

**Evaluación de la eficiencia de un sistema de acuaponía por biofiltración en el sistema RAS**

**Trabajo de grado para optar por título de zootecnista**

**Laura Mesa Villegas**

**Asesor  
Luz Adriana Gutiérrez  
PhD Biotecnología- MSc. Bióloga  
Docente programa Zootecnia**

**Unilasallista Corporación Universitaria  
Facultad de ciencias agropecuarias y administrativas  
Zootecnia  
Caldas-Antioquia  
2021**

## Contenido

Lista de tablas.....	3
Lista de ilustraciones.....	4
Lista de Gráficas.....	5
Resumen.....	6
Introducción.....	7
Objetivos.....	9
Objetivo general:.....	9
Objetivos específicos:.....	9
Marco teórico.....	10
Sistemas de recirculación acuícola “SRA”.....	10
Aplicaciones de los sistemas RAS.....	11
Integración con otros cultivos.....	11
En sistemas de Acuaponía.....	11
Acuaponía.....	12
Especie piscícolas en Acuaponía.....	13
Tilapia ( <i>Oreochromis sp</i> ).....	13
Plantas.....	13
<i>Lechuga</i> .....	14
Calidad de agua.....	14
Temperatura.....	14
Oxígeno disuelto.....	14
pH.....	15
Amoníaco.....	15
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ).....	15
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	16
Filtración biológica.....	16
Metodología.....	18
Localización del área de estudio.....	18
Material biológico.....	18
Proceso técnico.....	20
Germinación de la Semillas de Lechuga.....	20
Cultivo de Tilapia ( <i>Oreochromis sp</i> ).....	23
Control de parámetros.....	23
Variables Zootécnicas.....	23
Producción de los Vegetales.....	24
Resultados.....	25
Cultivo de peces: Tilapia Roja ( <i>Oreochromis sp</i> ).....	26
Producción de lechuga.....	28
Discusión.....	31
Crecimiento de los peces Tilapia Roja ( <i>Oreochromis sp</i> ) y calidad de agua.....	31
Conclusiones.....	33
Bibliografía.....	34

**Lista de tablas**

Tabla 1. ANOVA para Nitritos .....	25
Tabla 2. Ganancia en peso de Tilapia.....	26
Tabla 3. ANOVA para diferencias entre los pesos tomados durante las 4 semanas de ensayos.....	27

**Lista de ilustraciones**

Ilustración 1. Componentes básicos de un sistema RAS .....	12
Ilustración 2. Semillas de lechuga .....	19
Ilustración 3. Pesaje inicial de juveniles tilapia roja .....	20
Ilustración 4. Juveniles de tilapia roja .....	20
Ilustración 5. Espuma con semillas de lechuga .....	21
Ilustración 6. Inicio de la germinación .....	21
Ilustración 7. Germinado de lechuga .....	22
Ilustración 8. Canastilla con el germinado .....	22
Ilustración 10. Germinado en el tanque .....	23
Ilustración 11. Consecutivo de toma de parámetros .....	24
Ilustración 12. Hojas de lechuga secas .....	29
Ilustración 13. Hojas de lechuga procesadas .....	29
Ilustración 14. Proceso de secado .....	30

### **Lista de Gráficas**

Gráfica 1. Medidas de dispersión para Nitrato .....	25
Gráfica 2. Medidas de dispersión para Nitrito .....	26
Gráfica 3. Ganancia de peso con y sin acuaponía.....	27
Gráfica 4. Medidas de dispersión de ganancia de peso.....	28

## Resumen

La acuaponía es una técnica que permite aprovechar los desechos orgánicos producidos por algún organismo acuático como fuente de nutrición para las plantas; éstas a su vez, al tomar estos desechos, mejoran la calidad del agua para los peces, actuando como filtro biológico.

En este trabajo se presenta la evaluación de un sistema experimental de acuaponía, incorporando la producción de tilapia y diferentes tipos de lechuga, durante un mes, con el objetivo de evaluar la eficiencia de los sistemas acuapónicos en la remoción de algunos compuestos nitrogenados ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ) y comparar algunos parámetros fisicoquímicos (pH,  $\text{O}_2$ ,  $T^\circ$ ) con un control. Para el logro de estos objetivos se instalaron cuatro unidades experimentales, dos con el sistema de acuaponía y dos como controles, sin acuaponía. Cada unidad experimental contaba con 65 peces cada una y 30 lechugas aproximadamente distribuidas en 3 camas flotantes, cada día durante el tiempo del experimento se registraron los parámetros y cada semana se pesaron los peces, para determinar algunas variables zootécnicas. Con este sistema se determinó que hay remoción de compuestos nitrogenados y las variables zootécnicas de las tilapias en el tanque experimental; fueron mayores al compararse con las del grupo control.

**Palabras clave:** acuaponía, acuicultura, variables, medición de parámetros.

## Introducción

La acuaponía puede definirse como la combinación de un sistema de acuicultura recirculante, con la hidroponía, definiendo acuicultura como el cultivo de animales acuáticos como peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas en ambientes controlados, e hidroponía; como el cultivo de plantas colocando las raíces en soluciones nutritivas.

La acuaponía es un sistema simbiótico que combina las técnicas de acuicultura con el cultivo hidropónico de plantas (González, Cabrera, Gómez, ..., & 2015, 2015). En términos generales se trata de generar un sistema en el cual los desechos orgánicos producidos por organismos acuáticos (peces regularmente) son convertidos, a través de la acción bacteriana, en Nitratos, que sirven como fuente de alimento para plantas. Estas a su vez al tomar estos Nitratos, limpian el agua para los peces actuando como filtro biológico (González et al., 2015; Ramirez, Sabogal, Jiménez, & Hernán Hurtado Giraldo., 2017).

