



## PRODUCCIÓN DE LECHUGA Y ARAWANA AMAZÓNICA EN SISTEMA ACUAPÓNICO

### PRODUCTION OF LETTUCE AND AMAZONIAN ARAWANA IN AQUAPONIC SYSTEM

Esmeralda Chamorro-Legarda<sup>a</sup> IPA MSc, Camilo L Guerrero-Romero<sup>b</sup> IPA, Eliana Arellano<sup>c</sup>, Jonathan Anganoy<sup>c</sup>, Marcela Botina<sup>c</sup>, Sol de María Bravo<sup>c</sup>, Biviana Cuarán<sup>c</sup>, Dora Cánchala<sup>c</sup>, Alejandra Caicedo<sup>c</sup>, Edisson Castillo<sup>c</sup>, Gabriel Díaz<sup>c</sup>, Karen Díaz<sup>c</sup>, Natalia Gámez<sup>c</sup>, Yilmar Mora<sup>c</sup>, Johana Rosero<sup>c</sup>

Recibido: 22-abr-2016

Aceptado: 07-may-2016

#### RESUMEN

La acuaponía permite aprovechar los desechos orgánicos producidos por algún organismo acuático, utilizándolos como fuente de alimento para las plantas; éstas a su vez, al tomar estos desechos, mejoran la calidad del agua para los peces, actuando como filtro biológico. El presente experimento evaluó dos sistemas acuapónicos: NFT y raíz flotante con arawana plateada y lechuga. Para esto fueron instalados los dos sistemas y un control sin plantas, cada uno con cuatro réplicas, totalizando 12 unidades experimentales. Cada unidad experimental corresponde a un acuario con plantas en sistema NFT o raíz y, para el caso del control, solamente el acuario. Cada acuario fue dispuesto con tres arawanas de  $2,4 \pm 0,17$  g y talla de  $7,53 \pm 0,40$  cm; tres plantas de  $2,05 \pm 0,17$  g y talla de  $8,58 \pm 2,22$  cm. El sistema acuapónico fue instalado en un sistema de recirculación. Se instaló lámparas para controlar el fotoperiodo. Fueron tomados los índices peso y talla de las arawanas y de las lechugas al inicio y fin del experimento. También se evaluó la calidad del agua, midiendo al inicio, medio y final del experimento pH, alcalinidad, conductividad, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, amonio, nitrito, nitrato y ortofosfato; temperatura y oxígeno fueron medidos dos veces al día. Las arawanas fueron alimentadas tres veces al día con alimento comercial 40% de proteína. Las variables de calidad del agua fueron iguales entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ) a excepción de los nitritos, que fueron menores en los tratamientos con plantas respecto al control; la alcalinidad fue mayor para el tratamiento NFT respecto a los otros ( $p < 0,05$ ). Los resultados de este estudio demuestran que las plantas de lechuga son capaces de absorber nitrito y que la supervivencia de las plantas no se vio influenciada por el sistema ( $p < 0,05$ ).

**Palabras clave:** *Lactuca sativa*, *Osteoglossum bicirrhosum*, recirculación, biofiltro, calidad del agua

#### ABSTRACT

Aquaponics enable us to take advantage of organic waste produced by some aquatic organisms using them as a food source for plants; when the plants take this kind of waste, the water quality improve for

<sup>a</sup> Profesora Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.  
[esmeraldachamo@hotmail.com](mailto:esmeraldachamo@hotmail.com)

<sup>b</sup> Laboratorios de Acuicultura, Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

<sup>c</sup> Estudiantes de Ingeniería en Producción Acuícola, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

the fish by acting as a biological filter. This experiment evaluated two aquaponic systems: NFT and floating root with arawana silver and lettuce. To do this, these two systems and a control without plants were installed with four replications each, with a total of 12 experimental units. Each experimental unit corresponded to an aquarium with plants in NFT or root system, and for the control only the aquarium. Each aquarium was provided with 3 arawanas 2.4±0.17 g and 7.53±0.40 cm size; and 3 levels of 2.05±0.17 g and 8.58±2.22 cm size. The aquaponic was installed in a recirculation system; besides, lamps to control the photoperiod were installed. Indices of weight and height of the arawanas and lettuce were taken at the beginning and at the end of the experiment. The water quality was also evaluated by measuring pH, alkalinity, conductivity, sedimentable solids, suspended solids, ammonia, nitrite, nitrate, and orthophosphate at the beginning, in the middle, and at the end of the experiment; temperature and oxygen were also measured twice a day. The arawanas were fed 3 times a day with commercial food 40% protein. The water quality variables were similar between treatments ( $p>0.05$ ), except nitrites that were lower in treatments with respect to control plants, and alkalinity was higher for NFT compared to the other treatments ( $p<0.05$ ). The results of this study showed that lettuce plants are able to absorb nitrite, and the survival of the plants was not influenced by the system ( $p<0.05$ ).

**Keywords:** *Lactuca sativa*, *Osteoglossum bicirrhosum*, recirculation, biofilter, water quality

---

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado de la acuicultura en Colombia ha sido equiparable al incremento mundial de esta actividad, teniendo en los últimos 27 años un promedio de 13% anual<sup>[1]</sup>. La arawana plateada pertenece al orden Osteoglossiformes, familia Osteoglossidae; es un pez de escamas, con cuerpo alargado y comprimido lateralmente, que tiene como característica importante el gran tamaño de su aleta anal, la cual ocupa casi el 50% de la longitud del individuo. Posee boca grande e inclinada, con dientes pequeños y filosos en las mandíbulas. Su lengua es ósea, siendo esta la principal característica<sup>[2]</sup>. Aunque el dimorfismo sexual no es tan evidente, es posible distinguir machos de hembras en su estado adulto, principalmente en la época de apareamiento. Las principales diferencias se encuentran en la cavidad bucal, cuya capacidad es mayor en los machos<sup>[2]</sup>.

