

Diseño y construcción de un prototipo de sistema acuapónico para el aprovechamiento y tratamiento de desechos de piscicultura de la Hacienda La Cosmopolitana, Restrepo – Meta

Design and construction of an aquaponic prototype system for exploitation and treatment of fish farming wastes in the “Hacienda La Cosmopolitana”, Restrepo - Meta

Bonilla B. Laura; Casabianca L; Montaña S. Julián; Pantoja V. Stefania; Rada C. Daniel; Salcedo R. Cristian.

Resumen

Se diseñó e implementó un prototipo de un sistema acuapónico para el aprovechamiento de los nutrientes provenientes de los residuos orgánicos del proceso de piscicultura dentro de la Hacienda La Cosmopolitana con el fin de utilizarlos como base nutritiva para cultivos productivos. Inicialmente se probó el sistema con una planta filtradora, *Pistia stratiotes* (lechuguilla de agua) para posteriormente montar el sistema productivo con un cultivo de *Solanum lycopersicum*, conocido comúnmente como tomate cherry. Para este proyecto se debió realizar el diseño y creación una ruta de recirculación de agua, la identificación de las plantas filtradoras (*Pistia stratiotes*) y productoras (*Solanum lycopersicum*), así como mediciones de variables fisicoquímicas del agua, para encontrar los valores óptimos para la producción de los cultivos.

Palabras clave: Cultivo acuapónico, recirculación, Filtración, aprovechamiento de nutrientes.

Abstract

InIt was designed and implemented a prototype aquaponic system for the exploitation and treatment of nutrients wastes from the fish farming process in order to use them as basis for productive crop in the “Hacienda La Cosmopolitana”. Initially the system was tested with a filtration plant, *Pistia stratiotes*, in order to pass to a productive plant like *Solanum lycopersicum*, commonly known as cherry tomatoes. This project was due to design and create a route water recirculation, identifying the filtering and productive plants (*Pistia stratiotes* and *Solanum lycopersicum*) and the measurements of physical and chemical variables of the water to find the optimal values for crop production.

Keywords: aquaponic, fish farming, recycling, filtration, nutrient utilization.

Recibido / Received: Abril 08 de 2015 Aprobado / Approved: Abril 29 de 2015

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación Científica y Tecnológica.

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Universidad El Bosque

Autor para comunicaciones / Author communications: Luis Miguel Casabianca, casabiancaluis@unbosque.edu.co

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

Introducción

Los cultivos acuapónicos constituyen una integración entre un cultivo de peces (acuícola) y uno hidropónico de plantas, estos se unen en un único sistema de recirculación de agua y nutrientes. La implementación de un sistema acuapónico se centra en el reciclaje de los desechos, los cuales sirven como nutrientes para las plantas, mejorando la calidad del agua que por recirculación vuelve al estanque y que permite el adecuado crecimiento de los peces [1].

En este sistema, los desechos metabólicos generados por los peces y los restos de alimento, son utilizados por los organismos vegetales y transformados en materia orgánica vegetal, de esta forma se genera un producto de valor a través de un subproducto desechable, con la ventaja de que el agua libre ya del exceso de nutrientes, queda disponible para ser reutilizada en el proceso productivo. Gracias a esto, los sistemas acuapónicos trabajan sobre dos puntos de gran interés en producción, rentabilidad y tratamiento de desechos [2]. Así como también disminuye costos de operación por transporte de agua, limpieza de los estanques y producción de vegetales y hortalizas [3] [4].

El continuo movimiento del agua genera una oxigenación favorable, ya que se controlan dinámicamente bacterias y ectoparásitos, se remueven los residuos sulfurosos, nitrogenados y el CO₂, que al combinarse con la acción del biofiltro permite la remoción de materia orgánica [5] [6].

