

PRODUCCIÓN DE PLANTAS ACUÁTICAS CON POTENCIAL FORRAJERO CULTIVADAS EN ACUAPONÍA

Pec Hernández, Juan Francisco (1), Martínez Yáñez, Rosario (2)

1 Ingeniería Agronómica en Sistemas de Producción Agrícola, Universidad de San Carlos de Guatemala | jfcpec@gmail.com

2 Departamento de Agronomía, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato | ar.martinez@ugto.mx

Resumen

La acuaponía es la técnica en la que se aprovecha los nutrientes derivados de la producción de peces para el cultivo de vegetales, logrando así la disminución del consumo de agua por su recirculación constante en el sistema. Los desechos producidos por los peces son convertidos por medio de acción bacteriana en nutrientes disponibles para las plantas. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la producción biomasa de tres especies de plantas acuáticas con potencial forrajero, las cuales son lenteja de agua (*Lemna minor*), cola de zorro (*Myriophyllum aquaticum*) y trébol acuático (*Limnobium laevigatum*) en un sistema de cultivo de tilapia (*Oreochromis aeneus*). El experimento se realizó bajo un diseño completamente al azar, con tres repeticiones, en cada unidad experimental se colocaron 100 gramos de biomasa en base húmeda, la investigación duró 14 días, con un tiempo de retención hidráulica de 40 minutos. Los resultados obtenidos indican que *Lemna minor* registró una ganancia de biomasa de 353.63 ± 26.20 gramos, diferenciándose estadísticamente de *Myriophyllum aquaticum* y esta última de *Limnobium laevigatum*.

Abstract

Aquaponics is a technique that takes advantage where the nutrients from fish production are used for growing vegetables, thus achieving the reduction of water consumption by the constant recirculation of water in the system. In aquaculture recirculation systems nutrients from waste fish are converted by bacterial action in nutrients available to plants. The aim of this study was to evaluate the biomass production of three hydrophyte species, with forage potential duckweed (*Lemna minor*), fox's tail (*Myriophyllum aquaticum*) and West Indian spongeplant (*Limnobium laevigatum*), in tilapia (*Oreochromis aeneus*) system production, the experiment was conducted under a completely randomized design with three replications in each experimental unit 100 grams on wet basis of biomass were placed, with a 40 minutes hydraulic retention time, the study lasted 14 days. The results indicate that *Lemna minor* produced a gain of 353.63 ± 26.20 biomass grams, differing statistically of *Myriophyllum aquaticum* and this latter of *Limnobium laevigatum*.

Palabras Clave

Acuaponía; hidrófitas; *Oreochromis*; forrajes

INTRODUCCIÓN

Acuaponía

La acuaponía es la interacción del cultivo de peces y plantas en un mismo sistema, en donde se genera un beneficio mutuo. La aplicación de los sistemas acuapónicos, surge como una de las soluciones de obtención de alimentos, ya que genera dos productos, sin afectar sistemas como los cuerpos de agua y sin deteriorar el suelo [1].

Funcionamiento de un sistema acuapónico

El funcionamiento de un sistema acuapónico se basa en que los desechos orgánicos producidos por algún organismo acuático, son convertidos a través de la acción bacteriana, en nitratos, que es una de las principales formas en que las plantas pueden asimilar el nitrógeno. Las excretas y los restos de alimento de los peces liberan amoníaco al agua, el cual se ioniza en amonio, y éste es convertido en nitrito por las bacterias del género Nitrosomona ($\text{NH}_4^+ + 1.5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$) y posteriormente las bacterias del género Nitrobacter se encargan de convertir el nitrito en nitrato ($\text{NO}_2^- + 0.5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$). Las plantas al tomar los nitratos, limpian el agua para los peces actuando como filtro biológico [2] [3] [4] [5].

Componentes de un sistema acuapónico

En términos generales un sistema acuapónico consta de los siguientes elementos [6] [2]: Estanque de peces (u otros organismos acuáticos), clarificador (filtro de sólidos), biofiltro, cama(s) hidropónica(s), sistemas de bombeo de agua y sistemas de aireación. Estos elementos se conectan de tal forma que el agua que contiene nutrientes pasa del estanque de peces al clarificador, donde se eliminan la mayor parte de partículas disueltas, tanto grandes como pequeñas [7]. Después pasa al biofiltro, el cual tiene una gran superficie que le permite alojar una gran cantidad de bacterias que convierten el amonio en nitrato [8] [9], después el líquido pasa a las camas hidropónicas, luego el agua puede ser enviada directamente de regreso al estanque de peces para reiniciar el ciclo [9].

