



Biotecnia

E-ISSN: 1665-1456

biotecnia@ciencias.uson.mx

Universidad de Sonora

México

Méndez-Martínez, Yuniel; Pérez-Tamames, Yilian; Reyes Pérez, Juan José; Puente Jimenez, Veronica Dayana

Azolla sp., UN ALIMENTO DE ALTO VALOR NUTRICIONAL PARA LA ACUICULTURA

Biotecnia, vol. 20, núm. 1, enero-abril, 2018, pp. 32-40

Universidad de Sonora

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=672971085006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



# Azolla sp., UN ALIMENTO DE ALTO VALOR NUTRICIONAL PARA LA ACUICULTURA

*Azolla sp.*, A HIGH NUTRITIONAL VALUE FOOD FOR AQUACULTURE

**Yuniel Méndez-Martínez<sup>1\*</sup>, Yilian Pérez-Tamames<sup>2</sup>, Juan José Reyes Pérez<sup>3</sup>, Verónica Dayana Puente Jiménez<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo - Los Ríos, Ecuador.

<sup>2</sup> Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Granma, Bayamo, Granma, Cuba.

<sup>3</sup> Universidad Técnica de Cotopaxi. Extensión La Maná. La Maná, Ecuador.

## RESUMEN

En la acuicultura el incremento de los precios de los alimentos, irregularidad en el suministro y escasez de los mismos, constituyen nuevos riesgos que pueden poner en peligro el funcionamiento de este sector. La demanda de piensos acuícolas mantendrá su escalada y por lo tanto, lo mismo sucederá con la harina de pescado dado a que es el insumo más requerido por su alto valor proteico. En este sentido existen los productos locales reconocidos como alimentos no convencionales tal es el caso de las plantas acuáticas (*Azolla sp.*), las cuales no son de uso universal en la alimentación animal, pero bien utilizados pueden llegar a ser un elemento importante en los sistemas sustentables de producción, en virtud de su bajo costo, reconociendo además que algunos de ellos al acumularse en sitios fijos pueden convertirse en elementos contaminantes del ambiente.

**Palabras claves:** rendimiento, biomasa, composición química, nutrientes, helecho de agua.

## ABSTRACT

In aquaculture the increase in feed prices, supply irregularities and shortage of feed, constitute new risks that may jeopardize the functioning of this sector. The demand of aquaculture feeds will continue to rise and therefore, the same will happen with fish meal, since it is the most required ingredient due to its high protein value. In this respect, there are local products such as aquatic plants (*Azolla sp.*) recognized as non-conventional foods, since are not universally used in animal feeding, but can be used as an important element in sustainable production systems, given its low costs, and also considering that some when accumulated in fixed sites can become polluting elements of the environment.

**Key-words:** performance, biomass, chemical composition, nutrients, water fern.

## INTRODUCCIÓN

A escala mundial la acuicultura es una actividad que en los últimos años ha mostrado un notable crecimiento (FAO, 2016; Méndez-Martínez et al., 2017). Esta situación ha generado un incremento en la búsqueda de alimentos balanceados y un interés creciente en la búsqueda de nuevos ingredientes no convencionales con el fin de elevar el

rendimiento, la calidad de las mismas y que permitan ofrecer al consumidor un producto con valor agregado (Casas et al., 2006).

La búsqueda de alimento alternativo para la producción en el campo agropecuario enfatizando como renglón principal la utilización de recursos naturales disponibles constituye un aspecto importante; uno de los mayores desafíos ha sido el de encontrar fuentes de proteínas de fácil adquisición (Tacon y Metian, 2015).

En este sentido existen los productos locales como las plantas acuáticas llamados alimentos no convencionales, los cuales no son de uso universal en la alimentación animal, pero bien utilizados pueden llegar a ser un elemento importante en los sistemas sustentables de producción, en virtud de su bajo costo, reconociendo que algunos de ellos en sitios fijos pueden convertirse en elementos contaminantes del ambiente (Sarría, 1997). Las macrofitas acuáticas han sido consideradas por varios autores como una plaga debido a su rápido crecimiento que en ocasiones llegan a invadir lagunas y ocasionan varios problemas (Esminger, 1995). Sin embargo, si se maneja adecuadamente su poder de proliferación, su capacidad de absorción de nutrientes y la bioacumulación de otros compuestos del agua las convierten en una herramienta útil en el tratamiento de aguas residuales. En el mundo y en particular en Asia, los granjeros producen y cosechan plantas acuáticas para diferentes propósitos, los que incluyen, abonos verdes y fuente de alimento animal (Becerra, 1991; Islam y Nishibori, 2017).

Manifiestan diversos autores (Carrillo et al., 2000; Parashuramulu et al. 2013), que en la acuicultura uno de los factores limitantes es la obtención y producción de alimentos que cubran todos los requerimientos para la especie de cultivo y que estos resulten costeables.

Se hace señalar que los alimentos constituyen un factor decisivo para el éxito de esta actividad y representan del 50 – 70% del costo total de producción en cualquier cultivo de organismos acuáticos; resaltando el alto porcentaje de harina de pescado que contienen. Este insumo, aparece como limitante tanto por su elevado costo como por su disminución mundial, ya que los stocks pesqueros han alcanzado prácticamente su límite de máxima captura, sumado a esto el incremento en la demanda de la creciente acuicultura y la competencia con los organismos terrestres, trayendo

\*Autor para correspondencia: Yuniel Méndez-Martínez  
Correo electrónico: ymendezmartinez@gmail.com

Recibido: 21 de mayo de 2017

Aceptado: 16 de septiembre de 2017

consigo que se dediquen esfuerzos para buscar fuentes alternas de proteínas no convencionales.

## DESARROLLO

### Principales características botánicas y morfológicas

*Azolla* sp. corresponde a diminutos helechos acuáticos, que flotan libremente en la superficie del agua, y que se hallan diseminados por todas las regiones tropicales y subtropicales (Cross, 1999).

El género *Azolla* taxonómicamente pertenece a la familia Azollaceas (Lumpkin y Plucknett, 1982<sup>a</sup>). Con nombre común se le conoce a la *Azolla*, como "helecho de agua", "helecho flotante", "doradilla", "yerba del agua". En inglés se refieren a ella como "fairy moss", "carolina mosquito-fern", o "eastern mosquito-fern". Esta macrofita está compuesta por multitud de hojas pequeñas bilobuladas (fondees) de 2–4 mm, pero juntas consiguen una planta de gran extensión, en estas hojitas el color oscila, entre rojo y púrpura a pleno sol y de verde pálido a verde azulado en las zonas de sombra. Las diminutas plantitas de aproximadamente 1-2 cm, constan de gran cantidad de hojitas, dispersas en forma imbricada alrededor de un tallo (Lumpkin y Plucknett, 1982<sup>a</sup>).