En el circuito acuapónico la entrada de los fosfatos se realiza por medio de la alimentación de los peces, ellos al realizar su ciclo digestivo los eliminan como parte de los desechos metabólicos como moléculas complejas que aún no son asimilables por las plantas, pero si por las bacterias descomponedoras del biofiltro [7]; algunas de estas bacterias se encuentran en las raíces de las Pistia stratiotes, plantas filtradoras que se escogieron para el cultivo implementado en la Hacienda La Cosmopolitana, las cuales transformaran el fósforo en orto-fosfatos (H₃PO₄) que serán consumidos por las plantas productoras (*Solanum lycopersicum*), lo que permite la disminución de los niveles de fosfatos del agua que regresa al estanque y el crecimiento nutricional de la misma [8].

La Pistia stratiotes a es una planta que absorbe nutrientes como fosfatos, nitritos y potasio del agua en la que se encuentra. Se puede considerar como “maleza” acuática debido a su tasa de crecimiento poblacional, sin embargo en condiciones controladas se puede utilizar como un filtro natural capaz de retener hasta cuatro veces su peso en agua y convertir compuestos nitrogenados o fosfatos [8].

Por su parte el *Solanum lycopersicum*, más conocido como tomate cherry es una planta anual, de la cual se recolecta un fruto tipo baya parecido a una cereza, tiene una temperatura óptima de desarrollo de 25°C a 35°C, necesita como nutrientes fosfatos y potasio para favorecer su crecimiento y es utilizado como cultivo menor en la Hacienda La Cosmopolitana. [9].

La Hacienda La Cosmopolitana realiza diferentes actividades agropecuarias y de producción agroecológica, entre ellas la piscicultura; cuenta con seis estanques de piscicultura, en los cuales se realizan los ciclos de producción de las especies: bocachico (*Prochilodus magdalenae*), cachama (*Colossoma macropomum*), tilapia (*Oreochromis mossambicus* y *Oreochromis niloticus*) y yamú (*Brycon siebenthalae*). Cada una de estas especies presenta un ciclo para su cultivo. Cuando dicho ciclo culmina se debe realizar un vaciamiento del estanque para su limpieza, al cual se le aplica cal y es llenado nuevamente.

Estos peces generan desechos ricos en nitratos, nitritos y fosfatos, que la hacienda no está utilizando en otros procesos productivos. Con el fin de aprovechar los desechos de los peces y evitar el vaciamiento de los lagos, que interrumpe los ciclos productivos y generar un costo a la hacienda, se plantea como objetivo principal el diseñar y construir un prototipo de sistema acuapónico para el aprovechamiento y tratamiento de los desechos orgánicos de los peces de los lagos de piscicultura. Esto a través de evaluar las variables de pH, nitritos, nitratos y fosfatos, para realizar la comparación antes y después de la recirculación del agua a través del cultivo, identificar las plantas filtradoras y productoras adecuadas para el sistema acuapónico y diseñar, construir e implementar un prototipo de sistema acuapónico.

Materiales y método

Con el fin de evaluar los cambios de condiciones del agua luego del paso de esta por el sistema acuapónico, se realizó una toma inicial *in situ* de nitratos, nitritos, fosfatos y pH, en los seis lagos de piscicultura con equipos especializados (kits de aguas especializados y multiparametro) propiedad de la Universidad El Bosque, extrayendo las muestras a lo ancho de la columna de agua. La toma de pH se realizó por triplicado para posteriormente obtener un promedio. Estas tomas se hicieron con el fin de determinar el estanque más pertinente para extraer el agua a utilizar en la prueba de recirculación para el prototipo del sistema acuapónico.

Luego de las mediciones y la identificación del estanque para la prueba piloto se prosiguió a hacer el montaje del prototipo del sistema; en el sistema se utilizaron: 8 palos de guadua los cuales se unieron por parejas por medio de cabuya los cuales se utilizaron como soporte para el prototipo enterrándose en el suelo. 9 Tubos de PVC previamente cortados de 25 cm, 6 tubos de PVC de 12 cm, 12 T de PVC, 2 tubos en U, 2 codos de 90°, una manguera de 2 m, una cubeta y una motobomba de pecera de 70 cm³/h. Posteriormente se hizo el ensamblaje de la tubería con los segmentos cortados, uniéndolos por medio de las T y U, seguido de la instalación de la tubería de PVC en el soporte de guadua. Por último se realizó la instalación del cultivo acuapónico.