Esta es una especie que tiene un alto precio comercial, por ser un animal exótico, gracias a su coloración azul-plateada y su movimiento armónico, que lo hacen llamativo y atractivo para los acuarios<sup>[3]</sup>. Al ser un pez ornamental, la pesca exhaustiva, lo ha llevado a ser una especie vulnerable. Una de las principales razones de su pesca indiscriminada es el comercio ilegal hacia el exterior, donde los alevinos, dependiendo de su longitud, llegan a costar entre 5 y

25 dólares cada uno<sup>[3]</sup>; un adulto que puede llegar a medir 1,20 cm, en el mercado internacional tiene un costo de US\$100-500<sup>[3]</sup>.

Por otra parte, la lechuga (*Lactuca sativa*) es una planta herbácea que, en un sistema acuapónico, se encarga de absorber los diferentes compuestos proporcionados por las heces y la descomposición de alimentos; ésta absorbe en mayor cantidad el potasio, seguido por el nitrógeno y el fósforo<sup>[4]</sup>. Por otra parte, la deficiencia de nitrógeno en la lechuga provoca disminución del crecimiento y del vigor de las plantas, hojas de tamaño pequeño, color verde pálido, tallo hueco y coloración parda oscura en el xilema<sup>[4]</sup>. Al encontrar exceso de nitrógeno, logra un gran desarrollo vegetativo, aumento del tamaño de la hoja, retraso del acogollado, y sensibilidad al ataque de hongos fitopatógenos<sup>[4]</sup>.

La deficiencia de fósforo en lechuga provoca un color verde oscuro, el desarrollo se reduce, el tamaño de las hojas disminuye las hojas más viejas adquieren un aspecto bronceado y, en casos extremos, las plantas no logran acogollar<sup>[4]</sup>.

Por otra parte, la acuaponía es el cultivo integrado de vegetales con peces de agua dulce. No se trata de la simple unión de la acuicultura y la hidroponía, sino de la creación de un nuevo sistema de cultivo a partir de dos unidades que no parecieran estar destinadas a ir de la mano

<sup>[5]</sup>. En este sistema, los peces proporcionan cantidades adecuadas de la mayoría de los nutrientes que las plantas necesitan para su crecimiento <sup>[2]</sup>. Estos nutrientes son generados por la mineralización de la materia orgánica (heces y restos de alimento) y la propia excreción de los peces. Estos desechos, tóxicos para los peces, en pequeña concentración, deben ser eliminados inmediatamente del agua de cultivo <sup>[5]</sup>. Por su parte, las plantas, al retirar del medio el amonio, a través de absorción directa, o tomando el nitrato producto de la oxidación del amonio por las bacterias nitrificantes, actúan a modo de filtro biológico, depurando el agua que retorna al tanque de peces en adecuadas condiciones.

Dentro del sistema acuapónico los peces, las bacterias (principalmente las nitrificantes) y las plantas, tienen un rol que permite el correcto funcionamiento del sistema <sup>[5]</sup>. Existen tres sistemas acuapónicos principales <sup>[6]</sup>: a) basado en sustrato, b) raíz flotante o balsa y c) técnica de lámina de nutrientes o NFT.

En este sentido, la acuicultura enfrenta dentro de sus principales retos el manejo adecuado de sus aguas residuales. Estas aguas suelen estar cargadas de sólidos, moléculas tóxicas en solución, residuos químicos provenientes de excretas, medicamentos y alimentos no consumidos, los cuales son comúnmente vertidos en suelos o cuerpos de agua adyacentes, produciendo impactos negativos en el medioambiente, haciendo que alternativas, como los sistemas de recirculación acuícola (SRA) y tratamiento de aguas, sean una opción viable e interesante para mitigar los impactos ambientales negativos <sup>[7]</sup>.

La acuaponía hace uso eficiente de lo que, de otro modo, serían considerados residuos orgánicos, además de reutilizar el agua de descarga

o efluente del sistema acuícola. Una ventaja adicional es que en esta integración de plantas y peces no es necesario el uso de pesticidas químicos ni medicamentos. De esta forma, los aspectos negativos potenciales de la acuicultura y la acuaponía se tratan en una forma viable y sostenible; es decir, se obtienen mayores beneficios que por separado cada una <sup>[8, 9]</sup>.

Las técnicas de acuaponía surgen de los avances tecnológicos en la mejora de los sistemas acuícolas y la búsqueda de reducir los efectos o impactos contaminantes de las aguas de desecho de la acuicultura. Adler et al <sup>[10]</sup> explican que los tratamientos convencionales de las descargas de la acuicultura, representa un costo adicional significativo y con la acuaponía se utilizan estas aguas de desecho, ricas en nutrientes en sistemas de recirculación, en una forma más económica y rentable. De hecho, ésta técnica ya tiene sus años; comenzó con la creación de plantas de tratamiento a partir de humedales, en donde se les hacían llegar los efluentes, para que las plantas procesaran el agua, llamado biorremediación <sup>[11]</sup>.

Debido a la poca información sobre los sistemas de producción acuapónicos, es necesario realizar investigaciones que aporten conocimiento relevante acerca de la interacción entre peces, planta y agua. Por lo anterior realizó un experimento de acuaponía, para integrar el cultivo de organismos como peces y plantas y, de esa manera, mejorar la calidad del agua y reutilizar los nutrientes generados por la acuicultura, para generar biomasa de plantas.