Existe una gran variedad de peces que se pueden cultivar en acuaponía, aumentando cada vez más el número de especies que se emplean bajo este sistema.

La especie más conocida y cultivada a nivel mundial es la Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), un pez de agua dulce oriundo de la cuenca del Nilo que posee interés comercial debido a sus extraordinarias cualidades, crecimiento acelerado, tolerancia a altas densidades poblacionales, adaptación al cautiverio, aceptación a una amplia gama de alimentos, resistencia a enfermedades, carne blanca de excelente calidad y amplia aceptación, entre otras.

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 (K), seguido por el Nitrógeno (N) y el Fósforo (P) (Chamorro-Legardaa et al., 2016).

Por todas las ventajas que presentan los cultivos de acuaponía, en el Laboratorio de acuicultura, de la Corporación Universitaria Lasallista, se implementó la tecnología de acuaponía para aprovechar estos cultivos tanto para la producción de peces, en este caso Tilapia roja (*Oreochromis sp*), como para la producción de plantas, lechuga crespita (*Lactuca sativa var. Crispita*).

## Objetivos

### Objetivo general:

Evaluar la eficiencia de un sistema de acuaponía por biofiltración en el sistema RAS de la Corporación Universitaria Lasallista.

### Objetivos específicos:

- Evaluar la eficiencia en la remoción de compuestos nitrogenados (Nitritos, Nitratos) y amonio por el material vegetal en el sistema RAS del Laboratorio de acuicultura de la Corporación Universitaria Lasallista.

- Comparar algunos parámetros fisicoquímicos (compuestos nitrogenados, oxigenación, temperatura y pH) en un sistema de acuaponía asociado a lechuga crespa y un blanco no tratado.

- Comparar la ganancia de peso de tilapia roja (*Oreochromis sp*) en etapa juvenil en un sistema de acuaponía asociado a lechuga crespa con un blanco no tratado.

## Marco teórico

### Sistemas de recirculación acuícola “SRA”

Los "sistemas de recirculación acuícola" (SRA), mejor conocidos como RAS por sus siglas en inglés (Recirculation Aquaculture Systems), son una tecnología para la cría de peces u otros organismos acuáticos donde el agua de cultivo es reutilizada luego de ser tratada por métodos físicos, químicos y biológicos.

Los RAS describen sistemas de producción intensiva de peces que utilizan una serie de pasos de tratamiento para depurar el agua de cría de los peces y facilitar su reutilización, estos sistemas se caracterizan por la necesidad de excelente calidad del agua, manejo de densidad animal y la alimentación proveniente del exterior. Estos sistemas se están volviendo cada vez más común en todo el mundo, particularmente en zonas áridas que se enfrentan a la escasez de agua o donde los factores ambientales, como temperatura o salinidad, se encuentran fuera de los rangos de tolerancia de los peces.

La producción acuícola en sistemas de recirculación de agua requiere menos terreno y agua que los cultivos tradicionales, menos mano de obra para la alimentación y control ambiental, lo cual asegura su producción durante todo el año (Gamboa, n.d.).

El RAS generalmente incluye 1 dispositivo para eliminar partículas sólidas del agua que están compuestas por heces de pescado, alimento no consumido y flóculos bacterianos, 2 biofiltros nitrificantes para oxidar el amoníaco excretado por el pescado a nitrato y 3 una serie de dispositivos de intercambio de gases para eliminar el dióxido de carbono disuelto expulsado por los peces, así como para agregar el oxígeno requerido por los peces y las bacterias nitrificantes, además, RAS también puede usar irradiación UV para desinfectar el agua, ozonización y desnatado de proteínas para sólidos finos y control microbiano, sin contar con los sistemas de desnitrificación para eliminar Nitratos (Espinal & Matulic, 2019).

Los parámetros de calidad del agua son monitoreados y controlados continuamente; los residuos sólidos son filtrados y eliminados, el oxígeno es agregado para mantener suficientes los niveles de oxígeno disuelto en el agua, de acuerdo a la

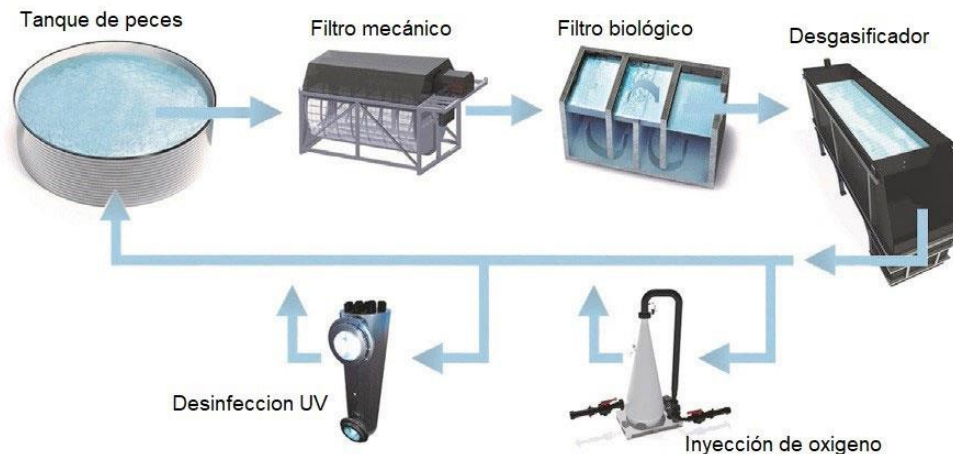
densidad de animales cultivados, los efluentes pasan a través de un biofiltro para la conversión biológica de N-amoniaco a N-nitrato (Gamboa, n.d.).