Tilapia roja (*Oreochromis aureus*)

En general las tilapias por su capacidad de adaptación, y a la posibilidad de ser criada en diferentes sistemas de cultivo, por su sabor y las características nutricionales de su carne, se ha colocado en el segundo lugar de los peces de agua dulce más cultivados en el mundo [10] y es la especie más utilizada en proyectos de acuaponía. De acuerdo a El Sayed [11] el rango de temperatura para el desarrollo normal, reproducción y crecimiento de la tilapia es entre 20 y 35°C.

Hidrófitas con potencial uso forrajero

Las hidrófitas, cumplen un papel muy importante en los ecosistemas acuáticos. Brindan directa o indirectamente alimento, protección y un gran número de hábitats para muchos organismos [12]. El uso de plantas hidrófitas como fuente de alimento de animales acuáticos y de granja se ha venido incrementando debido a su rápido crecimiento, su buena palatabilidad, y su contenido de proteínas, bajo nivel de fibras y presencia de cenizas [13]. Las plantas que son utilizadas para forraje deben de tener ciertas características, como son: tener gran capacidad de adaptación y persistencia, eficiente crecimiento y perdurabilidad además de ser palatable para los animales domésticos [14]. A continuación, se describen las plantas utilizadas para el presente estudio, las cuales tienen un alto potencial forrajero por sus excelentes características bromatológicas según el estudio realizado por Merín, [21].

- Lenteja de agua (*Lemna minor* L.)

Lemna minor es una planta perteneciente a la familia Lemnaceae, su cuerpo vegetativo corresponde a una forma taloide, es decir, en la que no se diferencian el tallo y las hojas [15]. El talo ha sido interpretado de diversas maneras: un tallo modificado, una hoja o como parcialmente tallo y hoja [16] [12]. Su tamaño es de 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho. Es una de las especies de angiospermas más pequeñas que existen [17]. Es una planta monoica, con flores unisexuales. Las flores masculinas presentan un solo estambre y las femeninas un pistilo formado por un solo carpelo, el periantio está ausente. El fruto contiene de 1 a 4 semillas [18] [16]. La forma más común de reproducción es la asexual por gemación, en los bordes basales se desarrolla una yema

pequeña que origina una planta nueva que se separa de la planta progenitora [16].

- Cola de zorro (*Myriophyllum aquaticum*)

Myriophyllum aquaticum pertenece a la familia Haloragaceae, es una planta perenne de tallo erguido, con hojas pinnadas, dispuestas alrededor de un tallo robusto en grupos de 4 a 6 hojas. Las hojas miden de 1.5 a 3.5 cm, y tienen de 20 a 30 segmentos filiformes por hoja, lo que le confiere un aspecto plumoso. Puede desarrollar raíces adventicias y emerger del agua, en cuyo caso cambia su morfología, con menos divisiones por hoja (de 6 a 18), más rígidas, y de un verde más oscuro que las sumergidas, de tacto suave y color verde claro. Las flores femeninas, de 1.5 mm, son blancas, sin pétalos y con 4 sépalos las que brotan de las axilas de las hojas emergidas. Las flores masculinas tienen 8 estambres [19]. Es una especie introducida de Sudamérica con fines de ornato, pero se ha distribuido ampliamente en México, desplazando la flora acuática local [20]. Se reproduce principalmente de forma vegetativa, se encuentra en aguas lentas y estancadas, es cosmopolita, es muy útil removiendo metales pesados [22].

- Trébol acuático (*Limnobium laevigatum*)

Esta planta pertenece a la familia Hydrocharitaceae, es perenne, poseen estolones; las hojas son ovales y están dispuestas en roseta y son de 10 a 30 mm de ancho, esponjosas, flores unisexuales [23]. Las plantas jóvenes tienen una gran capacidad de distribución ya que son pequeñas y pueden ser fácilmente llevados rápidamente por las corrientes de agua [24]. Se caracteriza por tener un rápido crecimiento, invadiendo hábitats y es plaga en muchos países [25]. El verano es la época en la que la población alcanza su mayor producción de biomasa, así como la floración [26]. Esta especie es tolerante a temperaturas extremas [24] aunque la óptima de es de 18 a 28 °C [23]. Esta planta se puede reproducir sexual y asexualmente [27].