Consta de tallos profusamente ramificados que poseen raíces que cuelgan hacia abajo en el agua las raíces son auténticas, surgen de forma endógena con pelos radicales. Presenta esporocarpios que se forman en grupos de dos o cuatro en la axila del lóbulo dorsal de la hoja basal de cada rama. Los tallos están recubiertos de hojas bilobuladas alternas, cada una de las cuales consta de un lóbulo ventral aclorofílico sumergido y otro lóbulo dorsal clorofílico que contiene cavidades con el alga *Anabaena*, dado a que vive en simbiosis con un alga helecho, existiendo filamentos apenas visibles de algas azul-verdes, *Anabaena Azollae* (Lumpkin y Plucknett, 1982<sup>b</sup>).

Esta alga almacena el nitrógeno del aire y lo intercambia con el helecho, de modo que estas algas simbiontes suministran nitrógeno a la planta. Aun así, algunos factores ambientales tales como las condiciones del suelo, del agua y las técnicas de cultivo, influyen de una forma importante en el contenido de nutrientes de la *Azolla* (Naegel, 1998). Es una especie catalogada como invasora, sin embargo, su simbiosis con *Cyanophyta* les da un gran valor agronómico como fijadora de nitrógeno atmosférico, muy usada como abono verde y forraje. Pues presenta un mayor potencial de fijación de nitrógeno que la asociación Rhizobiun-Leguminosa (Quintero y Ferrero, 2000).

La forma de propagación se da por reproducción sexual, a través de esporas, como es propio de los helechos y también asexual, a través de pequeños fragmentos de la planta, ocurriendo división espontánea (brote lateral) de las plantas (Ballesteros, 2011).

Pérez (2009), describieron a la *Azolla* como una planta de gran capacidad de propagación y crecimiento, de tamaño pequeño, que en condiciones óptimas de nutrientes es capaz de alcanzar gran volumen de producción.

La *Azolla* aunque es nativa de Asia y África se halla

ampliamente distribuida en zonas templadas y tropicales, presentando un amplio crecimiento en hábitat creciendo en lagunas, canales, campos inundados y otros cuerpos de agua (Quintero y Ferrero, 2000).

Se puede apreciar que un número creciente de los trabajos se encaminan hacia la esfera medioambiental por la propiedad que tiene la *Azolla* para descontaminar las aguas y a su vez señalan que constituye una fuente de alimento barato para especies acuáticas y otras (González, 2004).

### Rendimiento y producción de biomasa

Las plantas acuáticas, muchas veces consideradas como verdaderos estorbos en los ríos y lagunas por su rápida propagación en los países tropicales, son cosechadas por su alta producción de biomasa (González, 2004).

También este helecho de agua presenta una alta capacidad de acumulación de nutrientes, teniendo un rendimiento en (mg/m<sup>2</sup>/día) de nitrógeno de 155–250 y de fósforo de 60–75 (Van Hove, 1989; Domínguez, 1997).

Este helecho, se multiplica generalmente de forma vegetativa y puede duplicar su biomasa en cuatro días, sin embargo, también existe conocimiento sobre el proceso de esporulación de esta planta (Lumpkin y Plucknett, 1982<sup>b</sup>); estas en el cursar de los años han mostrado un nivel de producción superior a los demás organismos acuáticos.

Es muy común encontrar estos helechos flotantes en los arrozales (Lumpkin y Plucknett, 1982<sup>b</sup>). De hecho la *Azolla* constituye un subsistema dentro del sistema integrado de cultivo de arroz y peces en lugares como el sur de China, Vietnam y Filipinas (Cagauan y Pullin, 1994). Las plantas acuáticas son alternativas que en el trópico se presenta para el desarrollo de sistemas apropiados de producción rentable desde el punto ambiental, económico y humano (González et al., 2008).

El desarrollo de sistemas sencillos para el cultivo de la *Azolla* sp. es una necesidad para lograr mayor eficiencia en los sistemas de producción integrado, donde el reciclaje es el principio fundamental, ya que un producto (residuo) con bajo valor nutritivo es transformado en energía (gas para diferentes usos en el sistema) y nutrientes (proteínas de alta calidad) para la alimentación animal, extrayendo todos los nutrientes que se encuentran en exceso y transformándola en biomasa fresca, por lo que la tecnología de reciclaje y protección del medio ambiente permite una recuperación considerable de proteínas (Pablos, 2000).

El factor limitante que más importa para la multiplicación de la *Azolla* lo es el tenor de fósforo en el medio acuático, que se hace más serio precisamente en los arrozales, donde el pH relativamente bajo del agua hace menos disponible el fósforo existente sin embargo en hábitats con deficiencia en nitrógeno muestra un buen crecimiento (Quintero y Ferrero, 2000).

Expresa Lumpkin y Plucknett (1982<sup>a</sup>) que la *Azolla* no requiere altas concentraciones de nitrógeno pero si presenta exigencias de fósforo del orden de 0.7 g de P/m<sup>2</sup>/semana para condiciones medias de crecimiento.

En datos informados por Becerra *et al.* (1990) relativos al rendimiento para *Azolla filiculoides* cultivada específicamente para un experimento de alimentación porcina que se sembró *Azolla* en estanques con 40 cm de profundidad, fertilizados con pollinaza a razón de 10 g/m<sup>2</sup> por día, reponiendo diariamente con agua fresca el 5% del volumen del estanque para compensar la evaporación en el lugar; se cosecho *Azolla* con un contenido de proteína de 23% en base seca y un rendimiento estimado de 39 t MS/ha por año, lo que equivaldría a la producción de 9 t de proteína/ha considerado como un valor alto. Sin embargo, el rendimiento anual de *Azolla* en crecimiento en canales de irrigación en China revelo resultados de 150 – 187 t / ha según Caraballo y Sanchez (2004).

Esta planta tiene un potencial de mantener una tasa de crecimiento exponencial en condiciones óptimas. En condiciones ideales de laboratorio y en el xitutron se han obtenido tasa de crecimiento relativas que van de 0.36– 0.39 y 0.277 g/días. Una hectárea de *Azolla* es capaz de producir de 1–2t de forraje fresco por días, equivalente a 10–30 kg de proteína/ día. Se señala que en un mes 1ha de *Azolla* produce de 6–8t de MS con 540 – 720 kg de proteína cruda y alrededor de 100 – 1564 kg de N/ha/año (Peña, 2000).