### **Aplicaciones de los sistemas RAS**

El uso de los RAS se ha implementado en la acuicultura cada vez con mayor frecuencia considerándose tecnologías limpias y ambientalmente adecuadas. De hecho, actualmente los sistemas RAS se usan a nivel industrial principalmente en las siguientes áreas:

**Integración con otros cultivos:** Existe la posibilidad de integrar los cultivos con otras actividades como el cultivo de vegetales comestibles u ornamentales, con el fin de utilizar el agua que contienen los compuestos generados por los peces tan necesarios para el desarrollo de las plantas (principalmente nitrato) (Urbano, 2020)

**En sistemas de Acuaponía:** Es una forma especial de acuicultura que combina la cría de animales acuáticos con el cultivo de plantas en agua (hidroponía), mediante la recirculación continua del agua a través del sistema. Los sistemas de recirculación acuapónicos se presentan como una alternativa viable que integra a los sistemas de circulación cerrados en la acuicultura y los sistemas de producción hidropónicos. Es una forma muy eficaz de reducir el impacto ambiental al aprovechar los efluentes generados por la acuicultura y reutilizar el agua de los componentes acuáticos. Los sistemas acuapónicos se presentan como una nueva oportunidad de ingresos para los pequeños productores que pueden utilizar de una forma más eficaz los sistemas de recirculación cerrados que hay en el mercado (Gutiérrez, 2012).



**Ilustración 1 componentes básicos de un sistema RAS**

## Acuaponía

La Acuaponía surgió en los EE. UU a principios de la década de 1970 y recientemente ha experimentado un resurgimiento especialmente en Europa.

La acuaponía aplica varios principios que incluyen, entre otros, el uso eficiente del agua, el uso eficiente de nutrientes, impacto ambiental reducido o anulado y la aplicación de enfoques biológicos y ecológicos a la producción agrícola de peces y plantas (Lennard et al., 2019).

Los sistemas acuapónicos representan la integración multitrófica de tres biosistemas: peces, plantas y bacterias, los cuales se benefician mutuamente a través de un sistema cerrado de circulación de agua (Hernández, 2017).

Los sistemas acuapónicos pueden definirse como la unión de un sistema hidropónico y un sistema acuícola. El sistema hidropónico es un método usado para cultivar plantas usando disoluciones minerales en vez de suelo agrícola y el sistema acuapónico es el cultivo de peces para posterior consumo humano. La razón fundamental de los sistemas integrados de agro-acuicultura es aprovechar los recursos compartidos entre la acuicultura y la producción vegetal, como el agua y los nutrientes, para desarrollar y lograr prácticas de producción primaria económicamente viables y ambientalmente más sostenibles (Lennard et al., 2019).

En el cultivo acuícola los desechos metabólicos generados por los peces u otras especies, y los restos de su alimento, son transformados por una amplia población de bacterias y microorganismos, en minerales disueltos, y utilizados por los vegetales para su crecimiento, transformándose 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, filtrada y libre ya de nutrientes, queda disponible para ser reutilizada por los peces o especies acuícolas (J. López, 2019).

Por todo lo anterior, los sistemas acuapónicos presentan interés en producción, generan rentabilidad y tratamiento de desechos, además, es una forma de autoconsumo ecológico y ambientalmente sostenible.

### **Especie piscícolas en Acuaponía**

Se pueden emplear diversas especies de peces, sin embargo, una alternativa productiva desde el punto de vista comercial, es el uso de especies ornamentales de alto valor. En esta investigación se trabajo con la especie Tilapia (*Oreochromis sp*)

**Tilapia** (*Oreochromis sp*) tiene características funcionales importantes: carne de buen sabor, rápido crecimiento, alta producción de desechos que pueden convertirse en alto nivel de Nitratos, resistencia a fluctuaciones importantes de temperatura y buena aceptación en los mercados de muchos países entre otras (Ramirez et al., 2017).

**Plantas** En términos generales se deben preferir para la acuaponía plantas verdes, cuya parte comercial no sea el fruto y que sean de ciclo corto. Esto es particularmente indicado para explotaciones comerciales, ya que, debido a las características de los sistemas acuapónicos, no se puede aplicar ni insecticidas ni fungicidas químicos por el efecto nocivo que pueden tener sobre los peces.

**Lechuga:** Es una de las plantas que más se han utilizado en sistemas acuapónicos, con bastante éxito si se mantienen adecuadamente los niveles de luz, pH, Potasio e Hierro requeridos por estas plantas (Ramirez et al., 2017).

### **Calidad de agua**

En el sistema acuapónico la calidad del agua es fundamental, esta proporciona y distribuye los nutrientes y el oxígeno necesario para el desarrollo saludable del sistema. El agua, provee los macro y los micro nutrientes a los vegetales de cultivo, y es el medio por el cual los peces reciben el oxígeno y producen sus excreciones que luego se depurarán.

Los principales parámetros que definen la calidad del agua en un sistema RAS son: temperatura, oxígeno disuelto, pH y compuestos nitrogenados. Cada uno de estos parámetros físicos y químicos influyen directamente en los tres componentes principales del sistema: peces, plantas y bacterias; por lo cual debe alcanzarse y mantenerse un equilibrio que permitirá un desarrollo exitoso del sistema de producción. Comprender estas interacciones y las relaciones entre los peces en el sistema y el equipo utilizado, es crucial para predecir cualquier cambio en la calidad del agua y el rendimiento del sistema, por lo tanto, los siguientes parámetros de calidad del agua se monitorean normalmente en los sistemas acuapónicos:

**Temperatura:** Este factor determina la tasa metabólica de los peces, se debe mantener en rangos indicados para obtener el buen crecimiento de la especie seleccionada, las tasas de crecimiento en los peces aumentan, a medida que la temperatura aumenta, hasta alcanzar la óptima de cada una de las especies seleccionadas. La combinación de peces y vegetales a cultivar, también deberá presentar similitudes en cuanto a temperaturas óptimas de crecimiento, y es recomendable trabajar con especies adaptadas al clima de predominio local (Candarle, 2016)

**Oxígeno disuelto:** El oxígeno disuelto (OD) es generalmente el parámetro de calidad del agua más importante en los sistemas acuáticos intensivos, ya que los niveles bajos de OD pueden provocar rápidamente un alto estrés en los peces, un mal funcionamiento del biofiltro nitrificante y pérdidas significativas de peces. Por lo general,

la densidad de población, la adición de alimento, la temperatura y la tolerancia de las especies de peces a la hipoxia determinarán los requisitos de oxígeno de un sistema (Espinal & Matulić, 2019).

