fibra

Existen diferentes procesos para el mejoramiento y aprovechamiento de grandes cantidades de leguminosas entre los que se encuentran: descascarillado, fermentación en estado sólido, extrusión, entre otros. El descascarillado de las leguminosas disminuye el contenido de fibra cruda y mejora apariencia, textura, calidad de cocción, palatabilidad y digestibilidad de las proteínas, así como la reducción de taninos (Egounlety y Aworh, 2003). Otra alternativa interesante es la fermentación en estado sólido, ya que es un bioproceso tecnológico sencillo y económico que permite obtener alta calidad en los productos, con una mínima degradación de nutrientes, y una mejora importante en la digestibilidad y valor biológico de las proteínas (Reyes-Moreno *et al.*, 2004). También, inducen cambios favorables en las leguminosas tales como la reducción de la actividad de inhibidores enzimáticos, como los fitatos y taninos (Cuevas-Rodríguez *et al.*, 2004). La extrusión es otro proceso que permite un mayor aprovechamiento de las leguminosas, el cual se lleva a cabo a temperaturas entre 150 a 200 °C y tiempos de residencia relativamente cortos (Milán-Carrillo *et al.*, 2002). Al tener un proceso de cocción corto se protege muy bien el sabor y los nutrientes además que permite la inactivación de enzimas al mismo tiempo microorganismos y factores antinutricionales termolábiles como los inhibidores de tripsina y lectinas, razón por la cual es ampliamente utilizado en la industria alimenticia (Pastor-Cavada *et al.*, 2011).

Conclusiones

Existen pocos estudios sobre el efecto causado por los antinutrientes que contienen las leguminosas en dietas para peces, por lo que resulta difícil identificar si solamente es un factor o muchos los que ocasionan efectos. La mayoría de los antinutrientes de las leguminosas no ocasionan la muerte, pero producen efectos nocivos y una gran disminución en los índices productivos por lo que es necesario implementar procesos para el mejoramiento y aprovechamiento de grandes cantidades de leguminosas.

La presencia de Inhibidores de proteasa, fitatos y compuestos cianogénicos derivados de fuentes vegetales en dietas para peces, no afecta el crecimiento de la mayoría de los peces. Por el contrario las saponinas, taninos glucosinolatos tienen más importancia en la nutrición acuícola ya que son potencialmente más dañinos en los peces. Los diferentes límites de tolerancia de las especies de peces a la presencia de antinutrientes deben ser considerados antes de decidir el tratamiento o procedimiento para reducir sus niveles; por ejemplo la tilapia parece ser más tolerante que la carpa y trucha a la presencia de antinutrientes en general. Otro factor importante a considerar es la interacción entre diferentes antinutrientes ya que puede provocar un aumento o disminución de los efectos tóxicos de los compuestos que interactúan. La interacción tanino-saponina, tanino-lectina y tanino-cianógeno promueven a la reducción en la toxicidad individual de los antinutrientes. Un estudio más detallado entre estas interacciones sería útil, ya que las leguminosas contienen estos compuestos.

En lo correspondiente a la fibra, ésta inhibe la digestión de nutrientes impidiendo que las enzimas digestivas trabajen adecuadamente. Se ha comprobado que niveles de inclusión superiores al 10 % de fibra, reducen significativamente la digestibilidad de materia seca y proteínica, por lo que una alternativa viable para la disminución de fibra es el descascarillado ya que reduce considerablemente el contenido de fibra en leguminosas. Se ha comprobado que niveles inferiores al 4 % de fibra en una dieta permiten una mayor digestibilidad de los nutrientes en alimento para peces

Por lo tanto, el empleo de procesos para la reducción o eliminación de estos antinutrientes es ampliamente recomendable. La eliminación de la testa o descascarillado permite la eliminación de taninos. Para la disminución de ácido fítico e incremento de la digestibilidad de las proteínas, la fermentación en estado sólido es un proceso adecuado. Asimismo, se puede eliminar la presencia de antinutrientes termolábiles como factores antitrípsicos, cianógenos, taninos y lectinas mediante la extrusión para un mayor aprovechamiento de grandes cantidades de leguminosas.