La tasa de crecimiento del helecho varía según Peña (2000) de acuerdo al porcentaje de la radiación solar y a la aplicación de fósforo. Presenta un consumo de fósforo requerido para su crecimiento normal y la fijación de nitrógeno para obtener la máxima tasa relativa de crecimiento medio de 44.5 g m<sup>2</sup>/día de Materia Fresca.

De este helecho se obtuvo en condiciones de invernadero un rendimiento de 30.9 – 69.10 g m<sup>2</sup>/ día de Materia Fresca. También se manifiesta que se puede observar que a medida que se incrementa la concentración de fósforo en la solución nutritiva para la *Azolla* se incrementa la producción de biomasa de la misma manera que se eleva la actividad de la enzima nitrogenada producida por la cianobacteria. La actividad de la enzima nitrogenada se ve afectada por la madurez de la planta y la edad de cada fronda y es fácil cuantitativamente por el oxígeno (Quintero y Ferrero, 2000; Bhaskaran y Kannapan, 2015).

Además, la producción está influenciada por la temperatura, la carga y el balance de los nutrientes, esta planta requiere para su normal desarrollo y producción de un pH entre 6.5 y 7.5 con óptimas condiciones de luz solar, temperatura entre 21 y 28 °C, contando con disponibilidad de nutrientes, teniendo en cuenta además una adecuada protección contra las corrientes de agua o de viento, siendo capaz de duplicar su biomasa en 48 horas y lograr una óptima composición química (Domínguez y Ly, 1997).

En estudios realizados por Dolberg *et al.* (1981), determinaron que esta planta en condiciones de total exposición al sol y otros factores ambientales; cesa su crecimiento y desarrollo cuando la temperatura está superior a 40 °C, reportando valores de rendimiento en aguas fertilizadas de 168 t / ha / año.

Puede adaptarse a temperaturas de 5 – 28 °C, únicamente temperaturas superiores a 29–30 °C pueden afectarle.

Pese a ser una planta usada en exteriores no soporta aguas muy frías, por lo que se puede perder si se mantiene en estanques al aire libre en zonas heladas. En estos casos es aconsejable preservar una parte en un recipiente en el interior y volver a introducir la planta al estanque en primavera. En acuario no presenta problemas de temperatura pues soporta un rango bastante amplio como para no ser un factor determinante. Además es tolerante a las bajas temperaturas y más resistente que otras plantas acuáticas al estrés por disponibilidad de nutrientes, sequía, plagas y enfermedades (Zhong-Zhu, 1996).

Suele crecer vertiginosamente en aguas frescas, tranquilas o de poco movimiento en muchas partes del mundo, es bastante tolerante, siempre que no se den cambios bruscos. No presenta problemas con respecto a la luz, adaptándose a condiciones de estanque a pleno sol o en acuario bajo un potente HQI, o bien en la sombra. Su coloración suele variar, pues con iluminación intensa su color se muestra más rojo, mientras que es verde-azulada en condiciones de poca luz. También se plantea que necesita suficiente luz para poder existir, por lo menos 10 horas diarias (Cross, 1999).

Para la producción del helecho y lenteja de agua se necesita de un pequeño canal, estrecho, con dimensiones de 2 a 4 metros de aproximadamente 30 a 40 cm de profundidad y con acceso a una fuente de residuales, preferiblemente porcinos. El largo del canal debiera guardar relación con el número de cerdos en la nave. Como regla general, un cerdo excreta incluyendo el agua de baldeo, entre 30 y 40 litros por día con un canal de 2 metros de largo/cerdo (Pérez, 1997).

Es importante que alrededor del talud se siembren plantas que realicen la función de cortina rompe vientos debido a que el viento es un factor negativo para la producción de estas macrófitas provocando su amontonamiento en la orilla y por consiguiente gran parte de la biomasa mueren por falta de nutrientes. Estas plantas manifiestan un crecimiento relativamente alto, teniendo la capacidad de duplicar su peso cada 2 ó 3 días (Valdés, 1996).

Leng *et al.* (1995), señalan que se pueden cosechar diariamente o cada 2 días, pues su capacidad de recuperación está en función de la cantidad de plantas (semillas o inóculos) que se dejan en la superficie del estanque. Esta planta al igual que otras macrófitas acuáticas puede ser cosechada por métodos manuales o mecánicos. En Asia, la compañía Lemna Corporation diseñó rejillas de plástico que flotan en las lagunas con macrófitas acuáticas, para facilitar la recolección de la planta por medio de maquinaria (Cave, 2001).

La *Azolla* al igual que otras plantas acuáticas presentan un ciclo de cosecha de 3 a 7 días y se deja como semilla para iniciar el próximo cultivo el 25% en el espejo de agua, la forma más común de cosecha es la manual (Sarria, 1997).

En condiciones naturales las plantas acuáticas son capaces de adaptarse a una gran variedad de condiciones ambientales, mediante cambios fisiológicos, morfológicos y bioquímicos, resultando la intensidad luminosa el primer elemento a influir en la composición de los pigmentos de las plantas (Artetxe, 1999).

Experiencias obtenidas en Vietnam refieren que en los espejos de agua donde la *Lemna* y *Azolla* es cultivada comercialmente existe un flujo permanente de nutrientes en el medio, derivados de aguas residuales, aspecto que le confiere un carácter sostenible al flujo productivo, excepto en la parte central del país donde influye un clima seco, motivando que el nivel de agua en canales y estanques disminuya en estrecha relación con el aumento de la temperatura del agua (Nguyen Duc Anh, 1997). Agricultores de Bangladesh dedicados al cultivo intensivo de plantas acuáticas como alimentos para peces refieren afectaciones en los cultivos debido a las intensas sequías.

Van Hove (1989), se refiere al rendimiento de carne de cerdo que se puede obtener con la utilización de *Azolla* como único elemento proteico en la dieta, siendo capaz de producir 100 kg de planta fresca, 1 kg de carne de cerdo. Además, que es posible obtener en 1000 m<sup>2</sup> una producción de *Azolla* fresca de 100 – 200 kg, sirviendo esta cantidad para alimentar de 30 a 60 animales.

La producción de plantas acuáticas muestra una aparente estacionalidad, con algunos períodos de alta producción que supera las cantidades requeridas por los animales, por lo cual se debe avanzar en el conocimiento de factores bióticos o abióticos y de manejo, que puedan afectar la producción de estos recursos, para garantizar una mayor estabilidad del proceso productivo. Los valores de rendimiento reportados hasta la fecha estriban entre las 5 y 168 t/MS/ha/año (Pablos, 2000; González, 2004).