Las concentraciones altas de oxígeno en el sistema, es vital para los peces, los vegetales y para los distintos grupos de bacterias presentes en el sistema; los cuales los utilizan para procesos de oxidación de los compuestos nitrogenados y en descomposición de la materia orgánica.

**pH:** Este importante parámetro que influye sobre la calidad del agua, toma especial importancia junto a la temperatura, en la determinación del porcentaje de amonio no ionizado del total de nitrógeno amoniacal.

Interviene también en la disponibilidad de los nutrientes, que obtienen las plantas, por lo que se debe mantener en valores equilibrados. Los valores cercanos a la neutralidad ( $\text{pH} = 7$ ) son recomendables y deseables para los sistemas acuapónicos, dependiendo en cierta medida de la selección de peces y plantas a cultivar, ya que dichos valores, armonizan con los procesos involucrados (Candarle, 2016).

**Amoníaco:** En un medio acuoso, el amoníaco existe en dos formas: una forma no ionizada ( $\text{NH}_3$ ) que es tóxica para los peces y una forma ionizada ( $\text{NH}_4^+$ ) que tiene baja toxicidad para los peces. Estos dos forman el nitrógeno amoniacal total (TAN), en el que la relación entre las dos formas está controlada por el pH, la temperatura y la salinidad.

El amoníaco se acumula en el agua como producto del metabolismo proteico de los peces y puede alcanzar concentraciones tóxicas si no se trata (Espinal & Matulić, 2019).

**Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )** Similar a como sucede con el amoníaco, se pueden generar problemas con la salud de los peces a concentraciones tan bajas como 0.25 mg/L.

Altos niveles pueden llevar rápidamente a la muerte de los peces e incluso niveles bajos en largos periodos de tiempo, puede llevar a un incremento en el estrés de los peces, enfermedades o la muerte. Niveles tóxicos de Nitritos evitan el transporte de oxígeno dentro del torrente sanguíneo de los peces, lo que hace que la sangre adopte un color marrón (D. A. López & Vélez, 2021).

**Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )** Los Nitratos son mucho menos tóxicos que las otras formas de nitrógeno presentes en los sistemas acuapónicos y es la forma de nitrógeno más accesible para las plantas, siendo la producción de este compuesto la meta del biofiltro. Los peces pueden tolerar niveles por encima de los 300mg/L. Los altos niveles (>250mg/litro) tienen un efecto negativo para las plantas, este genera un crecimiento vegetativo excesivo y una acumulación peligrosa de Nitratos en las hojas, con consecuencias en la salud humana. Es recomendable mantener los niveles de Nitratos entre 5-150mg/L y cambiar el agua cuando los niveles sean altos (D. A. López & Vélez, 2021).

### **Filtración biológica**

En todo sistema de recirculación, se presta especial atención a los procesos biológicos vitales de los organismos bajo cultivo, con la nitrificación. Este proceso, también llamado biofiltración (o filtración biológica), involucra en los RAS la transformación del Nitrógeno excretado al medio por los organismos cultivados, desde un estado que representa toxicidad ( $\text{NH}_3$ =amoníaco) a otro relativamente inofensivo ( $\text{NO}_3^-$ =nitrato), por parte de una población de bacterias especializadas a tal fin. Este es un proceso muy importante y vital en el ciclo del nitrógeno en la naturaleza (Candarle, 2016).

La acumulación del Nitrógeno en los sistemas de acuicultura es debido a la alta carga de este elemento ingresada al sistema como parte del alimento, dado que este posee una carga importante de proteínas en su composición, y es liberado por los peces al agua luego de alimentarse y metabolizar estas proteínas.

El Nitrógeno es también producido por la descomposición orgánica de los desechos sólidos en el sistema. El Nitrógeno amoniacal total (NAT) en el agua, se compone de Amonio no ionizado o Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y Amonio ionizado ( $\text{NH}_4^+$ ) y ambos se encuentran en equilibrio sujeto a la temperatura del agua y al pH.

Este equilibrio y su relación con esos factores son importantes a la hora de evaluar la toxicidad del amoníaco para los peces, Durante la nitrificación, el NAT es paulatinamente convertido en una primera fase o etapa a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y de manera simultánea al producto final nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) por las bacterias autotróficas, conocidas como

nitrificantes. Estas bacterias, pertenecen a dos grupos genéricos denominados Nitrosomas (productoras de  $\text{NO}_2$ ), y Nitrobacter (productoras de  $\text{NO}_3$ ).

El amoníaco es extremadamente tóxico para los peces, valores menores a 1 parte por millón (ppm), o miligramo por litro (mg/L), comprometen la sobrevivencia de muchas especies e incrementan el estrés en muchas otras; dependiendo del tiempo de exposición. Inclusive, concentraciones más bajas desde 0,02 a 0,07 ppm, han demostrado reducir el crecimiento y provocar daños en los tejidos branquiales.

Los Nitritos, son un producto intermedio en el proceso de nitrificación y también son tóxicos para los peces en concentraciones relativamente bajas, dependiendo de la especie. Una incompleta nitrificación producirá Nitritos en lugar de Nitratos, disminuyendo el crecimiento de peces por estrés, e incluso, puede provocar enfermedades, además, provocará en el sistema acuapónico una carencia de nutrientes para los vegetales (Candarle, 2016).