Agradecimientos

Se agradece las facilidades proporcionadas por personal del Laboratorio Num 18 de la Facultad de Bioquímica de la Universidad Autónoma de Sinaloa, especialmente la Dra. Edith Oliva Cuevas Rodríguez así como al Dr. Cuauhtémoc Reyes Moreno por proporcionar

su tiempo y bibliografía para la elaboración de esta revisión. También se agradece al grupo de trabajo del Laboratorio de Nutrición Acuícola del CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa así como a los revisores que ayudaron a la elaboración de este documento.

Referencias

- Adamidou S., Nengas, I., Henry, M., Grigorakis, K., Rigos, G., Nikolopoulou, D., Kotzamanis, Y., Bell, G.J. y K. Jauncey. 2009. Growth, feed utilization, health and organoleptic characteristics of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) fed extruded diets including low and high levels of three different legumes. *Aquaculture*. 293: 263–271.
- Adamidou S., Nengas I., Henry M., Ioakeu-Midoy N., Rigos G., Bell G.J. y K. Jauncey. 2011. Effects of dietary inclusion of peas, chickpeas and faba beans on growth, feed utilization and health of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture Nutrition*. 17: 288–296.
- Azaza M.S., Wassim, K., Mensi, F. Abdelmouleh, A., Brini, B. y M. Kraïem. 2009. Evaluation of faba beans (*Vicia faba* L. var. *minuta*) as a replacement for soybean meal in practical diets of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*. 287 (2): 174–179.
- Becker K. y H. Makkar. 1999. Effects of dietary tannic acid and quebracho tannin on growth performance and metabolic rates of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*. 175: 327–335.
- Belmar R. y R. Nava. 2005. Factores antinutricionales en la alimentación de animales monogástricos. En: *Libro del curso de Alimentación no Convencional para Animales Monogástricos en el Trópico*. Maracay. 51 pp.
- Bezerra R.S., Eduardo J.F. Lins R.B., Alencar P.M.G., Paiva M.E.C., Chaves- Luana C.B.B. Coelho L.B y Carvalho. 2005. Alkaline proteinase from intestine of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Process Biochemistry*. 40: 1829–1834.
- Booth M., Allan, G., Frances, J. y S. Parkinson. 2001. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus* IV. Effects of dehulling and protein concentration on digestibility of grain legumes. *Aquaculture*. 196: 67–85.
- Burel C., Boujard, T., Corraze, G., Kaushik, S.J., Boeuf, G., Mol, K.A., Geyten, S.V.D. y E. Kühn. 1998. Incorporation of high levels of extruded lupin in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): nutritional value and effects on thyroid status. *Aquaculture*. 163: 325–345.
- Burel C., Boujard, T., Kaushik, S., Boeuf, G., Geyten van der, S., Mol, K., Kühn, E., Quinsac, A., Krouti, M. y D. Ribaillier. 2000. Potential of plant-protein sources as fishmeal substitutes in diets for turbot (*Psetta maxima*): growth, nutrient utilization and thyroid status. *Aquaculture*. 188: 363–382.
- Butler L.G. y K. Bos. 1993. *Analysis and characterization of tannins in faba beans, cereals and other seeds. A literature review*. In: *Recent advances of research in antinutrition*