En este sentido, el presente trabajo pretendió en evaluar un cultivo acuapónico de arawana, conjuntamente con lechugas, en las técnicas de raíz flotante y NFT, comparadas con un control sin plantas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

El presente estudio se realizó en el sistema de recirculación del Laboratorio de Ornamentales del programa de Ingeniería en Producción Acuícola de la Universidad de Nariño, en Pasto, Colombia.

### Material Biológico

**Peces.** Se utilizó 36 ejemplares de arawana plateada (*Osteoglossum bicirrhosum*), cuyo peso promedio fue de  $2,4 \pm 0,17$  g y una talla promedio de  $7,53 \pm 0,40$  cm.

## Artículo de Investigación

**Plantas.** Se utilizó 36 plántulas de lechuga (*Lactuca sativa*), con peso promedio de  $2,05 \pm 0,17$  g y talla de  $8,58 \pm 2,22$  cm.

**Montaje del sistema acuapónico.** Se dispuso, en primera instancia, las unidades de cultivo y se adecuó cada unidad en diferentes tratamientos, elegidos aleatoriamente (Raft, NFT y control), para finalmente distribuir un caudal donde se encuentran las lechugas.

**Siembra de Lechuga.** Se adquirió plántulas de lechuga de 2,05 g de peso y 8,58 cm de altura, en promedio; se procedió a retirar la tierra de su raíz con ayuda de agua; fueron medidas y pesadas; posteriormente se colocaron en vasos con gravilla y finalmente en poliestireno o en tubos de PVC, como medio soporte, de acuerdo con los tratamientos.

### **Alimento y alimentación de peces**

El alimento utilizado contenía 40% de proteína, peletizado, por lo cual presentó poco tiempo de flotabilidad en la superficie del agua. La proporción de porcentaje de alimentación fue del 6% de la biomasa, ración que fue suministrada tres veces por día.

### **Muestreos**

**Muestreo de peces.** Se realizaron dos muestreos durante el periodo de estudio, para determinar talla y peso.

**Muestreo de Lechuga.** Esta actividad se realizó al iniciar y finalizar el ensayo, con el fin de determinar el incremento de peso y talla de las plantas utilizadas. Se procedió a retirar el medio soporte de las lechugas, luego se pesaron y midieron.

### **Diseño experimental**

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), evaluando tres tratamientos, con cuatro repeticiones cada uno, distribuidos aleatoriamente dentro de la batería experimental. Los tratamientos fueron los siguientes:

T0: tratamiento control sin plántulas

T1: unidades experimentales con tres plántulas de lechuga (*Lactuca sativa*), en NFT (Nutrient Film Technique)

T2: unidades experimentales con tres plántulas de lechuga (*Lactuca sativa*), en Raft (raíz flotante)

### **Calidad del agua**

Inicialmente, en las primeras semanas, se tomó cuatro muestras aleatorias para realizar estos análisis; posteriormente, se hizo de manera semanal, a partir de las diferentes unidades experimentales que conformaban cada uno de los tratamientos.

Para estos análisis se utilizó un espectrofotómetro Hach para nitritos, nitratos, amonio y ortofosfato. Se midió la cantidad de sólidos sedimentables, sólidos disueltos, pH y conductividad. La temperatura y el oxígeno disuelto se midieron con una sonda multiparámetros YSI. La alcalinidad se midió por titulación.

### **Índices de producción**

Al iniciar el experimento se pesó y se midió los peces y las plantas, medidas que fueron tomadas posteriormente, en cada uno de los muestreos realizados a lo largo del experimento. El conteo de animales muertos se hizo diariamente, para calcular el porcentaje de supervivencia.

### **Análisis estadístico**

Para los datos correspondientes a cada una de las variables evaluadas, se aplicó un análisis de varianza ANOVA, con medidas repetidas en el tiempo, para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos. Previamente se comprobó los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia de los errores. En las variables que presentaron diferencias significativas se aplicó una prueba de comparación múltiple de Tukey, para comparar las medias de los tratamientos. Todas las pruebas se hicieron con un nivel de confianza de 0,05.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Calidad del agua

El agua inicial tuvo una temperatura de  $26,4 \pm 0,65^\circ\text{C}$ , oxígeno disuelto de  $4,16 \pm 0,58$  mg/L, pH  $7,55 \pm 0,05$ , alcalinidad de  $9,5 \pm 1,0$ , amonio  $0,01 \pm 0,01$  mg/L, nitrito  $1,0 \pm 0,01$  mg/L, nitrato  $3,28 \pm 0,22$  mg/L, ortofosfato  $0,69 \pm 0,04$  mg/L, conductividad  $153,02 \pm 4,51$   $\mu\text{S/cm}$ , sólidos disueltos  $94,80 \pm 8,75$  mg/L y sólidos sedimentables  $0,50 \pm 1,00$  mg/L.

En la Tabla 1 se muestra los resultados del comportamiento de las variables de calidad de agua en el periodo de estudio, en el cual se puede observar que en las variables de temperatura, oxígeno disuelto, pH, amonio, nitratos, ortofosfato y conductividad fueron no presentaron diferencia significativas entre tratamientos ( $p > 0,05$ ), mientras que las variables alcalinidad y nitritos fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos.