En la selección de las plantas para el cultivo se determinaron dos características; filtradoras y productoras. Para el cultivo se utilizaron 12 plantas *Pistia stratiotes* como plantas filtradoras para la recirculación, que se mantuvo por 12 horas. Una vez terminada la recirculación se realizaron las pruebas finales para su posterior comparación. Para la entrega del prototipo final se utilizó el mismo sistema de recirculación con 6 *Pistia stratiotes* como filtradoras y 6 plantas de *Solanum lycopersicum* como productoras.

Resultados

Medición inicial de variables fisicoquímicas de los estanques

Las muestras de aguas recolectadas fueron procesadas y descartadas posteriormente. Una vez realizadas las

pruebas de pH, se obtuvieron los siguientes valores para los diferentes estanques de piscicultura:

Tabla 1. Datos obtenidos por el promedio de las mediciones de pH en los 6 estanques de piscicultura.

Estanque	pH
1	6,41
2	6,93
3	6,10
4	7,76
5	5,94
6	6,15

Para la prueba de fosfatos se seleccionaron los estanques que presentaban un uso productivo en el momento (ciclo de producción de peces estaba activo y presentaban poblaciones de peces), los cuales eran el estanque 3 y 4 para realizar las respectivas pruebas con el kit de fosfatos obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 2. Datos obtenidos de la medición inicial de fosfato en los estanques 3 y 4.

Estanque	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)
3	250	82
4	100	33

Luego de la realización de la prueba de nitritos y nitratos en las muestras de los estanques 3 y 4, no se encontró presencia de estos compuestos químicos previo al inicio de la recirculación en el sistema.

El estanque número 3 es señalado, ya que es el estanque escogido para la recirculación del agua en el sistema puesto que presenta el valor más elevado de PO₄³⁻ (mg/l).

Identificación de las plantas filtradoras y productoras para el Sistema acuapónico

Para el sistema acuapónico se identificaron a *Pistia stratiotes* como planta filtradora y a *Solanum lycopersicum* como productora, ya que cumpliendo con paráme-

tros óptimos como lo son: tasa de crecimiento, estado poblacional, interés ecológico (absorción de fosfatos y la purificación del agua) y económico, son las más apropiadas para el piloto a instalar. Esta identificación se dio a través de entrevistas no estructuradas con los trabajadores de la Hacienda.

Figura 1. *Pistia stratiotes*.



Imagen extraída de: www.zimbabweflora.co.zw

Figura 2. *Solanum lycopersicum*.



Imagen extraída de: www.wyevalegardencentres.co.uk

Diseño y montaje del prototipo acuapónico

El prototipo obtenido luego del ensamblaje tenía una altura de 1.10 m y su ancho era de 1.40 m. Este se montó con una inclinación de 10° aproximadamente para permitir la circulación del agua por gravedad una vez

ha sido bombeada al extremo superior del sistema. La motobomba de pecera estuvo en una altura de 25 cm del piso en una cubeta la cual tenía una manguera que transportaba el agua a la boquilla superior del prototipo, para permitir el ingreso del agua al sistema y de esta manera comenzar con la recirculación. Una vez el agua terminaba el recorrido salía por la boquilla inferior del prototipo la cual caía nuevamente en la cubeta y se producía la recirculación. Este proceso trascurrió durante 12 horas y posteriormente se tomaron los datos requeridos para la comparación con los valores previamente tomados de los estanques.

Figura 3. Montaje del cultivo acuapónico en la Hacienda La Cosmopolitana



Al terminar la primera recirculación se hizo nuevamente la medición de nitritos, nitratos, fosfatos y pH.

Y observaron los siguientes resultados.