- nal factors in legume seeds: proceedings of de Second International Workshop on Antinutritional Factors (ANFs) in Legume Seeds. Netherlands. 81-90 pp.
- Cabrera M. S. L. F. F. 2009. Evaluación de extracto de Noni *Morinda citrifolia*, en el comportamiento productivo de la tilapia nilótica *Oreochromis niloticus*. FODECYT. 44.
- Castillo-Campo G.A. 2011. Mundo tilapia. Nutrición [http://www.mundotilapia.es.tl/ Nutri-ci%F3n.htm](http://www.mundotilapia.es.tl/Nutri-ci%F3n.htm). (Consultada el 15 octubre de 2011).
- Chan C. R., Lee D. N., Cheng Y. H., Hsieh D. J. Y. y C.F. Weng. 2008. Feed deprivation and re-feeding on alterations of proteases in tilapia *Oreochromis mossambicus*. *Zoological Studies*. 47: 207.
- Chikwati E, M., Fredrik, F. V., Penn, M.H., Rohloff, J., Refstie, S., Guttvik, A., Hillestad, M. y A. Krogdahl. 2011. Interaction of soya saponins with plant ingredients in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *The British journal of nutrition*. August 2011.
- Collins S.A., Desai, A.R., Mansfield, G.S., Hill, J.E., Kessel van, A.G. y M.D. Drew. 2012. The effect of increasing inclusion rates of soybean, pea and canola meals and their protein concentrates on the growth of rainbow trout: Concepts in diet formulation and experimental design for ingredient evaluation. *Aquaculture*. 2012.02.018.
- Cuevas-Rodríguez E.O., Millán-Carrillo J., Mora-Escobedo R., Cárdenas-Valenzuela O.G. y C. Reyes-Moreno. 2004. Quality protein maize (*Zea mays* L) tempeh flour through solid state fermentation process. *Lebesm Wiss und-Technol* 37:59-67.
- D´Mello J.P.F. 1995. Anti-nutritional substances in legumes seeds. In: *Tropical Legumes in Animal Nutrition*. D´Mello, J.P.F. and C. Devendra (Eds.). CAB International. U.K, pp. 135-165.
- Davis D., Arnold, C. y I. McCallum. 2001. Nutritional value of feed peas (*Pisum sativum*) in practical diet formulations for *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*. 8: 87-94.
- De Acuicultura, Fundación Observatorio Español. 2012. *La nutrición y alimentación en piscicultura*. Editorial Paraninfo. 430.
- De Silva S.S. y R.M. Gunasekera. 1989. Effect of dietary protein level and amount of plant ingredient (*Phaseolus aureus*) incorporated into the diets on consumption, growth performance and carcass composition in *Oreochromis niloticus* (L.) Fry. *Aquaculture*. 80: 121-133.
- Dioundick Q.B. y D. Stom. 1990. Effects of dietary á-cellulose on the juvenile tilapia, *Oreochromis mossambicus* (Peters). *Aquaculture*. 91: 311-315.
- Drew M.D., Borgeson T.L. y D.L. Thiessen. 2007. A review of processing of feed ingredients to enhance diet digestibility in finfish. *Animal Feed Science and Technology*. 138: 118-136.
- Egounlety M. y O.C. Aworh. 2003. Effect of soaking, dehulling, cooking and fermentation with *Rhizopus oligosporus* on the oligosaccharides, trypsin inhibitor, phytic acid and tannins of soybean (*Glycine max* Merr.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and