Molinet y Domínguez (2006), evaluaron varias plantas acuáticas y obtuvieron un valor máximo de la tasa de crecimiento del cultivo de *Azolla* de 3.7–4.0 g/MS/m<sup>2</sup>/día y la máxima tasa de crecimiento de este cultivo (Base Seca) fue medido y obtuvieron entre 1.0 – 1.89 kg/m<sup>2</sup>.

Por otra parte, Taheruzzaman y Prosad (1988), alcanzaron en las aguas contaminadas del río Ganga una producción de materia seca promedio de 1.84 g/m<sup>2</sup>/día considerada como alta. Godard et al. (1993) obtuvieron en condiciones de laboratorio un valor promedio de 58 g/m<sup>2</sup>/día, con un mínimo de 9 g/m<sup>2</sup>/día; Molinet y Domínguez (2006) cultivando la *Azolla*, en ambos sistemas antes mencionados lograron biomassas máximas muy similares: ello equivaldría a una producción anual de 26.0 t/MS/ha. Esto es superior a lo indicado por Taheruzzaman y Prosad (1988) para la *Azolla* cultivada en el río Ganga con una producción de 6.73 t/MS/Ha/año.

El manejo del cultivo de las plantas acuáticas (*Azolla*) se conoce desde hace tiempo, se manifiesta que poseen un potencial productivo y un tiempo para duplicar la proteína en biomasa celular bastante aceptable de 67 – 120h y 9 – 16 t/ha/año (Pinto, 2000).

Es recomendable la utilización y extensión de cualquiera de los sistemas de plantas acuáticas estudiados para la producción de alimento de alto valor proteico con la siguiente descontaminación de los residuales provenientes de instalaciones porcinas (González, 2004).

## Composición química y digestibilidad

La composición química de esta planta, depende del balance de nutrientes en la columna de agua y del manejo del cultivo para lograr una óptima composición. Se ha demostrado que a medida que el cultivo de *Azolla* envejece, el contenido de lignina se incrementa desde 3 a 24% y aunque la concentración de nitrógeno permanece prácticamente constante. Aumenta el nitrógeno asociado a la fibra y por tanto la digestibilidad de la materia seca y el nitrógeno disminuye significativamente (Saline, 2006).

En esta misma dirección Leng et al., (1995), observaron que el contenido de fibra y cenizas es mayor y la concentración de nitrógeno menor en colonias de *Azolla* con crecimiento lento. Cuando se asegura un nivel de fertilización a concentraciones de 15 mg N/L y 0,2–6,1 mg P/L se logran concentraciones de proteína bruta y fibra de 40 – 43% y 5%, respectivamente. La composición de *Azolla* en condiciones medias de crecimiento de Índice (% MS) es de Materia seca 6.5%, Nitrógeno 4.5, Proteína Bruta 33%, Fibra 9.2%, Fósforo 0.49%.

La *Azolla* presenta ciertas ventajas ya que su relación simbiótica con la cianobacteria endofítica *Anabaena azollae*. Según Becerra (1991) la *Anabaena* puede suplir todo el requerimiento del nitrógeno de la *Azolla*, inclusive a ritmos de crecimiento de 33% por día.

La *Azolla* se caracteriza por su riqueza en proteína cruda y cenizas, debe esperarse que sea rica en fracciones de fibra, aunque no se considera que la pared celular esté lignificada de la misma manera que en las plantas terrestres, donde es necesario poseer estructuras rígidas de sostén. Debido a su simbiosis con la *Anabaena azollae*, debe esperarse que el contenido de N en el medio acuático tenga poco efecto en el contenido proteico de la *Azolla*, que más bien es sensible al nivel de fósforo en el agua. Debido a eso expresa Castillo (2006), que en condiciones donde el medio no sea pobre en fosfatos, la *Azolla* suele contener más N que la *Lemna* en condiciones de un hábitat natural que no esté enriquecido con N.

Según datos filipinos en cuanto a la composición química composición de *Azolla* en por ciento en base seca es la siguiente: Cenizas: 21,12, Fibra cruda: 12,38, Extracto etéreo: 0,78, Proteína cruda: 30,03, Energía bruta, kJ/g MS: 17,77, Caroteno, mg/kg: 421, Xantofilas mg/kg: 2808 (Castillo, 1983).

Diferentes autores (Tacon, 1989; Becerra et al., 1995; Bhaskaran y Kannapan, 2015), reportaron valores de 25 –33% de proteína bruta en la materia seca para la *Azolla*, alrededor de 28% proteína bruta lograron Garcia et al. (1996). Por otro lado Becerra et al. (1994) y Leng et al., (1995) mostraron que la *Azolla* presenta un adecuado balance aminoácídico lo que posibilita su empleo en la alimentación de peces y crustáceos.

Otros autores manifiestan que la *Azolla* sp. aparece ser una fuente de aminoácidos pues al ácido aspártico y glutámico representa más del 60% de los aminoácidos no esenciales.

En cuanto a los minerales y ácidos grasos la *Azolla* sp. es rica en estos según Peña (2000) comportándose esta planta de la siguiente manera:

**Tabla 1.** Minerales y ácidos grasos en la Azolla.  
**Table 1.** Minerals and fatty acids in Azolla.

Ingredientes Minerales	%
Nitrógeno peso fresco	4.0–5.0
Nitrógeno peso seco	0.2–0.3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.5–0.4
Ca	0.4–1.0
K <sub>2</sub> O	2.0–4.5
Mg	0.5–0.65
Fe	0.6–0.22
Ácidos grasos%	
Mirístico	0.96
Palmítico	23.13
Estiárico	34.69
Oleico	36.39
Linóleico	2.76

Según Castillo (1983), tal vez uno de los aspectos que deben llamar más la atención, es que esta al igual que otras macrófitas parece contener un nivel relativamente bajo de metionina, lo que debe tenerse en cuenta si la proteína de estas plantas contribuye con una alta proporción al alimento de los animales. Destacándose además el contenido relativamente alto de triptófano en la *Azolla* (0.44%). Como es sabido, este es otro aspecto importante a tener en cuenta, sobre todo cuando se manipulan alimentos no convencionales, cuya composición química no es muy conocida. En este sentido, llamar la atención sobre la necesidad de conocer el contenido de ciertos aminoácidos, como todos los azufrados, y el triptófano, no es ocioso.