Tabla 3. Datos obtenidos de la medición final de pH

Estanque	pH
3	7,05

Tabla 4. Datos obtenidos de la medición final de fosfatos

Estanque	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)
3	50	16

Tabla 5. Datos obtenidos de la medición final de Nitratos y nitritos

Estanque	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)
3	25	5,6

Discusión

El prototipo se montó con una inclinación para que la motobomba no tuviera que ejercer fuerza sobre la columna de agua transportada para que esta recirculara, lo que se buscó fue que el agua fluyera en forma descendente por medio de la gravedad y la motobomba solamente tuviera que ejercer el bombeo necesario para llevar el agua hasta el prototipo (1.20 metros de altura). De esta manera el agua recorre todo el prototipo y todas las plantas son beneficiadas de una manera equitativa. De lo contrario si se ejerce un bombeo muy fuerte las plantas se verán afectadas o arrastradas por el agua, debido a su corta raíz. [10]

La recirculación se mantuvo por 12 horas en las cuales se esperaba una disminución de fosfatos. En las 12 horas se obtuvo una disminución significativa de fosfatos como se presenta en la tabla 6, donde se comparan los datos iniciales con los obtenidos al final de las 12 horas de recirculación.

Tabla 6. Comparación datos iniciales y finales de los niveles de Fosfatos

Estanque	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)
3 (Inicial)	250	82
3 (Final)	50	16

El primer dato obtenido de fosfatos fue de 82 mg/l y el dato obtenido después de la recirculación fue de 16 mg/l, Esta disminución es apropiada ya que el agua recirculada que vuelve al estanque se requiere con una presencia de fósforo entre 0,1mg/l y 0,2 mg/l, [11], pues el exceso de fósforo en los estanques puede ocasionar el crecimiento de algas, lo que lleva a una eutrofización, dejando así a los peces sin oxígeno, por consiguiente a la muerte [12]. Estos fosfatos fueron disminuidos gracias a las plantas de *Pistia stratiotes* mencionadas anteriormente.

Se observaron cambios en cuanto a los contenidos de pH luego de realizar la prueba de recirculación pasando de un pH de 6,10 a un pH de 7,05. Obteniendo el pH óptimo para el estanque de piscicultura, ya que el pH ideal oscila entre 7,0 y 7,05; [10] esto se debe a que las plantas utilizan como nutrientes algunos de los compo-

nentes de los desechos excretados por los peces, y al momento de la disminución de los desechos en el estanque el pH se estabilizara al pH ideal para la viabilidad de los peces [13].

Los nitratos pertenecen a los parámetros iniciales que se tenían previstos a encontrar en los estanques, pero las muestras realizadas en el estanque donde se esperaba encontrarlos arrojaron un resultado negativo, esto debido a que los nitratos en el agua con excreciones de los peces se encuentran en forma de amoníaco, [14], Este amoníaco es convertido en nitritos por las plantas gracias a la función de nitrosomonas, posteriormente transformada en nitratos por la acción de la nitrobacteria, debido a esto los datos obtenidos después de la recirculación fueron positivos, arrojando un valor de nitritos de 25 mg/l y nitratos de 0,6 mg/l. Los valores adecuados de nitratos para la piscicultura están entre 0,25 ppm a 1 ppm y de nitritos de 2 ppm a 150 ppm. [14]

Si la tasa de disminución continúa se estima que con más tiempo, la concentración de fosfatos podría desaparecer totalmente del agua recirculada. Lo que es efectivo ya que se evita una eutrofización. Además los fosfatos también son responsables del crecimiento de algunas algas y cianobacterias que afectarían el proceso de piscicultura presente en la hacienda [15]. De igual forma se recomienda replicar hasta obtener una muestra representativa estadísticamente con el fin de ratificar la eficacia y eficiencia de la absorción de fosfatos por parte de *Pistia stratiotes*.