**Tabla 1. Variables de calidad del agua en el cultivo hidropónico de *Lactuca sativa* y *Osteoglossum bicirrhosum*.**

Trat	T ( $^\circ\text{C}$ )	OD (mg/L)	pH	CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	N-NH <sub>4</sub> (mg/L)	N-NO <sub>2</sub> (mg/L)	N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	Cond. ( $\mu\text{S/cm}$ )
Control	28,82	3,59	7,04	5,70 <sup>ab</sup>	0,0100	1,500 <sup>a</sup>	4,0100	1,770	151,74
NFT	29,08	3,56	7,04	7,430 <sup>a</sup>	0,0100	0,880 <sup>b</sup>	4,0100	1,930	149,80
Raíz	29,25	3,55	7,02	5,210 <sup>b</sup>	0,0200	0,880 <sup>b</sup>	2,6600	1,790	150,80
$\bar{Y}$ (Trat)	0,2864	0,9863	0,3282	0,0181	0,4402	0,0293	0,2541	0,760	0,6791
$\bar{Y}$ (Tiempo)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	0,2377	0,0023	0,025	0,1226
$\bar{Y}$ (Trat $\times$ Tiempo)	0,6816	0,5089	0,2489	0,0181	-	0,2049	0,2033	0,299	0,5224

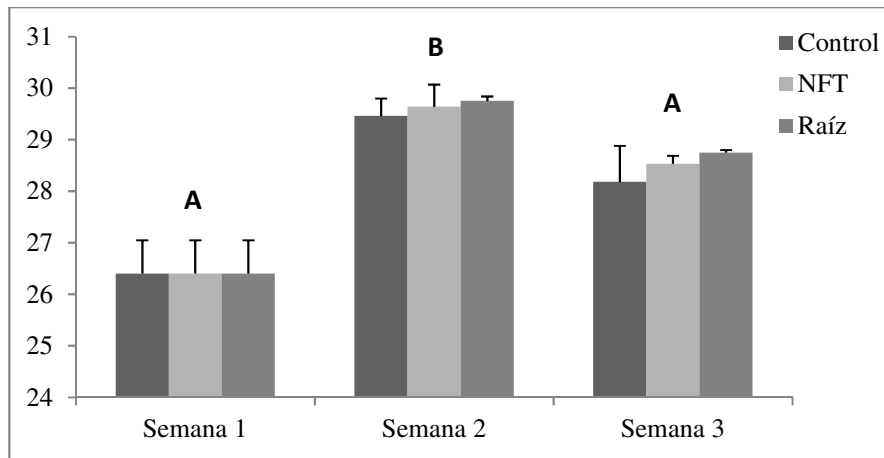
Trat: Tratamiento; n = 4. T: temperatura; OD: oxígeno disuelto; Cond: conductividad

En cuanto a la variable correspondiente a la temperatura del agua, sólo los valores de la segunda semana de estudio presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), con un mayor valor ( $30^\circ\text{C}$ ) (Figura 1) afectando la supervivencia de las plantas de lechuga (*L. sativa*) principalmente en el tratamiento de raíz flotante (58%). Según algunos autores, en sistemas acuapónico se debe tener muy en cuenta, los requerimientos de temperatura y pH tanto de las plantas, como de los peces cultivados, debido a que esto garantiza que se obtengan buenos resultados<sup>[12]</sup>.

La mortalidad de las plantas, en el tratamiento de NFT, posiblemente se debe a que durante la fase de crecimiento las lechugas requieren temperaturas entre  $14$  y  $18^\circ\text{C}$  durante el día y de  $5$  a  $8^\circ\text{C}$  en la noche, dado que la lechuga exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche<sup>[13]</sup>, situación contraria a la presentada en el sistema estudiado, donde la temperatura fue constante a lo largo del día y de la noche, la cual superó los rangos aceptables de

las plantas, a favor de cumplir los requerimientos necesarios de los peces.

En cuanto al oxígeno disuelto, mostró una caída en la semana 2 (Figura 2), cuyas diferencias resultaron significativas con respecto a las demás, en todos los tratamientos ( $p < 0,05$ ); sin embargo, los valores de oxígeno disuelto estuvieron por encima de  $3,5$  mg/L en todo el periodo de estudio, el cual debe mantenerse por encima de  $3$  mg/L, siendo preferible una concentración igual o mayor a  $5$  mg/L, tanto para plantas como para peces, debido a que estos últimos lo necesitan sobrevivir y crecer; también las raíces de las plantas se ven beneficiadas por la presencia de oxígeno disuelto en el agua del sistema, ya que previene la pudrición de las raíces, al estar sumergidas durante el paso de ésta a través del sistema hidropónico<sup>[14]</sup>. De encontrarse disminuido el oxígeno, no se realizará una buena nitrificación, restando desechos metabólicos sin filtrar, acumulándose en concentraciones tóxicas para los peces<sup>[12]</sup>.



**Figura 1. Temperatura en °C durante las tres semanas de experimento.**  
Letras diferentes indican diferencias significativas.

Por otra parte, durante el desarrollo del trabajo los valores de pH tendieron a disminuir en cada tratamiento a través del tiempo, observando diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en cada semana de estudio como se muestra en la Figura 3; estos valores de pH siempre tendieron a disminuir en todos los tratamientos, manteniéndose en un rango de 6,8 a 7,2 (con una variación de pH de 0,2 unidades por semana).