- groundbean (*Macrotyloma geocarpa* Harms). *Journal of Food Engineering*. 56: 249-254.
- Eisler R. 1991. Cyanide Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A Synoptic Review-U.S. *Fish Wildl. Serv., Biol. Rep.* 85: 1-23
- Elizalde A., Pismag-Portilla. y D. Chaparro. 2009. Factores antinutricionales en semillas. *Bio Agro*. 7 (1): 45-54.
- El-Sayed A.F.M. 1991. Evaluation of sugarcane bagasse as a feed ingredient for the tilapias, *Oreochromis niloticus* and tilapia Zilli. *Asian Fisheries Science*. 4: 53-60.
- Eya J.C. y R.T. Lovell. 1997. Available phosphorus requirements of food-size channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed practical diets in ponds. *Aquaculture*. 154: 283-291.
- Eya J.C. y R.T. Lovell. 1998. Effects of dietary phosphorus on resistance of channel catfish to *Edwardsiella ictaluri* J. *Aquaculture Animal Health*. 10: 28-34.
- Furuya V.R.B., Furuya, W.M., Hayashi, C. y C.M. Soares. 2000. Niveles de inclusión de harina de girasol en la alimentación de la tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*), en etapa juvenil. *Zootecnia Tropical*. 18 (1): 91-106.
- Gao W., Liu, Y.J., Tian, L.X. Mai K..S., Liang, G.Y., Yang, H.J., Huai, M.Y. y W.J. Luo. 2011. Protein-sparing capability of dietary lipid in herbivorous and omnivorous freshwater finfish: a comparative case study on grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) and tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*). *Aquaculture Nutrition*. 17: 2–12.
- García R.E., Pezzato, L.E. y E.Z. Filho. 1999. Utilização da fibra bruta na nutrição de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*). *Acta Scientiarum*. 21 (3): 725-731.
- Garduño-Lugo M., Granados-Álvarez I., Olvera-Novoa M.A. y G. Muñoz- Córdoba. 2003. Comparison of growth, fillet yield and proximate composition between Stirling Nile tilapia (wild type) (*Oreochromis niloticus*, L.) and red hybrid tilapia (Florida red tilapia x Stirling red *O. niloticus*) males. *Aquaculture Research*. 34: 1023-1028.
- Glencross B., Evans, D., Hawkins, W. y B. Jones. 2004. Evaluation of dietary inclusion of yellow lupin (*Lupinus luteus*) kernel meal on the growth, feed utilisation and tissue histology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 235: 411-422.
- Glencross B.D., Booth, M. A. y G.L. Allan. 2007. A feed is only as good as its ingredients a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquaculture Nutrition*. 13: 17–34.
- Goncalves-Leal, A.L y De Castro, P.M. 2009. Use of shrimp protein hydrolysate in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L.) feeds. *Aquaculture International*. 10:104-119.
- Gouveia A. y S.J. Davies. 1998. Preliminary nutritional evaluation of pea seed meal (*Pisum sativum*) for juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*. 166: 311-320.
- Gueguen J., Oort van, M.G., Quillien, L. y M. Hessing. 1993. *The composition, biochemical characteristics and analysis of proteinaceous antinutritional factors in legume seeds*.

- Poel, A.F.B. van der, J. Huisman and H.S. Saini (Editors). EAAP Publication no. 70. Wageningen Pers, Netherlands, pp. 9-30.
- Guillaume J., Kaushik, S., Bergot, P. y R. Metailler. 2004. *Nutrición y alimentación de peces y crustáceos*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, pp. 353-365.
- Hart S.D., Bharadwaj, A.S. y P.B. Brown. 2010. Soybean lectins and trypsin inhibitors, but not oligosaccharides or the interactions of factors, impact weight gain of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 306: 310-314.
- Hasan M.R., Macintosh, D.J. y K. Jauncey. 1997. Evaluation of some plant ingredients as dietary protein sources for common carp (*Cyprinus carpio* L.) Fry. *Aquaculture*. 151: 55-70.
- Hendricks J. A. y G.S. Bailey. 1989. Adventitious toxins. En Halver J.E. (Ed) *Fish Nutrition*, 2da ed. Academic Press, NY, pp.605-651. [Http://www.fao.org/DOCREP/003/T0700S/T0700S06.htm](http://www.fao.org/DOCREP/003/T0700S/T0700S06.htm), (Consultada el 19 septiembre de 2011).
- Higgs D.A., McBride, J.R., Markert, J.R., Dosan, J.H., Plotnikoff, D.M. y C.W. Clarke. 1982. Evaluation of Tower and *Candle rapeseed* (canola) meal and *Bronowski rapeseed* protein concentrate as protein supplements in practical dry diets for juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*. 29: 1-31.
- Hilton J.W., Atkinson, J.L. y S.J. Slinger. 1983. Effect of increased dietary fiber on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdineri*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 40: 81-85.
- Jansman A.J.M. 1993. Tannins in feed feedstuffs for simple-stomached animals. *Nutrition Research Reviews*. 6: 209-236.
- Jun-sheng L., Jian-lin L. y W. Ting-ting. 2006. Ontogeny of protease, amylase and lipase in the alimentary tract of hybrid Juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*). *Fish Physiology and Biochemistry*. 32: 295-303.
- Krogdahl A., Lea, T.B. y J.J. Olli. 1994. Soybean proteinase inhibitors affect intestinal trypsin activities and amino acid digestibilities in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comp. Biochem Physiol*. 107: 215-219.
- Kumar V., Akinleye, A.O., Makkar, H. P. S., Angulo-Escalante, M.A. y K. Becker. 2010. Growth performance and metabolic efficiency in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fed on a diet containing *Jatropha platyphylla* kernel meal as a protein source. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. Blackwell Verlag GmbH.
- Lanna E.A., Pezzato, L.U., Furuya, W.M., Vicentini, C.A., Cecon, P.R. y M.M. Barros. 2004. Fibra Bruta e Óleo em Dietas Práticas para Alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*. 33 (6): 2177-2185.
- Lara-Flores M., Granados-Puerto, S.G., Olivera-Castillo, L., Pereira-Pacheco, F. E., Del Río-Rodríguez, R.E. y M.A. Olvera-Novoa. 2007. Nutritional evaluation of treated X'pelon seed (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) in the feeding of Nile tilapia (*Oreochromis*