Desde el punto de vista de la digestibilidad boca-recto de dietas contentivas de niveles variables de *harina de Azolla*, Alcantara y Querubin (1989), informaron no hallar diferencias de importancia en los índices digestivos de cerdos que se alimentaron con estas dietas después del destete o en el llamado período de crecimiento, en donde se sustituyó el arroz por harina de *Azolla*.

Otros estudios in vivo de digestibilidad han implicado el uso de animales intactos o preparados quirúrgicamente con una anastomosis ileorrectal, con el fin de determinar la digestibilidad ileal de distintas macrófitas, tales como la *Azolla*, la *Lemna* y el Jacinto de agua en los que se han alcanzado resultados satisfactorios (Domínguez et al., 1996; Domínguez y Ly, 1997).

Domínguez y Ly (1997) utilizaron cerdos en crecimiento intactos alimentados con distintos niveles de *harina de Azolla*, para determinar la digestibilidad de nutrientes y el balance de N y energía. En este estudio se encontró que la incorporación de 19% de *harina de Azolla* en la dieta determinó que el 45% del N dietético proviniera de esta planta acuática.

Evidentemente, un nivel considerable de esta macrofita en la comida hizo que descendieran los valores del balance de N y energía, muy probablemente debido al contenido de pared celular y de minerales de este helecho acuático. Por otra parte, la digestibilidad hallada fue comparable a la de la alfalfa.

En otro estudio, se determinó la digestibilidad ileal de dietas que contenían niveles variables (0, 10 y 20%) de harina de jacinto de agua, *Lemna* y *Azolla*. De acuerdo con esta información, la digestibilidad ileal del N y la energía es más favorable con la *Azolla* y la *Lemna*, cuando se comparan sus valores con los del jacinto de agua. El descenso que siempre se observó claro, puede explicarse fundamentalmente porque la inclusión de las macrófitas acuáticas en las dietas implica un aumento en el contenido de ceniza y fibra, que hacen las dietas más indigestibles mientras más de estos dos principios estén incluidos en las mismas (Domínguez et al., 1996).

En el experimento de Domínguez et al. (1996), se encontró que la digestibilidad in vivo del N, ileal, fue mejor para la harina de *Azolla* (64.9%), y peor para la harina de jacinto de agua (16.2%). Al mismo tiempo se halló una correspondencia efectiva entre estos datos de digestibilidad in vivo y los de digestibilidad in vitro del N, hechos con incubaciones de las muestras con pepsina y pancreatina.

Con respecto a estudios in vitro, se han hecho distintas evaluaciones de la digestibilidad de las macrófitas acuáticas, mediante incubaciones con pepsina y pancreatina, simulando la digestibilidad in vivo en cerdos. Merece destacarse que de las macrófitas acuáticas examinadas, solamente el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) presentó valores considerablemente bajos en el tenor de N de su biomasa (2.31%). Igualmente, los índices de solubilidad fueron comparativamente más bajos que el de las otras plantas acuáticas (4.50%). De estas últimas, las muestras de *Azolla* y *Lemna* presentaron valores de solubilidad de N francamente altos (76.6%) para ser alimentos fibrosos, mientras que la espinaca acuática no pareció destacarse en este sentido (Domínguez y Ly, 1997).

Estudios realizados en Colombia consideran a diversas macrófitas acuáticas con un gran potencial para ser utilizadas en sistemas integrados de producción animal, por las características de su biomasa, con aceptables niveles proteicos y reducidos porcentaje de fibra y lignina.

Las *Azollaceas* pueden sustituir a la harina soya y de pescado y otros alimentos tradicionales para aves ventajosamente, cuando se mezcla en concentraciones superiores al 25%, pues las plantas acuáticas usualmente tienen la ventaja de tener altos niveles de proteína, lo que las diferencia gradualmente de los forrajes tropicales (Chará, 1994).

La harina de *Azolla* y *Lemna* contiene aproximadamente un 21-40% de proteína, comparándose favorablemente con la soya como una valiosa fuente de proteína vegetal (Porathet et al., 1979; Parashuramulu et al., 2013).

Domínguez et al. (1996) estudiaron la digestibilidad ileal de la *Azolla*, *Lemna* y Jacinto de agua encontrando que la digestibilidad ileal fue menos deprimida por la *Azolla* que por el Jacinto de agua al 20 de inclusión en la dieta (79.9% *Azolla*,

76.9% *Lemna* y 73.9% Jacinto de agua) en comparación con la dieta basal (81.1 a 84.2%).

La composición química de la *Azolla* suele variar según el lugar donde crece, el cambio de estación y el contenido de nutrientes del agua (Guillete, 2007).

### **La *Azolla* en la alimentación animal y otros usos**

La *Azolla* es una de las plantas acuáticas que más se han utilizado en la alimentación animal. Posiblemente China y Vietnam son los países donde más se han utilizado las plantas acuáticas en la alimentación animal (Zhung Zhu, 1996) en China y (Niguyen Duc Ach, 1997) en Vietnam, quienes además reconocen que la incorporación de *Azolla* a las raciones para animales como cerdos a razón de 1–4 kg de *Azolla* fresca por día en relación con el peso de los animales disminuye los costos de alimentación en 40%.

Los datos correspondientes al uso de *Azolla* tanto de forma fresca como en harina en experimentos hechos para evaluar rasgos como: Consumo (kg/MS) Ganancia (g/día), Conversión (MS/kg) de comportamiento en cerdos y aves son más numerosos en los cuales se han obtenido resultados muy favorables según lo dicho por Becerra et al. (1990) estos autores expresan que no existe desventaja en los rasgos de comportamiento cuando se suministra a los animales hasta una tercera parte de la dieta en forma de *Azolla*, y lo que es más importante, preparada de distintas formas.

Este helecho mantiene una relación simbiótica con la cianobacteria. Este hecho hace que la *Azolla* tienda a contener niveles relativamente altos de N y ser una fuente proteica atractiva para la alimentación animal, no solamente del ganado y en la avicultura, sino también en especies de acuicultura, en forma fresca (El Sayed, 1992) o seca (Santiago et al., 1988; Ponce y Fitz, 2004). De hecho, existe más información sobre el uso de *Azolla* en alimentación de especies de acuicultura que de otras especies animales (Naegel, 1998) aunque también se han hecho evaluaciones de sistemas integrados de producción de cerdos, patos, peces y *Azolla*.