El pH es un factor que interviene en varios procesos entre los que se destaca la intervención en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, ya que nutrientes esenciales como el hierro, manganeso, cobre, zinc y boro, se encuentran menos disponibles para las plantas a pH mayores de 7,5; mientras que la solubilidad del fósforo, calcio y magnesio, disminuye con pH menor a 6<sup>[6]</sup>; también en el proceso de nitrificación, la cual puede ocurrir en un rango muy variado de pH como 6 a 9<sup>[15]</sup>, pero algunos autores sostienen que el rango óptimo se encuentra entre 7,2 a 7,8<sup>[16]</sup>; sin embargo en el presente estudio los valores de pH, aunque fueron disminuyendo semanalmente, no afectó en gran medida el sistema.

La reducción del pH puede deberse a que el metabolismo de los peces lleva a la producción de dióxido de carbono y a la nitrificación, que se efectúa en el biofiltro del sistema de recirculación, generando una baja en los valores de pH<sup>[17]</sup>; pero son aptos tanto para las plantas como los peces.

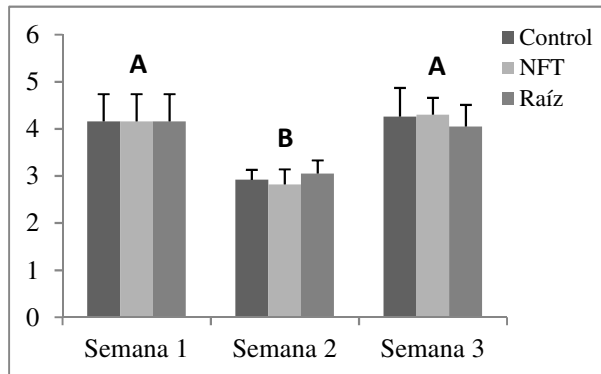
En algunos estudios<sup>[18]</sup> se ha observado que valores bajos de pH, en sistemas acuapónicos

con goldfish y lechuga, han producido bajo crecimiento en los peces y decoloración de las plantas, por la escasa disponibilidad de nutrientes en el agua; algunos autores recomiendan, en casos de descenso de pH en sistemas acuapónicos, ser subsanado con la adición de hidróxido de calcio, hidróxido de potasio, carbonato de calcio o carbonato de potasio, según la conveniencia del productor, debido a que estas sustancias no son perjudiciales para las plantas y pueden corregir el problema presentado<sup>[12]</sup>.

Con referencia a la alcalinidad, en el estudio se presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos (Tabla 1) y en el tiempo (Figura 4), presentándose un mayor valor de alcalinidad en el tratamiento NFT; esto debido a que en este sistema el agua pasa constantemente por las plantas y no existe un tiempo de retención hidráulica adecuado, tampoco existe una maduración completa de las bacterias del biofiltro, lo cual explica el aumento de alcalinidad en la semana 2, como se muestra en la Figura 4; al final del estudio, los valores de alcalinidad bajan drásticamente debido a una mayor eficiencia de nitrificación del biofiltro, que implica un consumo de la alcalinidad y la disminución del pH<sup>[19]</sup>.

Son numerosas las sustancias catalogadas como inhibitoras o tóxicas para la nitrificación; se pueden encontrar metales y compuestos inorgánicos: zinc, cobre y níquel<sup>[20]</sup>, cianuro y cobre<sup>[21]</sup>, níquel y cadmio<sup>[22]</sup>, arsénico, cromo y fluoruro<sup>[23]</sup>. También se debe considerar que la velocidad de nitrificación está influenciada por la temperatura, debido que este parámetro

afecta tanto la eficiencia de nitrificación en el biofiltro, por lo que las variaciones durante todo

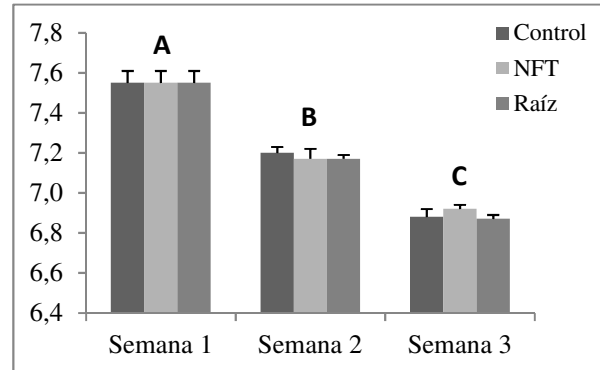


**Figura 2. Comportamiento del oxígeno disuelto (mg/L) durante tres semanas de experimento.** Letras diferentes indican diferencias significativas.

El nitrito presentó diferencias significativas entre los tratamientos, pero se mantuvo estable en el tiempo de cultivo experimental, siendo menor en los tratamientos con plantas (NFT y raíz), demostrando así que las plantas son capaces de absorber este nitrito; esto debido a los desechos de los peces, que proveen una fuente de alimentos para las bacterias nitrificantes, y estas convierten los desechos tóxicos en nutrientes útiles para las plantas; parte del nitrato producido es fácilmente absorbido por las plantas, que lo emplean en la síntesis de proteínas vegetales [24]. Hay varios reportes similares de concentración de nitrito (0,8 mg/L) [18].

Por otro lado, los datos de amonio no permitieron realizar ANOVA en razón a que la variación en la semana 2 fue cero, haciendo difícil de analizar su comportamiento durante el periodo de estudio. Sin embargo, los niveles más bajos de amonio se obtuvieron en el inicio del experimento, en todos los tratamientos (0,00 mg/L); los niveles más altos fueron observados al finalizar el experimento, siendo el tratamiento de raíz flotante el que obtuvo el valor más alto (0,04 mg/L); en casos contrarios, cuando la concentración de amonio baja de 6,7 mg/L, a valores constantes entre 0,1 y 0,7 mg/L, en un sistema acuapónico con lechuga y goldfish, el aumento en los niveles de amonio al final del experimento se deben al exceso de ali-

el experimento afectaron los datos finales de la variable amonio.