Los Nitratos pueden llegar a ser tóxicos para los peces solo en concentraciones muy altas, mayores a 300-500 ppm, valores que nunca llegarán a concentrarse existiendo una apropiada densidad de vegetales en el sistema. Las bacterias son absolutamente reguladoras del equilibrio en el sistema, ya que cumplen la función vital de “desactivar” mediante esta transformación la toxicidad del amoníaco, y a su vez dejar disponible el nitrato, el nutriente principal para las plantas, si bien los tres compuestos nitrogenados pueden ser utilizados por las plantas, el nitrato es el compuesto más asimilable (Indesol, 2017).

## **Metodología**

Este proyecto se llevó a cabo en el Laboratorio de Acuicultura y en el Laboratorio de Química de la Corporación Universitaria Lasallista.

### **Localización del área de estudio.**

El Laboratorio de Acuicultura de la Corporación Universitaria Lasallista, cuenta con un sistema RAS conformado por 12 tanques fabricados en fibra de vidrio con capacidad de 1000 L cada uno.

### **Material biológico.**

Para el desarrollo del experimento se utilizaron 65 peces de la especie tilapia roja (*Oreochromis sp*) con un peso promedio de 30 a 70 gramos cada uno, en etapa de juveniles. Para el material vegetal, se utilizaron 3 tipos de semillas comerciales diferentes: lechuga crespa (*Lactuca sativa var. Crispa*), rúgula (*Eruca vesicaria ssp. Sativa*) y lechuga batavia (*Lactuca sativa var. Longifolia*), se escogieron aproximadamente 70 semillas de cada planta.

**Ilustración 2. Semillas de lechuga**



**Ilustración 3. Pesaje inicial de juveniles tilapia roja**



**Ilustración 4. Juveniles de tilapia roja**



### **Proceso técnico.**

#### **Germinación de la Semillas de Lechuga**

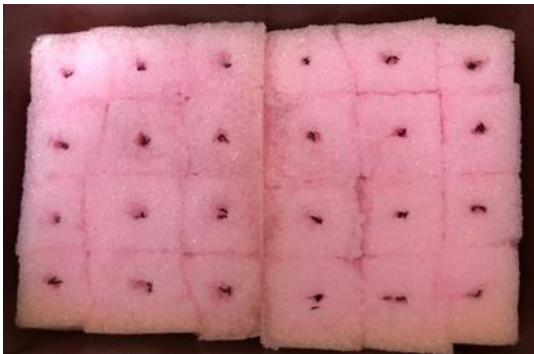
La investigación inició con la germinación de las semillas de lechuga: para esto se utilizó espuma de poliuretano en la cual se hicieron unos pequeños recuadros con un agujero de menos de 0,5 cm para depositar en este una o dos semillas de lechuga

facilitando la germinación de las mismas. Cada recuadro de espuma fue de 3x4 aproximadamente, para cada especie de lechuga (crespa, batavia y rúgula) se utilizaron aproximadamente 6 recuadros de espuma como se muestran en la figura 4, para un total aproximado de 72 germinados.

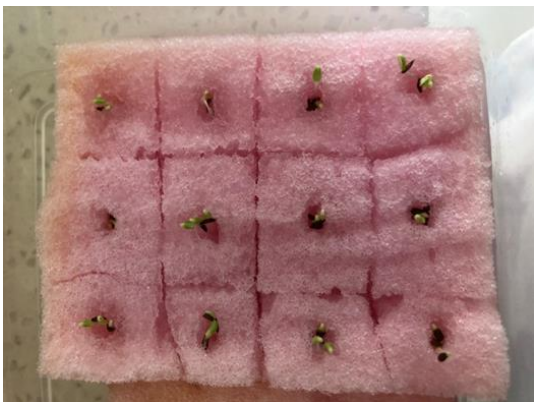
La espuma fue humedecida diariamente con agua asegurándose de que las semillas siempre estuvieran hidratadas para garantizar la germinación en el tiempo adecuado (2-3 días luego de ser sembradas). La iluminación que recibieron las semillas durante los días de germinación fue luz indirecta y aireación continua con una temperatura máxima aproximada de 23°C en el día y mínima aproximada de 14°C en la noche.

Pasados tres días de sembradas las semillas iniciaron la germinación como se muestra en la figura 5, tanto la humedad como la temperatura son variables determinantes en esta etapa.

#### **Ilustración 5. Espuma con semillas de lechuga**



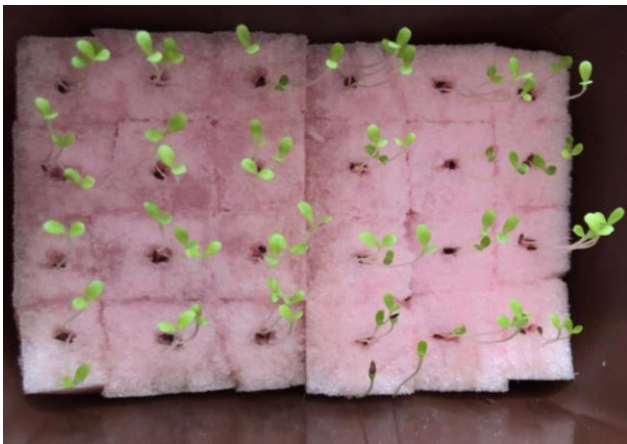
#### **Ilustración 6. Inicio de la germinación**



Siete días después de sembradas las semillas presentaron un evidente crecimiento, dentro de los tiempos esperados como se muestra en la figura 6. Transcurridos 10 días luego de la siembra el germinado estuvo listo para ser ubicado en las canastillas de plástico.