- niloticus*). *Nutrition Technologies in Animal Feed Science and Technology*. 138 (2): 178–188.
- Liener L.E. 1980. *Toxic constituents of plant foodstuffs*. Academic Press. New York. 502 pp.
- Liener L.E. 1989. *Antinutritional factors in legume seeds: state of the art*. In: Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds. Huisman, J., T.F.B. van der Poel and I.E. Liener (Editors). Pudoc Wageningen, Netherlands. pp 6-13.
- Makkar H.P.S. y K. Becker. 1999. Nutritional studies on rats and fish (carp, *Cyprinus carpio*) fed diets containing unheated and heated *Jatropha curcas* meal of a nontoxic provenance. *Plant Foods Human Nutrition*. 53: 183-192.
- Martín-Cabrejas M.A., Aguilera, Y., Pedroza, M.M., Cuadrado, C., Hernández, T., Díaz, S. y R.M. Esteban. 2009. The impact of dehydration process on antinutrients and protein digestibility of some legume flours. *Food Chemistry*. 114 (3): 1063-1068.
- McCallum I., Newell, W., Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Davis, A., Thiessen, D., Campbell, L., Meyer-Willerer, A.O., Phillips, C. y D. Hickling. 2000. *Uso de arvejon (feed pea, chicharo) Pisum sativum en alimentos para camarones (Litopenaeus stylirostris y L. Vannamei), tilapia (Oreochromis niloticus) y trucha (Oncorhynchus mykiss)*. In: Cruz-Suarez, L.E.; Ricque-Marie, D.; Tapia-Salazar, M.; Olvera-Novoa, M.A. y Civera-Cerecedo, R. (Eds.). *Avances en Nutrición Acuicola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. Mérida, Yucatán.
- Milán-Carrillo J., Reyes-Moreno C., Camacho-Hernández, I. y O. Rouzaud-Sandez. 2002. Optimisation of extrusion process to transform hardened chickpeas (*Cicer arietinum* L.) into a useful product. *J. Sci. Food Agric.*, 82: 1718–1728.
- Morales M.L. y A.M. Troncoso. 2012. Sustancias antinutritivas presentes en los alimentos: *Toxicología alimentaria*. 243-244.
- Moyano F.J., Martínez, I., Díaz, M. y F.J. Alarcón. 1999. Inhibition of digestive proteases by vegetable meals in three fish species; seabream (*Sparus aurata*), tilapia (*Oreochromis niloticus*) and African sole (*Solea senegalensis*). *Comp. Biochemistry and Physiology Part B*. 122: 327-332.
- National Research Council. 1993. *Nutrient Requirements of Fish* National Academy Press. Washington, pp.114.
- Norton G. 1991. Proteinase inhibitors. In: D'Mello, F.J.P., Duffus, C.M., Duffus, J.H.Ž. Eds., *Toxic Substances in Crop Plants. The Royal Society of Chemistry*, Thomas Graham House, Science Park. Cambridge, pp. 68–106.
- Olivera-Castillo, L., Pino-Aguilar, M., Lara-Flores, M., Granados-Puerto, S., Montero-Muñoz, J., Olvera-Novoa, M.A. y G. Grant. 2011. Substitution of fish meal with raw or treated cowpea (*Vigna unguiculata* L Walp, IT86-D719) meal in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fry. *Aquaculture Nutrition*. 17: 101–111.