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Acuicultura, ubicada en la División de Ciencias de la Vida (DICIVA), Campus

Irapuato-Salamanca, de la Universidad de Guanajuato. En donde se evaluó bajo condiciones de invernadero la producción de biomasa de tres especies de hidrófitas con potencial forrajero [21]. Se utilizó un sistema acuapónico, conformado por un estanque rectangular con capacidad de 4,500 L, un sedimentador/clarificador de 250 L, cuatro filtros físicos de 100 L de capacidad c/u, un filtro biológico de 400 L, 9 camas hidropónicas (CH) de fibra de vidrio con capacidad de 45 L y 0.9 m² de superficie de siembra, bombas y líneas de conducción de agua en constante recirculación. Se empleó un diseño completamente al azar con tres repeticiones, por lo que se manejaron un total de 9 unidades experimentales, en las que inicialmente se sembró 100 gramos de biomasa en base húmeda en cada CH. Previamente se seleccionaron las plantas con las mejores características y se dejaron escurrir por 20 minutos para eliminar el exceso de agua antes de pesar la cantidad requerida para cada especie. El tiempo de retención de agua en cada CH fue de 40 min [28]. El agua del estanque fue conducido al sedimentador/clarificador, posteriormente a los 4 filtros físicos y al filtro biológico, del cual, el agua fue conducido hacia las respectivas CH, para posteriormente volver al estanque completando un ciclo. En el estanque fueron sembrados 450 tilapias rojas (*Oreochromis aeneus*) con un peso promedio de 5.5 g y una longitud 6.4±0.9 cm. El alimento suministrado fue un balaceado comercial (50% de proteína y 15% de grasa), a razón del 3% de su peso corporal. Al final del experimento (14 días) se midió la cantidad de biomasa producida en cada unidad experimental. El pH se midió por medio de un potenciómetro Profesional Pluss YSI, haciendo ajustes al mismo con ácido fosfórico debido a que el agua a la que se tiene acceso es alcalina (8.5 en promedio). Los datos fueron analizados por medio de un análisis de varianza y las diferencias entre las medias por una prueba de comparación de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A lo largo del estudio el pH se registró entre 6.4 y 8.2, una vez superado un pH de 8 se aplicó ácido fosfórico, esto se realizó cuando se hicieron recambios de agua en los estanques por manejo (limpieza de filtros físicos). La temperatura promedio del agua en el estudio fue de 23.8±2.1

°C. Los resultados de la producción de biomasa se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Cuadro resumen de la prueba de Tukey para la variable cantidad ganancia de biomasa (Alfa:0.05, DMS:103.57).

Tratamiento	Ganancia de biomasa en g.	Grupo Tukey
1. Lenteja de agua (<i>Lemna minor</i>)	353.63±26.20	a
2. Cola de zorro (<i>Myriophyllum aquaticum</i>)	197.05±31.03	b
3. Trébol acuático (<i>Limnobium laevigatum</i>)	86.11±7.66	c

Con lo cual se concluye que *Lemna minor* es la planta que produjo un mayor incremento en ganancia de biomasa, diferenciándose estadísticamente de *Myriophyllum aquaticum* y está diferenciándose de *Limnobium laevigatum*. *Lemna minor* al ser una planta pequeña en los 100 gramos iniciales que se colocó en cada CH se introdujo una gran cantidad de plantas, y estas se reprodujeron vegetativamente razón por la cual incremento su población rápidamente y al final del experimento presentó la mayor producción de biomasa a pesar de ser una pequeña planta. En el caso *Myriophyllum aquaticum* a pesar de presentar una alta ganancia de biomasa al final de los 14 días del estudio no logro superar a *Lemna minor*, una de las posibles razones es que *Myriophyllum aquaticum* presenta tejidos más fibrosos en comparación a *Lemna minor* [21], por lo que antes de que se diera el crecimiento y desarrollo de estas plantas, sus células pasaron por un proceso de adaptación, debido a que las plantas empleadas para el presente estudio inicialmente se desarrollaron en un sustrato sólido (sustrato orgánico), en la cual las raíces no estaban adaptadas a estar sumergidas en agua, además de que parte del tallos quedaron sumergidas en la lámina de agua de las CH, por lo que algunas de las células del tallo sufrieron desdiferenciación celular y se generaron raíces adventicias [29]. Por lo que el tiempo que le tomo a *Myriophyllum aquaticum* en adaptarse a estar completamente sumergida *Lemna minor* ya había provechado en incrementar su población. *Limnobium laevigatum* visualmente produjo un gran incremento de biomasa, pero debido a que esta planta en sus tejidos foliares presenta cámaras de aire (aerénquimas) [23] la ganancia final en biomasa fue inferior a las dos especies mencionadas