Para iniciar el proceso en las canastillas de plástico, cada recuadro de espuma que contenía uno o dos germinados de lechuga se cortaba y luego se ubica de manera organizada dentro de los espacios de la canastilla como se muestra en la figura 7.

### **Ilustración 7. Germinado de lechuga**



### **Ilustración 8. Canastilla con el germinado**



### **Cultivo de Tilapia (*Oreochromis sp*)**

Del tanque donde inicialmente estaban todos los peces en etapa juvenil, se distribuyeron de forma equitativa, aproximadamente 65 peces por cada tanque en 4 tanques. El peso promedio de los peces en cada uno de los tanques fue de 50g +/- 15g

Se realizó dos tratamientos con acuaponía y dos sin acuaponía, los germinados de cada especie de lechuga (crespa, batavia y rúgula) se distribuyeron de maneras iguales (36 germinados aproximadamente) para cada uno de los dos tanques.

#### **Ilustración. 9 germinado en el tanque**



El día 0 del experimento, inicia en el momento de poner las canastillas con los germinados en el tanque que contenía los peces previamente pesados y separados

#### **Control de parámetros**

Desde el momento en que inició el experimento y hasta finalizar la investigación (30 días) se tomaron los parámetros fisicoquímicos más relevantes en este sistema de acuaponía: Nitritos, Nitratos y Amonio, medidos con espectrofotómetro y kits comerciales, también se tomaron otros parámetros como pH, con ayuda del pH-metro, oxigenación y temperatura del agua con sonda digital.

#### **Variables Zootécnicas**

Para la medición de variables zootécnicas asociadas a la producción de tilapia se tuvo en cuenta la ganancia de peso durante cada semana, evaluadas en las 4 semanas de tratamiento.

### Producción de los Vegetales

Para evaluar la eficiencia del sistema acuapónico se tomaron las medidas del el crecimiento de las lechugas (largo y ancho de las hojas y crecimiento de las raíces).

#### Ilustración 10. Consecutivo de toma de parámetros



## Resultados

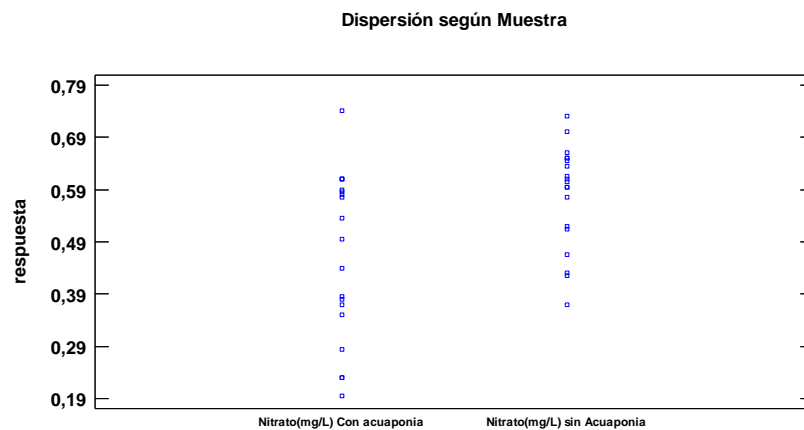
Dentro de los hallazgos encontrados en la investigación, el Amonio, particularmente presentó valores iguales a 0, durante todo el tiempo de la investigación. En las medidas tomadas tanto para el Nitrito como el Nitrato, en los tratamientos con acuaponía y sin acuaponía se encontró que no hubo diferencias estadísticamente significativas  $p > 0,05$ , entre las medidas de los tratamientos para el Nitrato, sin embargo, si hubo diferencias en las medidas de los Nitritos  $p < 0,05$

Las medidas de la dispersión de los datos tanto para el Nitrato como el Nitrito, se observan en la gráfica 1 y en el grafico 2, evidenciando que las medidas más bajas de ambos parámetros se encuentran en los tanques con acuaponía.

**Tabla 1: ANOVA para Nitritos**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2,05042		2,05042	11,30	0,0018
Intra grupos	6,52965	6	0,181379		
Total (Corr.)	8,58006	7			

**Gráfica 1. Medidas de dispersión para Nitrato**



## Gráfica 2. Medidas de dispersión para Nitrito



Resultados encontrados por (Campos & Darquea, n.d.), determinaron que los valores de Nitratos para un sistema acuapónico deben oscilar entre 5 y 150 mg/L. En esta investigación se obtuvo resultados por debajo del límite mínimo, la variación de los valores de Nitratos corresponde en su gran mayoría a los cambios en el aumento de la ración y/o menor consumo de alimento por parte de los peces, sin embargo se observa un marcado efecto en la remoción del Nitrato en los tanques con acuaponía.

### Cultivo de peces: Tilapia Roja (*Oreochromis sp*)

Al evaluar la ganancia en peso de tilapia roja (*Oreochromis sp*), después de 30 días de experimentación, en los dos tratamientos: el sistema acuapónico y sin acuaponía, se observó que hubo mayor ganancia en peso en los tratamientos con acuaponía, tal cual como se evidencia en la tabla 2. El análisis de varianza, demostró que hubo diferencias estadísticamente significativas entre las medidas tomadas durante las 4 semanas, en cada uno de los tratamientos  $P < 0,05$ . Los resultados de la ganancia en peso se observan en la tabla 3.