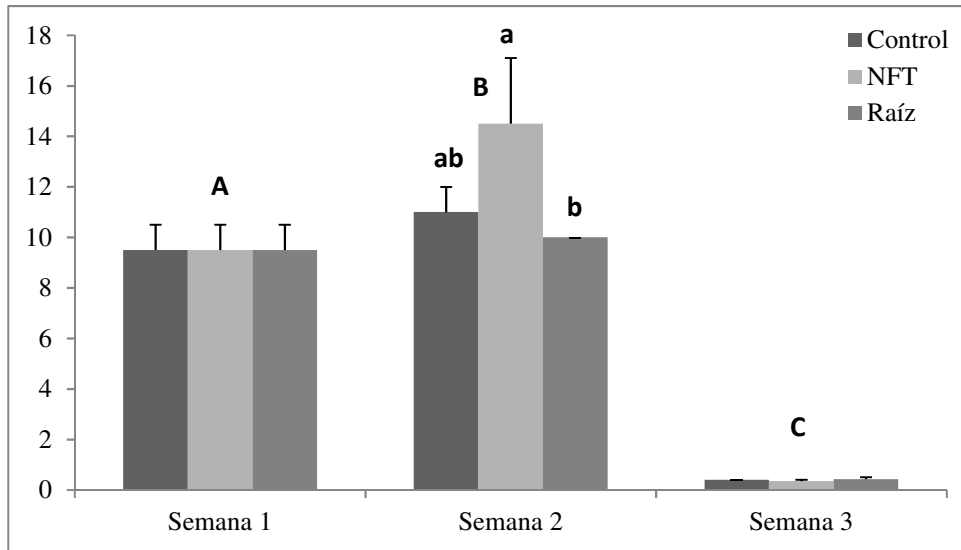


**Figura 3. Comportamiento del pH durante las tres semanas de experimento.** Letras diferentes indican diferencias significativas.

mento en el sistema y a la acumulación de excretas de los peces, que no pudieron ser removidas por el biofiltro, y también por el uso de un producto para el control de parásitos (ParaGuard™), que fue adicionado al sistema, afectando la población de bacterias nitrificantes del biofiltro.

El nitrato no presentó diferencias entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ), pero sí en el transcurso del experimento, como se observa en la Figura 5; siendo mayor en la semana 2 y menor en la semana 3. En este caso, en general, se cumple lo descrito por Buttner [25], en donde todos parten de una cantidad nula de nitrato y con el paso del tiempo se va acumulando, hasta obtener una concentración constante; sin embargo, en el presente estudio se parte de una concentración dada de nitrito, debido a que el sistema ya estaba en funcionamiento, aunque sin plantas.

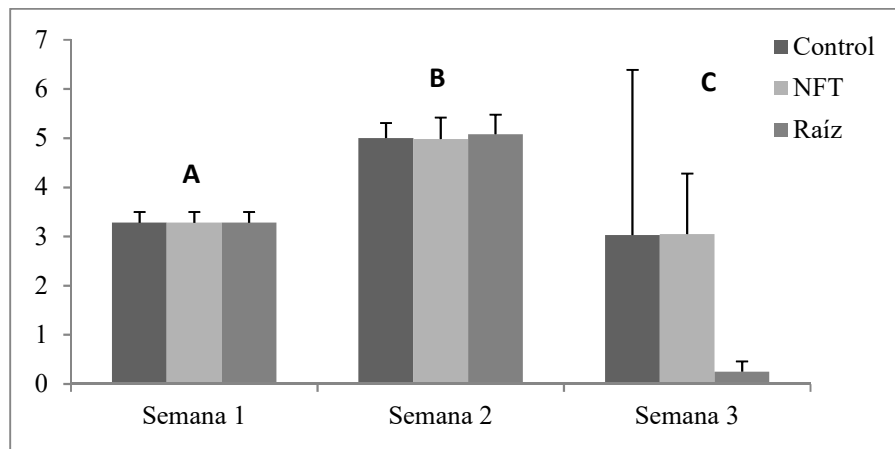
Después, en la semana 2 se observa un aumento de las concentraciones de nitrato, lo que puede ser explicado por la acción de las bacterias de biofiltro, las cuales transforman el amonio hasta nitrato [15]; esto también permite afirmar que las bacterias trabajaron correctamente en ese proceso bioquímico; adicionalmente, se sugiere que las plantas han utilizado dicho nitrato, pues el nivel no se incrementó más allá de 8 mg/L, lo que explica una reducción de nitrato en los tratamientos de raíz y NFT.



**Figura 4. Comportamiento de la alcalinidad (mg/L) durante tres semanas de experimento.** Letras diferentes indican diferencias significativas.

Otro aspecto importante que se puede sugerir a partir de los resultados encontrados en cuanto a variables de calidad del agua, es que el sistema diseñado brinda las condiciones para

que prosperen estas poblaciones bacterianas en el biofiltro, lo cual puede deberse a las condiciones óptimas para la proliferación de las colonias.