Con la *Azolla pinnata* Santiago et al. (1988) determinaron que *Oreochromis niloticus* crece bien con niveles de hasta 42% de inclusión de harina de esta macrofita, en dietas con 35% de proteína. Mientras que El-Sayed (1992) observó marcada reducción del crecimiento en la misma especie, al sustituir la proteína animal con este helecho en dietas con 30% de proteína. Al parecer las diferencias están relacionadas con el contenido de proteína y energía en las dietas. Se considera que el valor nutricional de las macrófitas acuáticas es mayor como alimento fresco, pues se ha comprobado que la *Azolla* es un alimento suplementario apropiado para peces herbívoros como la tilapia (*O. niloticus*).

Este helecho acuático es bien aceptada por muchas especies de peces herbívoros. En algunos ensayos se han mostrado que la tilapia nilotica puede consumir 50 – 80% de su peso en *Azolla* por día con un porcentaje de digestión cercano al 60%, cuando se cultiva para peces se deben proveer algunos espacios abiertos en la capa que forma la *Azolla* para que los peces puedan alcanzar la superficie del agua sin ser impedidos por el helecho. También durante los periodos de

crecimiento rápido el exceso del helecho acuático debe de ser removido para evitar situaciones donde el helecho pueda morir y precipitarse hacia el fondo provocándose la posibilidad de la eurotropicación (Bentsen et al., 1996).

Existen nuevas áreas de investigación de producción proteica masiva, en la utilización de plantas halófilas como fuentes alternas, que puedan integrarse a los sistemas de cultivo semintensivo e intensivo comercial de peces, crustáceos marinos y de aguas salobres, utilizando los efluentes cargados de nutrientes, transformándolos en proteínas, aceites y carbohidratos para consumo humano y animal (Lealet et al., 1997).

Plantea Tacon (1989), que este helecho acuático (base seca) puede ser empleado en el alimentación de camarones y peces, dado a que revela un buen valor nutritivo: de proteína cruda 25.3, extracto etéreo 3.8, fibra cruda 9.3 y cenizas 12.5, además por su contenido en aminoácidos esenciales (lisina y metionina) se recomienda su uso en la alimentación humana.

Santiago et al. (1988) y El-Sayed (1992), incluyeron en dietas para tilapia la *Azolla* sp. en un 10% y alcanzaron crecimiento con valores superiores al tratamiento control, sin embargo, cuando incluyeron en dietas la *Azolla* sp. en un 25% alcanzaron crecimiento con valores inferiores al tratamiento control.

Estas plantas acuáticas pueden ser utilizadas como alimento para especies menores debido a que constituyen fuentes proteicas de alto valor nutricional (18 a 32% Proteína Bruta) aunque tienen como deficiencia que son alimentos muy voluminosos por su baja producción de materia seca (5 a 6%) (Bytniewska et al., 1980). Por otra parte, se señala que se ha de tener en cuenta y analizarse los altos contenidos de agua de este alimento, lo que sugiere un tratamiento de secado para disminuir los volúmenes de inclusión o para realizar un ensilaje lo que encarece un tanto el sistema. Por lo expuesto anteriormente se recomienda la posibilidad de un mejor aprovechamiento de estos alimentos en especies menores de granja o en especies acuática, los cuales son promisorios en cuanto a altas producciones de biomasa (Menéndez, 2006).

Se reportan los resultados obtenidos en Bangladesh por Journey y Skillicorn (1993) bajo condiciones experimentales, donde se ha desarrollado un sistema para producir *Azolla* en un estanque central, utilizándola en forma fresca en la alimentación de tilapias en otros estanques cercanos a este. El rendimiento en biomasa fresca es de 4 t/ha/día, equivalente en base seca a 80 t/ha/año. Al utilizar este sistema, en un solo estanque de 0.6 ha, se produjeron en un año 4.5 t de tilapia y se calculó que se pudiera duplicar el rendimiento a 10t/ha/año.

Hernández et al. (1995), utilizando la *Azolla* sp. en la alimentación de peces y aves obtuvieron resultados productivos y una eficiencia económica satisfactoria, demostrando las bondades de esta planta.

Se observó que la *Azolla* en cultivos comerciales de *O. hornorum* y *O. mossambicus* combinada con alimento balan-

ceado demuestra ser adecuada para el crecimiento, tanto a nivel de laboratorio como en estanques rústicos en el estado (Ponce y Fitz, 2004).

Edwards (1990), realizó un experimento donde obtuvo producciones de tilapia de 3,7 t / ha/año a partir de la fertilización de las aguas con excretas y de 13.4 t/ha/año con la adición de *Azolla* como suplemento alimenticio.

Las plantas acuáticas son factibles de utilizarse como sustitutos parciales de los concentrados proteicos que forman parte de las raciones de los camarones, peces y otros animales de granja, sobre todo si se tiene en cuenta el alto costo de los alimentos comerciales. El uso de determinadas plantas acuáticas para la alimentación animal estará en función de las necesidades, requerimientos y calidad de las mismas (González, 2004).

Estas plantas pueden emplearse como forraje para peces y camarones herbívoros o transformarse en harina para incluirse como ingrediente en alimentos balanceados. Las macrófitas se distribuyen mundialmente, encontrándose en casi todos los ambientes y normalmente se consideran como plaga, ya que interfieren con diversas actividades económicas, por lo que sería importante su utilización. También hay que destacar la capacidad de asimilación de los nutrientes por la *Azolla*, está directamente relacionada con la velocidad de crecimiento, la población establecida y la composición del tejido de las plantas. A su vez, esta capacidad de asimilación de nutrientes determina la importancia de la planta como agente fitorremediador de las aguas y como productor de biomasa para la alimentación animal (De Waha et al., 2001). Se ha descrito el uso de *Azolla* para la remoción de nutrientes de las aguas contaminadas y para remover plomo y zinc (Jain et al., 1990). Las lagunas con plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales, se basan en principios ecológicos, en donde los efluentes son tratados eficientemente mediante relaciones mutuas y coordinadas de flujo de energía y nutrientes, entre las plantas acuáticas y los microorganismos degradadores (Shi y Wan, 2000).

Según Duta (2005), la *Azolla* presenta pocos factores antifisiológicos y tienen la capacidad de absorber rápidamente del medio los nutrientes por presentar un sistema radicular con gran cantidad de bacterias asociadas a este, proporcionando una fuente de alimento con un elevado contenido nutritivo y proteico, desarrollan cepas que permiten crecer todo el año, con tal que se den las condiciones de aguas libres y una resistencia a las plagas que la carecen las otras plantas. La resistencia a plagas elimina la necesidad de operaciones con agentes tóxicos, como pesticidas y herbicidas. De Waha et al. (2001) y Caviedes-Rubio et al. (2017), destacan que estas plantas además de intervenir en los procesos físicos de remoción (sedimentación), en los que participan, sirven como sustrato que ayuda a mantener la actividad microbiana, la cual contribuye a la disminución de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), disminuyendo también el contenido de nitrógeno, fósforo, metales pesados y algunos compuestos orgánicos que la planta toma del medio.