**Tabla 2: Ganancia en peso de Tilapia**

Tratamientos	Medidas		Ganancia de peso
Con acuaponía	Peso final	Peso inicial	GP (B1)
	89,29	46,41	1,43
sin acuaponía	Peso final	Peso inicial	GP(B2)
	64,81	43,21	0,72

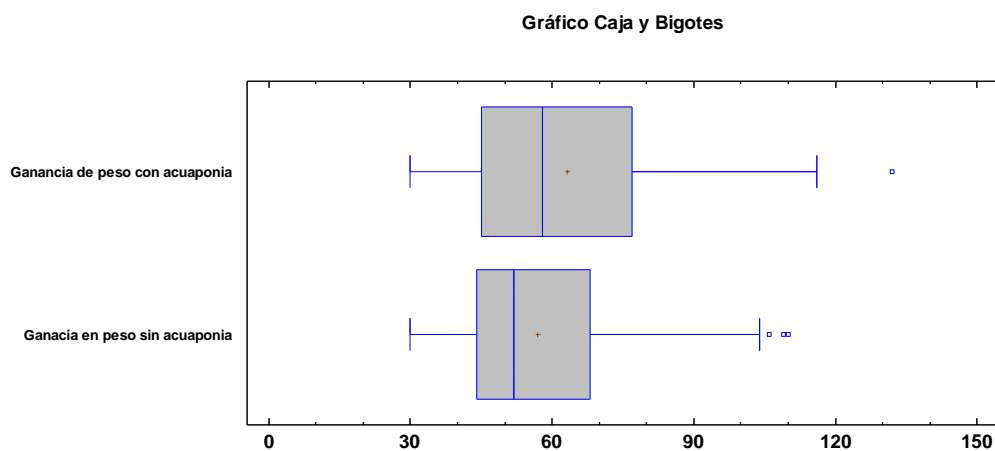
con acuaponía	Peso final	Peso inicial	GP (B3)
	86,62	43,73	1,43
Sin acuaponía	Peso final	Peso inicial	GP(B4)
	71,05	48,11	0,76

**Tabla 3: ANOVA para diferencias entre los pesos tomados durante las 4 semanas de ensayos**

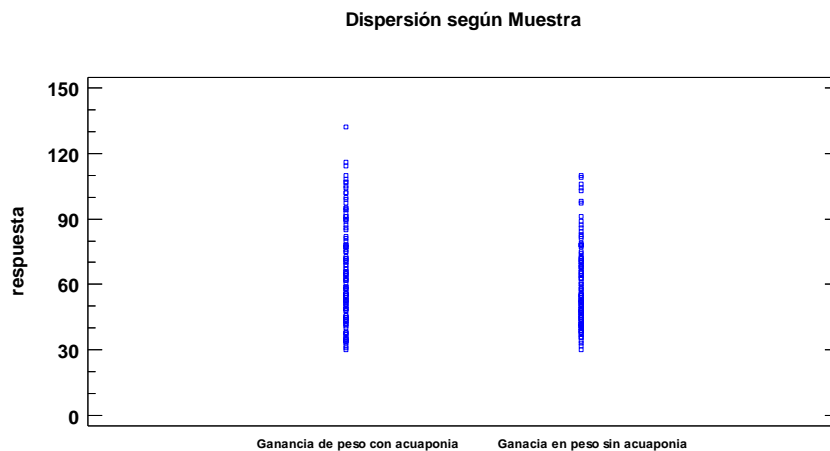
Fuente	Suma de Cuadrados	de l	Medio Cuadrado	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2816,67		2816,67	7,14	0,0079
Intra grupos	115147,	92	394,338		
Total (Corr.)	117963,	93			

En el gráfico de bigotes se muestran las diferencias en ganancias de pesos para tilapia en ambos tratamientos.

**Gráfica 3. Ganancia de peso con y sin acuaponía**



**Gráfica 4. Medidas de dispersión de ganancia de peso**



### Producción de lechuga

El crecimiento de las plantas no tuvo diferencias estadísticamente significativa entre los dos tratamientos con acuaponía  $p > 0,05$ . En ambos se observaron medidas de crecimiento semejantes, sin embargo en ambos cultivos se observó las plántulas algo amarillas, probablemente por déficit de fósforo.

Se realizó el análisis bromatológico para la lechuga cressa y se obtuvo el resultado de la proteína 1,9g que coincide con los rangos normales según (F E N, 2014), demostrando así que los el cultivo de hortalizas, en este caso lechuga cressa, en sistemas acuapónicos suelen tener valores nutricionales iguales a los cultivos tradicionales.

**Ilustración 11. Hojas de lechuga secas**



**Ilustración 12. Hojas de lechuga procesadas**



**Ilustración 13. Proceso de secado**



## Discusión

### **Crecimiento de los peces Tilapia Roja (*Oreochromis sp*) y calidad de agua.**

En el crecimiento de los peces influyen diversas variables entre las que se encuentran la densidad de los peces de siembra, la calidad del agua (temperatura, OD, cantidad de compuestos nitrogenados) y la alimentación ofrecida entre otras. Los resultados obtenidos durante la investigación comprueban que la ganancia en peso de las tilapias en el sistema acuapónico en un periodo de 30 días fue mayor que las tilapias de control, encontrando valores de ganancia diaria de pesos de 1,43g/d en los tanque con acuaponía, comparados con 0,76 y 0,72g/d en los tanque sin acuaponía.

Es importante también resaltar que los parámetros más importantes de calidad de agua se mantuvieron estables durante todo el tiempo de experimentación como se muestra en la gráfica 4, resultados similares fueron mostrados en el trabajo de (Saavedra, 2006), donde evidencia que los sistemas acuapónicos promueven un ambiente favorable para el crecimiento y desarrollo de los peces.

En cuanto a los resultados obtenidos para los Nitratos, también se evidencia que se mantuvieron estables durante todo el tiempo de la investigación, presentando diferencias estadísticamente significativas en los Nitritos, condición que probablemente influyó positivamente en el crecimiento de la tilapia de los tanques con el sistema acuapónico.