Lo ideal en un sistema acuapónico es usar plantas como biofiltros, principalmente aquellas que tengan la propiedad de retención de sustancias como amonios, fosfatos, nitritos o nitratos [13], así que dentro de las plantas disponibles en la Hacienda La Cosmopolitana, se escogió la *Pistia stratiotes* como planta filtradora, además de su capacidad de absorber el fósforo en forma iónica, debido a que tiene un alto requerimiento de fósforo en sus hojas, principalmente en sus hojas más viejas [16]. Esta planta también tiene la característica de limpiar agua ya que presenta unas bacterias especializadas en el tallo, que cumplen la función de descomponer la materia orgánica. De esta manera se pudo comprobar su efecto gracias a las mediciones de fosfatos ya que hubo una disminución de estos después de la recirculación de 12 horas.

La planta de *Solanum lycopersicum* se determinó como planta productora, ya que es una planta que se reproduce rápidamente y la raíz era adecuada para implementar en el prototipo, esta planta no fue utilizada en la prueba de recirculación inicial por motivos de producción por parte de la hacienda (perder plantas productivas no era viable hasta que se probara la eficiencia y efectividad del sistema). Ahora bien estas plantas si se dejaron implementadas en el sistema final. [17]

Conclusión

El diseño fue efectivo ya que la recirculación arrojó los cambios esperados en la toma de datos, tomando en cuenta que no hubo desperdicio de agua, ya que toda el agua recirculaba efectivamente sin presentar ninguna fuga en el sistema y no ocasionaba ningún daño a las plantas implementadas en el sistema acuapónico.

El sistema acuapónico es efectivo ecológicamente (necesario realizar la valoración económica, ya que se reduciría la compra de químicos y el tiempo de espera para la producción de peces), ya que evita un vaciado del agua del estanque cada ciclo de producción, además de evitar la utilización de los químicos para la limpieza de estos estanques. Esto mejora la productividad del sistema, pues no habrá un intervalo de tiempo donde los estanques estén vacíos.

A partir de la implementación del sistema se pudo evidenciar, que las plantas filtradoras tienen la capacidad de disminuir la concentración de fosfatos y cambiar el pH del agua proveniente de la piscicultura, lo que genera un aprovechamiento de los desechos de los peces en un cultivo productivo como el caso de la *Pistia stratiotes*.

El sistema se establece como un método reproducible y aplicable para una gran diversidad de plantas de pequeños tamaños, no solamente para un tipo de planta en específico.

Los fosfatos tuvieron una disminución del 80,5% después de la recirculación, ya que muestra la efectividad al nivel de nutrición de las plantas y erradicación de fosfatos en los estanques.

Al notar el efecto de la nitrificación, se puede ver el correcto funcionamiento de la *Pistia stratiotes*, al arrojar datos posi-

tivos en las muestras de nitratos después de la recirculación. Se propone tomar como parámetro inicial las concentraciones de amoníaco en el agua previo a la recirculación.

Se logró estabilizar el nivel de pH del estanque por medio del sistema, presentando un nivel óptimo para la viabilidad de los peces.

Como trabajo futuro se planteará la eficiencia de la bomba de recirculación y la efectividad en los cambios de concentración de O₂ disuelto en agua, además de estudiar el efecto de los nutrientes recibidos a través del agua en las plantas de *Solanum lycopersicum*.

Referencias

- [1] S. Shiung Lam, N. Ling Ma, A. Jusoh y M. Azmi Ambak, «Biological nutrient removal by recirculating aquaponic system: Optimization of the dimension ratio between the hydroponic & rearing tank components,» *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 102, pp. 107-115, 2015.
- [2] Bio-Con Labs Inc., «Nitrifying Bacteria Facts,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.bioconlabs.com/nitribactfacts.html>.
- [3] M. Ronzón Ortega, M. P. Hernández Vergara y C. I. Pérez Rostro, «PRODUCCION HIDROPÓNICA Y ACUAPÓNICA DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum*) Y LANGOSTINO MALAYO (*Macrobrachium rosenbergii*),» *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 15, n° 2, pp. S63-S71, 2012.
- [4] H.-H. S. a. H. B. Ngo Thuy Diem Trang, «Leaf vegetables for use in integrated hydroponics and aquaculture systems: Effects of root flooding on growth, mineral composition and nutrient uptake,» *African Journal of Biotechnology*, vol. 9, n° no. 27, pp. 4186-4196, Julio 2010.
- [5] A. Group, 2012. [En línea]. Available: <http://www.akvagroup.com/productos/acuicultura-en-tierra/sistemas-de-recirculaci-n>. [Último acceso: 30 Septiembre 2015].
- [6] J. Van Rijn, Y. Tal y H. J. Schreier, «Denitrification in recirculating systems: Theory and applications,» *Aquacultural Engineering*, vol. 34, pp. 364-376, 2006.