## CONCLUSIONES

La *Azolla* sp. se caracteriza por una alta producción en biomasa, así como alto contenido de proteína y un adecuado nivel de fibra bruta, posibilitando su uso en dietas para peces y crustáceos.

## REFERENCIAS

- Alcantara, P.F. y Querubin, L.J. 1982. Feeding value of *Azolla* meal for swine. En: Proceedings of the 21st Convention of the Philippine Society of Animal Science. Philippine.
- Arretxe, J. Comportamiento productivo de la *Lemna* en el tratamiento de aguas residuales porcinas [Consultado 7 Abril 2017] 1999. Disponible en: <http://www.botany.hawaii.edu/faculty/lemn.htm>.
- Ballesteros, J.L. 2011. Determinación de la eficacia de *Azolla caroliniana* como matriz de hiperacumulación de metales pesados cuantificados. Ing. Tesis. Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- Becerra, M., Murgueitio, E., Reyes, G. y Preston, T.R. 1990. *Azolla filiculoides* as practical replacement for traditional protein supplements in diets for growing-finishing pigs based on sugar cane juice. Livestock Research for Rural Development. 2:15-22.
- Becerra, M., Ogle, B. y Preston, T.R. Effect of replacing whole boiled soybeans with *Azolla microphylla* in the diet of growing ducks. [Consultado 7 Abril 2017] 1995. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/LRRD/LRRD7/3/8.HTM>.
- Becerra, M.V. 1991. *Azolla Azolla anabaena*; un recurso valioso para la producción agropecuaria en el trópico. 1-53. Serie de Manuales Técnicos. Cali, Colombia.
- Bentsen, H.B., Gjedrem, T.M. y Dan, N.C. 1996. Breeding plan for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Viet Nam. Report No. 2 INGA, International Network on Genetic in Aquaculture.
- Bhaskaran, S.K. y Kannapan, P. 2015. Nutritional composition of four different species of *Azolla*. European Journal of Experimental Biology. 5:6-12.
- Bytniewska, K. y Maciejewska-Potapczyk, W. 1980. Amino acid composition and biological value of proteins in some aquatic plant species. Biochemieund Physiologieder Pflanzen. 175: 72-75.
- Cagauan, A.G. y Pullin, R.S.V. 1994. *Azolla* in aquaculture: past, present and future. En: Recent Advances in Aquaculture. J.F. Muir y R.J. Roberts, (ed.), pp. 104-130. Blackwell Scientific Limited. Oxford, United Kingdom.
- Caraballo, P. y Sánchez, C. 2004. Macro-invertebrados asociados con *Eichhornia crassipes* en el Embalse de el Guajaro (Atlántico, Colombia). Memorias XXXIX Congreso Nacional de Ciencias Biológicas. Ibagué. Colombia.
- Casas, M., Portillo, G., Aguilera, N., Rodríguez, S., Sánchez, I., y Carrillo, S. 2006. Effect of the marine algae *Sargassum* spp. on the productive parameters and cholesterol content of the brown shrimp. *Farfantepenaeus californiensis*. Revista de Biología Marina y Oceanografía. 41: 97-105.
- Cave, S. 2001. Una revolución verde en los estanques de residuos. Nuestro Planeta, Revista del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 3: 10-11.
- Caviedes-Rubio, D.I., Ricardo-Delgado, D., Olaya-Amaya, A. 2017. Remoción de metales pesados comúnmente generados por la actividad industrial, empleando macrófitas neotropicales.