Estos resultados sugieren la injerencia de los de los cultivos acuapónicos en la remoción de compuestos nitrogenados mejorando el bienestar de los peces por mantener constantes optimas de calidad de agua.

De acuerdo con (Cabrera, 2012) niveles de Nitrato entre 0 y 40 mg/L son generalmente seguros para los peces, cualquier valor superior a 80 mg/L puede ser toxico. Los Nitritos son un parámetro de vital importancia por su gran toxicidad y por ser un poderoso agente contaminante. Es necesario mantener una concentración por debajo de 0.1 mg/litro haciendo recambio, controlando la alimentación y evitando concentraciones altas de amonio en el agua. Niveles de Nitrito superior a 0.75 mg/L en el agua pueden provocar estrés para los peces y mayores a 5 mg/L pueden llegar a ser tóxicos.

En la evaluación de la remoción de los Nitratos en el sistema acuapónico asociado a variedad de lechugas y el blanco no tratado, como se muestra en la gráfica 1, no hubo una diferencia estadísticamente significativa de este compuesto entre los tratamientos, en esta investigación se obtuvo resultados abajo del rango mínimo, siendo el valor más alto el día 8 0.90 mg/L. La variación de los Nitratos corresponden a aumentos de la ración y/o menor consumo de alimento por parte de los peces; y las disminuciones pueden ser debidas a la mayor absorción por parte de las plantas (Cabrera, 2012).

En la evaluación de la remoción de los Nitritos en el sistema acuapónico asociado a variedad de lechugas y el blanco no tratado, como se muestra en la gráfica 2, hay una diferencia estadísticamente significativa de este compuesto entre los tratamientos. Los resultados de esta investigación muestran un valor máximo de concentración de este compuesto el día 3 1.61mg/L y una disminución significativa al pasar de los días hasta alcanzar un valor mínimo de 0.025 mg/L el día 30, lo que significa que no hubo niveles tóxicos de Nitritos que interfirieran con la habilidad de los peces para absorber oxígeno.

## Conclusiones

El sistema acuapónico implementado en esta investigación demostró ser viable para la producción complementaria de alimentos en espacios limitado, produciendo de forma simultánea tilapia y lechuga.

Los productos procedentes de sistemas acuaponía son considerados como productos orgánicos, al no emplear químicos como plaguicidas y fertilizantes en los procesos de cultivo por lo cual poseen un valor agregado en el mercado local.

Es necesario recalcar que la ganancia de peso de los peces Tilapia Roja (*Oreochromis sp*) fue significativamente mayor en el sistema acuapónico en comparación con el blanco no tratado, ya que el sistema acuapónico obtuvo una mejor calidad de agua en cuanto a cantidad de compuestos nitrogenados, específicamente los Nitritos lo que favoreció el crecimiento de los peces.

La producción de lechuga evidencio que en sistemas acuapónicos la calidad nutricional de los alimentos es aceptable. La acuaponía le brinda la posibilidad al zootecnista de optimizar cultivos y obtener material vegetal y proteína animal de alto valor nutricional.

## Bibliografía

- Cabrera, S. G. R. (2012). *Análisis técnico de producción de tilapia Oreochromis niloticus y lechuga acrópolis Lactuca sativa en acuaponia* ". 52.
- Campos, J. A. P., & Darquea, E. R. S. (n.d.). *Sistema de cultivo acuapónico para la producción de tilapia (Oreochromis Sp.) y lechuga (Lactuca sativa) acuaponic cultivation system for the production of tilapia (Oreochromis Sp.) and lettuce (Lactuca sativa)*. 18.
- Candarle, P. (2016). Técnicas de Acuaponia. *Cenadac*, 1–47.
- Chamorro-Legardaa, E., IPA MSc, C. L. G.-R., IPA, E. A., Anganoyc, JonathanBOTinac, M., Bravoc, S. de M., Cuaránc, B., ... JRoeroc, O. (2016). *IPA MSc, Camilo L Guerrero-Romero*. 4(2), 33–43.
- Espinal, C. A., & Matulic, D. (2019). Recirculating Aquaculture Technologies. In *Aquaponics Food Production Systems*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_3)
- F E N. (2014). *Lechuga Lettuce*. 183–184.
- Gamboa, L. V. (n.d.). Sistemas de recirculación de agua (RAS) en Piscicultura The recirculation aquaculture system (RAS). *Revistas.Udenar.Edu.Co*.
- González, H., Cabrera, S., Gómez, M., ... M. M.-A., & 2015, U. (2015). Análisis técnico de la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en dos sistemas de acuaponía. 207.249.121.14.
- Gutiérrez, M. E. M. (2012). Sistemas de recirculación acuapónicos Aquaponic recirculation systems. *Informador Técnico (Colombia) Revistas Sena*, 76(60), 123–129.

- Hernández, L. F. (2017). *Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación en el cultivo de Tilapia Roja (Oreochromis Mossambicus) y Lechuga Crespa (Lactuca Sativa)*. 127.
- Indesol. (2017). Manual de acuaponía. *PLAN y AGRO*, 1–17.
- Lennard, W., Goddek, S., Lennard, W., & Goddek, S. (n.d.). *Aquaponics: The Basics*.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_5)
- López, D. A., & Vélez, C. D. R. (2021). *automatizado con un funcionamiento mínimo viable David Arbeláez López Carlos David Roldán Vélez Universidad de Antioquia Ingeniería , Bioingeniería*.
- López, J. (2019). Cultivo acuapónico guía especializada. *Aula Del Mar*, 289.
- Ramirez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., & Hernán Hurtado Giraldo. (2017). La Acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 4(1–2), 32–51. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2230>
- Saavedra, M. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Managua, Nicaragua. *Manejo Del Cultivo De Tilapia*, 1–27.
- Urbano, T. (2020). Sistemas de recirculación en acuicultura - Agrotendencia.tv.