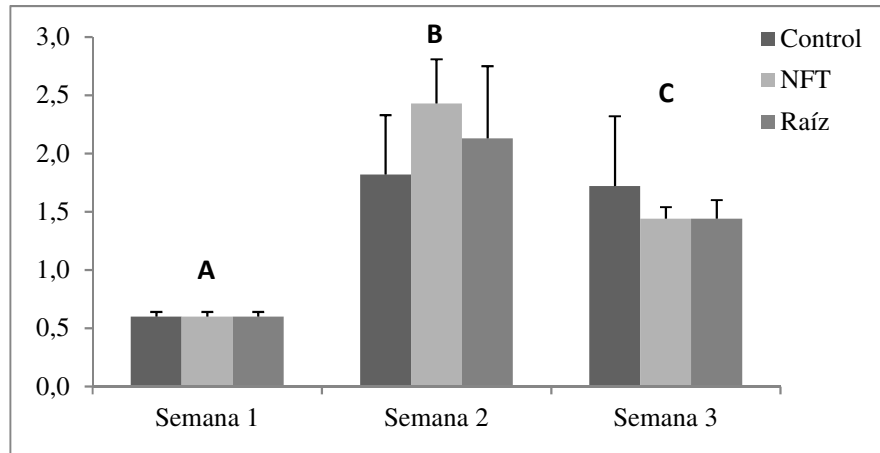


**Figura 5. Comportamiento del nitrato en mg/L durante las 3 semanas de experimento.** Letras diferentes indican diferencias significativas.

En cuanto a la variable ortofosfato, no tuvo diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ), pero fue mayor en la semana 2 como se observa en la Figura 6. Este aumento puede explicarse gracias al aumento de bacterias descomponedoras en el biofiltro, las cuales transforman las moléculas complejas en formas asimilables para las plantas [24]; ya en la tercera semana se observa una disminución de fósforo en

el sistema, debido a que en el biofiltro las bacterias producen fósforo en forma de ortofosfatos ( $H_3PO_4$ ), que consumen las plantas. Datos similares de comportamiento han sido reportados por algunos autores [26], en cuyos estudios los niveles de fósforo disminuyen a concentraciones aceptables para trucha arcoíris (0,05 mg/L) utilizando lechuga en un sistema de raíz flotante.





**Figura 6. Comportamiento del ortofosfato (mg/L) durante 3 semanas de experimento.** Letras diferentes indican diferencias significativas.

### Índices productivos

**Plantas.** En el crecimiento de las plantas, el peso final no presentó diferencias significativas

( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos NFT y raíz, pero la talla fue significativamente ( $p < 0,05$ ) mayor en el tratamiento NFT con respecto al tratamiento de raíz (Tabla 2).

**Tabla 2. Peso y talla de las plantas de lechuga en las tres semanas de experimento.**

Tratamiento	Peso final (g)	Talla final (cm)	Supervivencia (%)
Control	-	-	-
NFT	3,15±0,42	14,7±1,3 <sup>a</sup>	75±58
Raíz	2,27±0,72	12,2±0,8 <sup>b</sup>	58±42
p-valor	0,0907	0,0472	0,5504

Letras diferentes indican diferencias significativas.

Esta particularidad, posiblemente, pudo deberse a la disposición con respecto a la luz, dado que las lámparas utilizadas no alcanzaban a iluminar por completo las plantas, y las más favorecidas en cuanto a luminosidad fueron las correspondientes al tratamiento NFT.

Por otra parte, la supervivencia en el tratamiento NFT fue superior con 17% respecto al tratamiento raíz, posiblemente debido a la influencia de la temperatura como de la luminosidad. Algunos estudios evidencian el ataque de enfermedades, como el *Pythium*, un hongo que comúnmente afecta las raíces de las plantas cuando la temperatura del agua se mantiene por encima de los 27°C. No existe tratamiento conocido para esta afección, salvo la disminución de la temperatura del agua para lograr la eliminación del hongo [12].

La falta de luz también causa daños en las plantas, manifestada con síntomas visibles

minar por completo las plantas, y las más favorecidas en cuanto a luminosidad fueron las correspondientes al tratamiento NFT.

como la pudrición, muertes de tejidos (necrosis), decoloración de las hojas diferentes de la normal (clorosis), entre otras [13].

**Peces.** En términos generales, la supervivencia de la población de arawanas (*O. bicirrhosum*) fue alta, estimada alrededor del 92%. Sin embargo, es importante resaltar que la mortalidad se presentó solo en dos de las réplicas de los tratamientos de NFT, cuyas causas seguramente estuvieron relacionadas con el estrés producido por la instalación del sistema acuapónico en los diferentes acuarios, provocando que las arawanas dejaran de comer.

## CONCLUSIONES

La alcalinidad y los nitritos presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos, debido a que no existió un tiempo de retención hidráulica adecuado y una maduración completa de las bacterias en el biofiltro.

Los niveles de nitritos demostraron que las plantas fueron capaces de absorber altos contenidos, generando así niveles menos tóxicos para los peces.

El peso final de las plantas no presentó diferencias ( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos NFT y raíz, pero la talla fue significativamente mayor en el NFT, con respecto al de raíz.

La supervivencia de la plantas fue igual para los tratamientos NFT y raíz, ocasionada por la alteración y los cambios en la temperatura, al igual que la incidencia de luz.

La supervivencia de los peces fue del 92%, cuya mortalidad, sólo en dos de las repeticiones de los tratamientos NFT, causada por el estrés producido debido a la instalación del sistema acupónico en los acuarios, situación que provocó que las arawanas dejaran de alimentarse.

Para estudios futuros se recomienda optimizar la incidencia de luz hacia el sistema acuaponico, ya que este es un factor clave para su crecimiento y supervivencia.