- Producción + Limpia. 11: 126-149.
- Cross, E. Aquatic macrophytes in the agriculture. [Consultado 5Mayol 2017] 1999. Disponibleen: <http://www.domains.duckweeds.htm>.
- De Waha, B.T, Diara H.F, Watanabe, I., Berther, P. y Van Hove, C. 1991. Assesement and attempt to explain the high performance of *Azolla* in subdesertic tropics. Plantand Soil. 139: 145–149.
- Dolberg, F., Saadullah, M.y Haque, M. 1981. Valor alimenticio de las plantas acuáticas [alimentación de los animales, rumiantes].Producción Animal Tropical.6: 352-356.
- Domínguez, P.L. y Ly, J. 1997. N balance and energy in pigsfedsugar canemolasses and Azolla meal (Azolla spp). Revista Cubana de Ciencia Agricola. 31:69-68.
- Domínguez, P.L., Molinet, Y. y Ly, J. 1996. Ileal and in vitro digestibility in the pig of three floating aquatic macrophytes. Livestock Researchfor Rural Development, 8:37-44.
- Domínguez, Q.H. 2001. Utilización de la Lemnasp. en la alimentación de conejos en la etapa de crecimiento – ceba. Mg.C. Tesis. Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Granma.Bayamo, Cuba.
- Duta, R.K., Saha, N.C. y Panda, N.C., Nagak, B. 2005. Toxyeffectts of feeding easter hyacinth to geast.International Journal of Animal Science 54: 549-597.
- Edwards, P. 1990. Use of terrestrial vegetation and aquatic macrophytes in aquaculture. In: Detritus and microbial ecology in aquaculture. ICLARM. Conf Proc 14. Internat Cent Living Aquat Resour Manag, Manila.
- El Sayed, A.F.M. 1992. Effects of substituting fish meal with *Azolla*pinata in pracial diets for fingerling and adult Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). Aquaculture Fisheries Management. 23:167-173.
- Ensminger, M.E. 1995. Alimento y animal para el siglo XXI. Escuela Agrotécnica Internacional. La Habana, Cuba.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2016) FishStatJa tool for fishery statistics analysis. Release 200 Universal software for fishery statistical time series. Global capture and aquaculture production: Quantities 1950–2014; Aquaculture values 1984–2014 FAO Fisheries Department Fishery Information Data and Statistics Unit Rome.
- Garcia, M.D., Molinet, Y. y Domínguez, P.L. 1996. Algunos aspectos acerca de los sistemas de producción de biomasa acuicola a partir de residuales porcinos. Instituto de Investigaciones Porcina. La Habana.
- Godard, P.J., Lumpkin, T.A. y Van Hove. C. 1993.A Functional Model Model for Optimizing and Comparing the Productivity of *Azolla* Lam. strains. Final Draft to be Submitted to the New Phytologist.
- González, S.R., Romero, C.O., Valdivié, N.M., Ponce, P.J. Estrategias para la utilización de la Harina de *Lemna* en dietas para tilapia. [Consultado 2 Abril 2017] 2008. Disponible en: Disponible en: <http://www.vet-uy.Com/articulos/piscicultura/050/017/pec017.htm>
- González,R. 2004. Empleo de la *Lemna* para la alimentación de la Tilapia Roja. Mg.S, Tesis, Facultad de medicina veterinaria, Universidad de Granma. Cuba.
- Hernández, O., Oliver, C., Lemus, A. y Ramirez, S. 1995. Resultados obtenidos en la utilización de plantas acuáticas en la alimentación de animales monogástricos. Disertación. Seminario Científico Internacional. ICA. La Habana. Cuba.
- Islam M.A.y Nishibori, M. 2017. Use of multivitamin, acidifier and *Azolla* in the diet of broiler chickens. Asian-Australas Journal of Animal Sciences. 00:1-7.
- Jain, S.K., Valsudevan, P. y Jha, N.K. 1990. *Azolla pinnata* R. Br. and *Lemna minor* for removal of lead and cadmium from polluted water. Water Research 24: 177-183.
- Journey, W., Skillicorn, P., Spira, W. 1993. Duckweed aquaculture. A new aquatic farming system for developing countries. The World Bank, Washington D.C.
- Leal, M., Rosa, R., Domínguez, P.L., Molinet, Y. 1997. Una nota sobre la tecnología y construcción para plantas acuáticas. Revista Computarizada Porcina. 4: 60-64.
- Leng, R.A., Stambolie, J.H. y Bell, R. 1995. Duckweed a potential high protein feed resource for domestic animal and fish. Livestock Researchfor Rural Development.7: 1.
- Lumpkin, T.A., y Plucknett, D.C. 1982a. *Azolla*, botany, physiology and use grenanure. Economic Botany. 34:1-11.
- Lumpkin, T.A., y Plucknett, D.L. 1982b. *Azolla* as agree manure: use and management in crop production. Westview Press, C.O.
- Méndez-Martínez, Y., García-Guerrero, M.U. Arcos-Ortega, F.G., Martínez-Córdova, L.R., Yamasaki-Granados, S., Pérez-Rodriguez, J.C., y Cortés-Jacinto, E. 2017. Effect of dietary proteinand lipid levels and protein-energy ratio on growth, feed utilization, bodycomposition, digestive enzymes, histology hepatopancreas and hematology of juvenile caque riverprawn,*Macrobrachiumamericanum*(Bate, 1968). Aquaculture. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.11.012
- Molinet, Y. y Domínguez, P.L. 1996. Producción de biomasa en tres sistemas de serie de plantas acuáticas fertilizadas con residual porcino. Revista Computarizada de Producción Porcina. 3: 21-27.
- Naegel, L.C.A. 1998. Evaluation of three *Azolla* varieties as a possible feed ingredientfor tilapias. Animal Research and Development. 48:31–42.
- Nguyen Duc Anh. 1997. Bioaccumulation of selected heavy metals by the water fern, *Azolla filiculoides*: Lam.water fern S.A
- Pablos, H. J. 2000. Nutritive value of acuatic plants for chiks. Poultry Science. 55:1917–1921.
- Parashuramulu, S., Swain P.S.y Nagalakshmi, D. 2013. protein fractionation and in vitro digestibility of *Azolla* in ruminants. 3: 129-132.
- Pérez, L.E. 2009. Selección de plantasacuáticas para establecer humedales en el estado de Durango. Ph.D. Tesis. Centro de Investigación de Materiales Avanzados. Chihuahua.
- Pérez, R. 1997. Alimentación de cerdos con recursos locales. Técnicas agropecuarias para el asentamiento ecológico del MINAZ. La Habana, Cuba.
- Pinto, S.L. 2000. Producción de las plantas acuáticas *Lemna minor* y *Azolla filiculoides* y su uso conjuntamente con la harina de pescado en raciones para cerdos. Ing. Tesis UCV. Maracay.Venezuela.
- Ponce, J. T. y Fitz, M. 2004. *Azolla mexicana* y *Lemna* sp. como alimentos suplementarios en el policultivo de juveniles de tilapia (*Oreochromis hornorum*) y carpa barrigona (*C. C. rubrofuscus*) bajo condiciones semicontroladas. PhD. Disertación en: I Congreso Nacional de Acuacultura SEPESCA, Pachuca, Hidalgo. México.
- Porath, D., Hepher, B. yKoton, A. 1979. Duckweed as an aquatic crop: evaluation of clones for aquaculture. Aquatic Botany. 7: 273-278.

Santiago, C.B., Aldaba, M.B., Reyes, O.S. y Laron, M.A. 1988. Response of Nile tilapia (*Orechromis niloticus*) fry to diets containing *Azolla meal*. En: Proceedings of the Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. S.V.R. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthay y J.L. Maclean, (ed.). pp. 377-382. Manila.

Sarría, P. Sistemas integrados de producción: Alternativa para los pequeños productores de las montañas tropicales. [Consultado 4 febrero 2017] 1997. Disponible en: <http://www.science.produc.edu/lemn.htm>.

Shi, S. y Wan, X. 2000. The purifyn efficiency and mechanism of aquatic plants in ponds. Water Science & Technology 24: 63-76.

Tacon AGJ y Metian M (2015) Feed Matters: Satisfying the feed demand of aquaculture. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture 23: 1-10.

Tacon, A.G.J. Nutrición y Alimentación de Peces y Camarones cultivados Manual de Capacitación. Programa cooperativo gubernamental. GCP/RLA/102/ITA. Proyecto AQUILA II. Documento de campo N° 4. FAO-Italia. [Consultado 15 Febrero 2017] 1989. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab492s/AB492S00.htm#TOC>.

Taheruzzaman, Q. y Prosad, K.D. 1988. The effect of sewage-enriched river Ganga water on the biomass production of the *Azolla anabaena* complex. Hydrobiological Bulletin. 22: 173-181.

Valdés, T. La *lemn* un recurso valioso para la producción agropecuaria en el trópico. [Consultado 5 febrero 2017] 1996. Disponible en: <http://www.floridaplants.com/eflora/cover.htm>.

Van Hove. 1989. *Azolla* and its multiple uses with emphasis on Africa. FAO. Roma, Italia

Zhong-Zhu, L. 1996. Use of *Azolla* in rice production in China. In Nitrogen and Rice. Inst. Los Baños, Philipines.