- Olli J.J. y A. Kroghdahl. 1994. Nutritive value of four soybean products in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) reared in fresh water. *Acta Agric. Scand. Sect A: Animal Science*. 44: 185-192.
- Ologhobo A.D., Apata, D.F. y A. Oyejide. 1993. Utilisation of raw jackbean (*Canavalia ensiformis*) and jackbean fractions in diets for broiler chicks. *British Poultry Science*. 34: 323-337.
- Olvera-Novoa, M. A. y L. Olivera-Castillo. 2000. Potencialidad del uso de las leguminosas como fuente proteica en alimentos para peces. En: Civera-Cerecedo, R., Pérez-Estrada, C.J., Ricque-Marie, D. y Cruz-Suárez, L.E. (Eds.) *Avances en Nutrición Acuicola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. La Paz, B.C.S., México. pp 327-348
- Panorama Acuicola Magazine. 2009. *Artículos y entrevistas de junio 2009*. http://www.panoramaacuicola.com/articulos_y_entrevistas.html?fecha=2009-06 (Consultada el 8 noviembre de 2011).
- Pastor-Cavada E., Drago S.R., González R.J., Juan R., Pastor J.E., Alaiz M. y J. Vioque J. 2011. Effects of the addition of wild legumes (*Lathyrus annuus* and *Lathyrus clymenum*) on the physical and nutritional properties of extruded products based on whole corn and brown rice. *Food Chemistry*. 128: 961-967.
- Pereira-Filho M., Castagnolli, N. y A. Storti-Filho. 1994. Efeito de diferentes níveis de proteína e de fibra bruta na alimentação de juvenis de matrinxã (*Brycon cephalus*). *Acta Amazonica*. 24 (3-4): 1-8.
- Pinto, L.G.Q., Pezzato, L.E., Miranda, E.C., Barros, M.M. y W.M. Furuya. 2000. Ação do tanino na digestibilidade de dietas pela tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum*. 22: 677-681.
- Reddy N. R., Pierson, M. D., Sathe, S. K. y D.K. Salunkhe. 1989. *Phytates in cereals and legumes*. CRC Press. Boca Raton, EE UU. 152 pp.
- Reichert R.D., Fleming, S.E. y D.J. Schwab. 1980. Tannin deactivation and Nutritional Improvement of Sorghum by Anaerobic Storage of H₂O-, HCL-, or NaOH- Trated Grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 28 (4): 824-829.
- Refstie, S., Førde-Skjærvik, O., Rosenlund, G. y K.A. Rørvik. 2006. Feed intake, growth, and utilisation of macronutrients and amino acids by 1- and 2-year old Atlantic cod (*Gadus morhua*) fed standard or bioprocessed soybean meal. *Aquaculture*. 279-291.
- Reyes-Moreno C., Cuevas-Rodríguez E.O., Milán-Carrillo J., Cárdenas-Valenzuela, O.G. y J. Barrón-Hoyos. 2004. Solid state fermentation process for producing chickpea (*Cicer arietinum* L) tempe flour. Physicochemical and nutritional characteristic of the product. *J SCI Food Agric*. 84:271-278.
- Romarheim O.H., Skrede, A., Gao, Y., Kroghdahl, A., Denstadli, V., Lilleeng, E. y T. Storebakken. 2006. Comparison of white flakes and toasted soybean meal partly replacing fish