anteriormente, cabe resaltar que esta planta al igual *Myriophyllum aquaticum* sufrieron desdiferenciación celular al quedar sumergidas en las camas hidropónicas, por lo que también generó nuevos brotes (hojas) y nuevas raíces, por lo que para estudios posteriores importante un tiempo de adaptación de aproximadamente una semana en las CH, antes de iniciar el experimento. *Lemna minor* a pesar de ser la planta con mayor producción de biomasa presenta otros beneficios. Según Parr et al. [29] la cobertura de *Lemna minor* reduce las probabilidades de que se presente la proliferación de algas. Alcanza niveles de proteína hasta un 38% de su biomasa, este contenido proteínico, junto con su alta palatabilidad y su facilidad de suministro, la hace ideal para alimentación de cerdos, aves o ganado [30]. *Lemna minor* se ha ensayado como alimento para patos domésticos y los resultados en aumento de peso y producción de huevos fueron comparables al suplemento proteínico usual, con la ventaja de presentarse una disminución de un 25% en los costos de alimentación [29]. También ha sido utilizada en México con el fin de alimentar cerdas gestantes y lechones, reemplazando la proteína proveniente de torta de soya en un 80%, con muy buenos resultados en producción. En Venezuela se usa conjuntamente harina de pescado con *Lemna minor* y *Azolla filiculoides* en raciones para cerdos [30].

CONCLUSIONES

Lemna minor fue la especie que presentó la mayor ganancia en biomasa, diferenciándose estadísticamente de *Myriophyllum aquaticum* y está diferenciándose de *Limnobium laevigatum*.

Los parámetros temperatura y pH del agua en el sistema acuapónico durante la realización del estudio estuvieron en rangos aceptables.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Guanajuato por haberme hecho partícipe en el Verano de la Investigación Científica 2016.