- [7] Hydroenvironment, Junio 2014. [En línea]. Available: http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=privacy&zenid=98076ca4e87847cbcc71b4b194d21958. [Último acceso: 30 Septiembre 2015].
- [8] G. Y. Martínez Hernández y F. S. Mejía Ponce, «Lirio acuático, un purificador natural,» Juárez, Chihuahua, 2010.
- [9] H. Tjalling Holwerda, «CropKit: Guía de Manejo Nutrición Vegetal de Especialidad “Tomate”,» Santiago de Chile, Chile, 2006.
- [10] P. Caló, *Introducción a la acuaponía*, Centro Nacional de Desarrollo Acuícola- CENADAC., 2011.
- [11] Navarra.es, «Parámetros que miden nutrientes,» [En línea]. [Último acceso: Octubre 2015].
- [12] I. C y S. C, *Técnicas para la agricultura sostenible - El dilema dell fosforo*, Oregon State University, 2009.
- [13] D. C. Love, M. S. Uhl y L. Genello, «Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland, United States,» *Aquacultural Engineering*, vol. 68, pp. 19-27, 2015.
- [14] J. Rakoci, M. Michael y T. Losordo, *Recirculating aquaculture tank production systems*, southern region aquaculture center, 2006.
- [15] M. L. C. H. F. C. R. Garcia, «Evaluación de un sistema experimental de acuaponia,» *Revista de investigación y difusión científica*, p. 3, 25 Noviembre 2004.
- [16] E. Favela, P. Preciado y A. Benavides, *Manual para la preparación de soluciones nutritivas*, U. A. A. A. Navarro, Ed., 2006.
- [17] «Actividades rurales.com,» 2007. [En línea]. Available: <http://www.actividadesrurales.com/laagricultura-tomates-cherry.php>. [Último acceso: 28 Octubre 2015].
- [18] M. García Ulloa, C. León, F. Hernández y R. Chávez, «Evaluación de un sistema experimental de acuaponia,» *Revista de Investigación y difusión científica*, vol. 9, nº 1, Enero-Abril 2005.
- [19] Z. Hu, J. Woo Lee, K. Chandran, S. Kim, A. Coelho Brotto y S. Kumar Khanal, «Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics,» *Bioresource Technology*, vol. 188, pp. 92-98, 2015.

Los Autores



Stefanía Pantoja Viveros

Estudiante de quinto semestre de bioingeniería de la Universidad El Bosque en la ciudad de Bogotá.. Actualmente, líder del Semillero de investigación BIAA- Bioelectrical Impedance Analysis and Applications.



Julian David Montaño Suarez

Estudiante de quinto semestre de bioingeniería de la Universidad El Bosque, técnico en desarrollo grafico de proyectos del SENA, actualidad hace parte del semillero de investigación BIAA.



Laura Andrea Bonilla

Nutricionista dietista de la Universidad Nacional de Colombia, estudiante de Bioingeniería de la Universidad El Bosque.



Cristian David Salcedo

Estudiante de quinto semestre de Bioingeniería en la Universidad EL BOSQUE, de la ciudad de Bogotá. Actualmente hace parte del semillero de investigación BIAA.



Daniel Leonardo Rada Combariza

Estudiante de 5 semestre de Bioingeniería en la universidad El Bosque.



Luis Miguel Casabianca

Ecólogo Pontificia Universidad Javeriana; Especialista en Gerencia de proyectos Universidad El Bosque. Docente de apoyo en los semilleros de Biorremediación de ecosistemas acuáticos y Movilidad Sostenible de la Universidad El Bosque.