- meal as protein source in extruded feed for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 256: 354–364.
- Ruby S. M., Idler, D. R. y Y.P. So. 1986. The effect of sublethal cyanide exposure on plasma vitellogenin levels in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) during early vitellogenesis. *Arch. Environmental Contaminant Toxicology*. 15: 603-607.
- Rumsey G.L., Hughes, S.G. y R.A. Winfree. 1993. Chemical and nutritional evaluation of soy protein preparations as primary nitrogen sources of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animal Feed Science Technology*. 40: 135-151.
- Russell, P., Davies, S., Gouveia, A. y A. Tekinay. 2001. Influence of dietary starch source on liver morphology in juvenile cultured European sea bass (*Dicentrarchus Labrax L.*). *Aquaculture*. 32: 306-314.
- Sangalli A., Vieira M. C. y N.A.H. Zárate. 2004. Resíduos orgânicos e nitrogênio na produção de biomassa da capuchinha (*Tropaeolum majus L.*) *Jewel. Cien Agrot.* 28: 831-839.
- Santiago C.B., Aldaba, M.B., Laron, M.A. y O.S. Reyes. 1988. Reproductive performance and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodstock fed diets containing (*Leucaena leucocephala*) leaf meal. *Aquaculture*. 70: 53–61.
- Sanz F. 2002. La alimentación en piscicultura. Trouw España S.A. Burgos. XVII curso de especialización FEDNA. 2002. http://www.produccionbovina.com.ar/produccion_pesces/piscicultura/49-alimentacion.pdf (Consultada el 14 septiembre de 2011).
- Shiau S.Y., Yu, H.L., Hwa, S., Chen, S.Y. y S.I. Hsu. 1988. The influence of carboxymethylcellulose on growth, digestion, gastric emptying time and body composition on tilapia. *Aquaculture*. 70: 345-354.
- Shiau S.Y. y C.C. Kwok. 1989. Effects of cellulose, agar, carrageenan, guar gum and carboxymethylcellulose on tilapia growth. *World Aquaculture*. 20 (2): 60.
- Shimei L. y L. Luo. 2011. Effects of different levels of soybean meal inclusion in replacement for fish meal on growth, digestive enzymes and transaminase activities in practical diets for juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. *Animal Feed Science and Technology*. 168: 80-87
- Sintayehu A., Mathies, E. y K.H. Meyer-burfdorff. 1996. Apparent digestibilities and growth experiments with tilapia (*Oreochromis niloticus*) feed soybean meal, cottonseed meal and sunflower seed meal. *J. Appl. Ichthyol. Z. Angew. Ichthyol.* 12: 125-130.
- Teshima S., Kanazawa, A. y S. Koshio. 1987. *Effect of feeding rate, fish size and dietary protein and cellulose levels on the growth of Tilapia nilotica*. Memorial of the Faculty of Fisheries Kagoshima University. 36: 7-15.
- Tiril S.U., Karayucel, I., Alagil, F., Dernekbasi, S. y F.B. Yagci. 2009. Evaluation of extruded chickpea, common bean and red lentil meals as protein source in diets for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Anim. Vet. Adv.* 8: 2079–2086.

- Vandenberg G.W., Scott S.L. y J. De la Noüe. 2012. Factors affecting nutrient digestibility in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed a plant protein-based diet supplemented with microbial phytase. *Aquaculture Nutrition*. 18: 369–379.
- Vielma J., Lall, S.P., Koskela, J., Schöner, F-J. y P. Mattila. 1998. Effects of dietary phytase and cholecalciferol on phosphorus bioavailability in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 163: 309-323.
- Wilson R.P. y W.E. Poe. 1985. Effects of feeding soybean meal with varying trypsin inhibitor activities on growth of fingerling channel catfish. *Aquaculture*. 46: 19-25.
- Yanar M., Erçen, Z., Hunt, Ö.A. y H.M. Büyükçapar. 2008. The use of alfalfa, *Medicago sativa* as a natural carotenoid source in diets of goldfish, *Carassius auratus*. *Aquaculture*. 284 (1-4): 196–200.
- Young W.Y., Takeuchi, T. y T. Watanabe. 1989. Relationship between digestible energy contents and optimum energy to protein ratio in *Oreochromis niloticus* diets. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*. 55: 869-873.