A la Dra. Rosario Martínez Yáñez y al Dr. Pedro Albertos Alpuche por haberme orientado en la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Ramírez, D., Sabogal, D., Gómez, E., Rodríguez, D., Hurtado & H. (2009). Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico Goldfish-lechuga. Revista de Ciencias Básicas, Universidad Militar Nueva Granada. ISSN 1900-4699 Volumen 5 Número 1 Páginas 154-170
- [2] Nelson R. L. (2007). Acuaponía. Nelson/Pade Multimedia. Montillo, WI. USA
- [3] Parker, R. (2002). Aquaculture science. Second edition. Delmar. Albany, NY. USA
- [4] Van Gorder, S. D. (2000). Small scale aquaculture. The Alternative Aquaculture Association. Breinigsville, PA, USA
- [5] Ramírez, D., Sabogal D., Jiménez P. & Hurtado H. (2008). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. Revista de Ciencias Básicas, Universidad Militar Nueva Granada. 4:32-51
- [6] Selock Dan. (2003). An introduction to aquaponics: The symbiotic culture of fish and plants. Rural Enterprise and Alternative Agricultural Development Initiative Report. Southern Illinois University Carbondale
- [7] Lennard, W.A. (2004). Aquaponics research at RMIT university, Melbourne Australia. Aquaponics Journal. Número 35:18-24, cuarto trimestre
- [8] Walsh, P. J. (1998). Nitrogen excretion and metabolism. En "The physiology of fishes". Evans DH (Editor), capítulo 9, pg. 199-214. CRC Press, Boca Ratón, Florida, USA
- [9] Rakocy, J. (2007). Aquaponics: integrating fish and plant culture. En "Timmons MB, Ebeling JM. 2007. Recirculating aquaculture. Cayuga Aqua Ventures". Capítulo 19
- [10] Toledo, S. & García, M. s.f. Nutrición y Alimentación de Tilapia Cultivada en América Latina y el Caribe. Centro de Preparación Acuicola Mamposton, Ministerio de la Industria Pesquera, San José de las Lajas. La Habana, CUBA
- [11] El-Sayed, A. (2006). Tilapia culture. In C.P. Oxfordshire (Series Ed.) (pp. 277). Recuperado de <https://goo.gl/V5wYOE>
- [12] Cook, C.D. & B.J. Gut. 1974. Water plants of the world: A manual for the identification of the genera of freshwater macrophytes. The Hague: Junk, 560 p.
- [13] Aponte, H., Segura, C. & Francia, J. C. (2013). Análisis químico proximal de *Limnobium laevigatum* y su potencial para su uso como forraje. Lima, Perú.
- [14] Olivera, Y., Machado, R. & Del Pozo, P. (2012). Características botánicas y agronómicas de especies forrajeras importantes del género *Brachiaria*. Pastos Forrajes Cuba; 19 (1):123.
- [15] Arroyave, M. (2004). La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): una planta acuática promisorio. Revista EIA, 33-38.
- [16] Instituto GALLACH. 1984. Historia natural. Volumen V. Barcelona: Océano.
- [17] Raven, P., R. Evert & S. Eichhorn. (1971). Biology of plants. 5 ed. New York: Worth. 791p.
- [18] Armstrong, W. (2003). Wayne's Word Lemnaceae. Recuperado de: <http://bit.ly/29zs7PL>
- [19] MAGRAMA. (2013). Catálogo español de especies exóticas invasoras. España. Recuperado de <http://bit.ly/29Ti8qL>
- [20] Romero, L., Ramírez, F., Álvarez, C., & Miranda, M. (2011). Uso de hidrófitas y un sistema anaerobio para el tratamiento de agua residual de rastro. Polibotánica, (31), 157-167. Recuperado de <http://bit.ly/29QRXkW>
- [21] Merlín, V.M. (2016). Potencial forrajero de hidrófitas cultivadas en acuaponía. Tesis Médico Veterinario Zootecnista. Universidad Autónoma "Benito Juárez" de Oaxaca. 89p.
- [22] Lot, A., Novelo, A., & Esparza, E. 2004. Icnografía y estudio de Plantas acuáticas de la ciudad de México y sus alrededores. México DF, p. 206.
- [23] Rodríguez, L., Ortiz, Y., Navarro, H., Espinosa, H. & Hernández, V. (2006). Ensayos de eficiencia con macrofitas para la remoción de carga contaminante en aguas residuales de hatos lecheros para un subsector de la Laguna de Fúquene. Recuperado de: <http://bit.ly/29Thrhj>
- [24] South East Regional Centre for Urban Landcare. (SERCUL). s/f. Amazon Frogbit. *Limnobium laevigatum*. Recuperado de: <http://bit.ly/29QS289>
- [25] San Martín, C. & Boetscher, C. (2003). Importancia ecológica de la heterofilia en *Limnobium laevigatum*. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica (Supl.). pp: 131-132
- [26] Boettcher, C. (2007). Variación comparativa de biomasa estacional en dos macrofitas de la región de Valdivia, Chile. Ciencia y Trabajo, 9:191-199.
- [27] Aponte, H. & Pachterres, C. (2013). Crecimiento y propagación de *limnobium laevigatum* (hydrocharitaceae) bajo diferentes concentraciones de nutrientes. Recuperado de: <http://bit.ly/2aaHrNA>
- [28] Regalado, J. (2013). Diseño y evaluación de un Sistema acuapónico para la producción de animales acuáticos y plantas para consumo humano. Tesis Msc en ciencias del agua. División de Ingenieras, Universidad de Guanajuato. 101p.
- [29] Parr, L.B., Perkins, R., & Mason, C. (2002). Water Research. 36 (7): 1735-1742 (Abstract).
- [30] Chará, J. (1998). El potencial de las excretas porcinas para uso múltiple y los sistemas de descontaminación productiva. CIPAV. Recuperado de: <http://bit.ly/2aeghfw>
- [31] Bui, X., Ogle, B., & Lindberg, J. (2002). Use of duckweed as a protein supplement for breeding ducks. Asian Australasian Journal of Animal Sciences. 15 (6): 866-871.