Debido a la falta de información relacionada con procesos de acuaponia con arawana, se recomienda realizar más investigaciones utilizando un mayor número de peces y plantas, al igual que y evaluar en un periodo más prolongado.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen al Programa de Ingeniería en Producción Acuícola de la Universidad de Nariño, por fomentar y financiar este proyecto académico. Igualmente al Ingeniero Camilo Lenin Guerrero por el apoyo y

orientación en el manejo de la calidad del agua. A la profesora Vilma Yolanda Gómez y sus estudiantes del proyecto de arawanas por realizar la alimentación, biometrías y permitirnos trabajar en conjunto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Esquivel MA, Restrepo JJ, Narváez A, Polo CJ, Plata J, Puentes V. Estado de la pesca y la acuicultura 2014. Documento de compilación de información. Bogotá: Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca; 2014.
- [2] Landines MA, Ureña FR, Mora JC, Sanabria LR, Herazo AI, Giraldo JB. Producción de peces ornamentales en Colombia. Bogota; 2007.
- [3] Rodríguez C, Alonso J, Landines M. Evaluación de cuatro modelos de crecimiento en juveniles de arawana (*Osteoglossum bicirrhosum*) manejada en cautiverio en Amazonia Colombiana. Presentación de Poster. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2005.
- [4] Tarigo A, Repetto C, Acosta D. Evaluación agronómica de biofertilizantes en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) a campo. Montevideo [Uruguay]: Universidad de la Republica, Facultad de Agronomía; 2004.
- [5] Quevedo FJ. La acuaponía, algo más que producir peces y hortalizas. [en línea]. Ipac.acuicultura; 2011. Consultado el [13 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: [http://www.ipacuicultura.com/noticias/en\\_portada/18670/la\\_acuaponia\\_algo\\_mas\\_que\\_producir\\_peces\\_y\\_hortalizas.html](http://www.ipacuicultura.com/noticias/en_portada/18670/la_acuaponia_algo_mas_que_producir_peces_y_hortalizas.html)
- [6] Rakocy JE, y Masser M P. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics. Integrating Fish and Plant Culture. Southern Regional Aquaculture; 2006. 454 p.
- [7] Pillay TV, Kutty MN. Aquaculture: principles and practices. Second edition. UK: Blackwell Publishing; 2005.

- [8] Aguilera-Morales ME, Hernández-Sánchez F, Mendieta-Sánchez E, Herrera-Fuentes C. Producción integral sustentable de alimentos. *Ra Ximhai*. 2012; 8(3).
- [9] Nelson LR. Aquaponics food production. In: Nelson and Pade (eds). *Raising fish and profit*. First Edition. Virgin Islands; 2008.
- [10] Adler PR, Harper JK, Wade EM, Takeda F, Summerfelt ST. Economic analysis of an aquaponic system for the integrated production of rainbow trout and plants. *International Journal of Recirculating Aquaculture*. 2000; 1: 10-13.
- [11] Mateus J. Acuaponía: hidroponía y acuicultura, sistema integrado de producción de alimentos. Boletín No 44. Lima [Perú]: Red Hidroponía; 2009.
- [12] Caló P. Introducción a la acuaponía. Buenos Aires: Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC); 2011.
- [13] Zumel MG. Cultivos herbáceos intensivos. España: Universidad de Valladolid; 2013.
- [14] Colagrosso A. Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala. Tesis de Investigación. Costa Rica: Prima edizione digitale; 2014.
- [15] Wheaton FH. Nitrification filter principles. In: Timmons MB, Losordo TS (eds). *Aquaculture Water Reuse Systems: Engineering Design and Management*. Elsevier; 1994.
- [16] Timmons MB. *Recirculating aquaculture systems*. EUA: Northeastern Regional Aquaculture Center; 2002.
- [17] Masser P. *Recirculating aquaculture tank production system*. *Management of Recirculating Systems*; 1999. 452.
- [18] Ramírez DS. Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico goldfish-lechuga. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*; 2009. 5 (1): 154-170.
- [19] Muyo JC. Eliminación biológica de nitrógeno en un efluente con alta carga: estudio de los parámetros del proceso y diseño de una depuradora industrial. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona. 2000.
- [20] Grunditz C, Gumaelius LA. Comparison of inhibition assays using nitrogen removing bacteria: application to industrial wastewater. *Wat. Res.* 1998; 2995-3000.
- [21] Kong Z, Vanrolleghem P, Willems P. Simultaneous determination of inhibition kinetics of carbon oxidation and nitrification with a respirometer. *Wat. Res.* 1996; 825-836.
- [22] Benmoussa H, Martin G, Tonnard F, Richard Y, Leprince A. Inhibition study of nitrification by organic compounds. *Wat. Res.* 1986; 20: 1465-1470.
- [23] Beg S, Siddiqui R. Inhibition of nitrification by arsenic, chromium, and fluoride. *J. Wat. Poll. Con. Fed.* 1982; 482-488.
- [24] Diver S. *Aquaponics: integration of hydroponics with aquaculture*. Australia: National Center for Appropriate Technology (NCAT); 2006.
- [25] Buttner J. System set-up and conditioning. In: Hanes F and Cookson C (eds). *Recirculating aquaculture set-up chronological assistance letters*. Boston: New England Board of Higher Education; 2000.
- [26] Chamorro-Legarda E, Morillo-Noguera M, Burbano-Criollo E, Casanova-Díaz D, Mejía-Morán E, Pecillo-Nupan E, Sánchez-Ortiz I. Diseño, montaje y evaluación preliminar del desempeño de un sistema acuapónico, utilizando lechuga (*Lactuca sativa*) y trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en un sistema de recirculación acuícola. Pasto [Colombia]: Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Pecuarias, Programa de Ingeniería en Producción Acuícola; 2011.