

Prohibida la reproducción total o parcial sin la autorización expresa de los autores.



**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO CON
TRES VARIEDADES DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L.) BAJO
CONDICIONES DE INVERNADERO COMO UNA ALTERNATIVA DE
PRODUCCIÓN LIMPIA.**

**TRABAJO DE GRADO:
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**

**Luis Augusto Pandales Becerra
Hernando De Jesús Santos Cepeda**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
TECNOLOGÍA EN HORTICULTURA**

2017



**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO CON
TRES VARIEDADES DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L.) BAJO
CONDICIONES DE INVERNADERO COMO UNA ALTERNATIVA DE
PRODUCCIÓN LIMPIA.**

Luis Augusto Pandales Becerra

Hernando De Jesús Santos Cepeda

Investigación científica para obtener el título de Tecnólogo en Horticultura

Director.

EDWIN GÓMEZ RAMÍREZ. MSc.

Co-Directora.

ANA CONSTANZA TORRES MESA. cMSc

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS

TECNOLOGÍA EN HORTICULTURA

2017

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por darnos las fuerzas necesarias en los momentos en que más lo necesitamos y bendecirnos con la posibilidad de caminar a su lado durante toda la vida.

A nuestros familiares por su apoyo dedicación y esfuerzo sin ellos no sería posible obtener este triunfo tan valioso para nosotros.

A la Universidad Militar Nueva Granada, por el apoyo prestado a los soldados profesionales de las Fuerzas Armadas de Colombia.

Al programa Tecnología en Horticultura y su grupo de docentes quienes cultivaron en nosotros el amor por esta profesión.

A las ingenieras Silvia Rubio y Sandra Pulido por la orientación y apoyo.

Al grupo de Ictiología en especial al doctor Hernán Hurtado Giraldo a nuestro director Edwin Gómez y codirectora Ana Constanza Torres, quienes jugaron un papel determinante en este trabajo con sus enseñanzas, tiempo y esfuerzo.

En fin a todos y cada uno de los que intervinieron en nuestra carrera, la cual culmina hoy, llenándonos de regocijo y felicidad no solo a nosotros sino también a nuestras familias Muchas Gracias.

Índice General	Pág.
1. RESUMEN.....	3
2. ABSTRACT.....	4
3. INTRODUCCIÓN.....	5
4. MARCO DE REFERENCIA.....	8
4.1. La acuaponía.....	8
4.1.1. Algunas ventajas de los sistemas acuapónicos.....	10
4.1.2. Algunas desventajas que presentan los sistemas acuapónicos.....	11
4.2. Albahaca.....	11
4.2.1. Variedades.....	12
4.3. Tilapia.	13
5. OBJETIVOS.....	15
5.1. Objetivo general.....	15
5.2. Objetivos específicos.....	15
6. MATERIALES Y METODOS.....	15
6.1. Localización del área de estudio.....	15
6.2. Diseño del sistema acuapónico.	16
6.3. Elementos biológicos.....	18
6.3.1. Plantas.....	18
6.3.2. Peces	19
6.4. Diseño experimental.....	19
6.4.1. Análisis de plantas	20
6.4.2. Estimación de parámetros productivos de peces.	22
6.4.3. Evaluación de parámetros fisicoquímicos del agua.....	22
6.4.4. Correcciones y enmiendas.	23

6.4.5.	Evaluación de variables microclimáticas.....	24
6.5.	Análisis de datos.....	25
7.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	25
7.1.	Albahaca.....	25
7.2.	Peces.....	36
7.3.	Parámetros fisicoquímicos.....	39
8.	CONCLUSIONES.....	42
9.	RECOMENDACIONES.....	43
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	44

Índice de figuras	Pág.
Figura 1. Sistema acuapónico	5
Figura 2. Cultivo de tres variedades de albahaca	7
Figura 3. Tilapia (<i>Oreochromis</i> sp)..	7
Figura 4. Variedades de albahaca usadas en la investigación.....	13
Figura 5. Tilapia (<i>Oreochromis</i> sp)..	14
Figura 6. Bloque de laboratorios del campus UMNG.....	16
Figura 7. Invernadero de ictiología UMNG.	16
Figura 8. Componentes del sistema acuapónico	18
Figura 9. Cosecha de albahaca.....	20
Figura 10. Equipos manejados en Poscosecha.....	21
Figura 11. Equipos utilizados durante la medición de plantas	21
Figura 12. Equipos manejados durante la medición de peces.....	22
Figura 13. Kit de acuario y sonda multiparametrica	23
Figura 14. Elemento usados como correctivos y enmiendas	24
Figura 15. Data logger.....	24
Figura 16. Plantas afectadas por (<i>Botrytis cinerea</i>).....	26
Figura 17. Número de tallos por planta	31
Figura 18. Longitud de tallos por planta.	33
Figura 19. Porcentaje tallos para mercado tipo exportación.....	34
Figura 20. Variables microclimáticas en el invernadero de Ictiología	35
Figura 21. Plantas con síntomas de deficiencia nutricional.....	36

Tabla 1. Tratamientos.	19
Tabla 2. Porcentaje de sobrevivencia	26
Tabla 3. Biometría destructiva promedio de producción de peso seco g/panta.....	27
Tabla 4. Comparación del rendimiento de biomasa fresca	28
Tabla 5. Rendimiento en promedio de peso fresco g/m² año.....	29
Tabla 6. Parámetros productivos y crecimiento de Tilapia roja	38
Tabla 7. Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos.....	40
Tabla 8. Comportamiento de (NO₃), (Ca), (C.E) (S.D.T),.....	40
Tabla 9. Parámetros fisicoquímicos rangos óptimos (Candarles, 2016). Y resultados de la investigación.	41
Tabla 10. Comparación cantidad de alimento suministrado	42

1. RESUMEN.

La constante expansión de la población hace que el abastecimiento alimentario representado por la actividad agropecuaria degrade y afecte negativamente la mayoría de los recursos naturales. La acuaponía es una alternativa de producción limpia y sostenible, que combina la hidroponía y acuicultura buscando aprovechar adecuadamente dichos recursos. En este trabajo se evaluó el desempeño de un sistema acuapónico con tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo condiciones de invernadero. El trabajo se llevó a cabo de septiembre a diciembre de 2016. La especie de pez utilizada fue la tilapia roja (*Oreochromis* sp), con una biomasa inicial de 57,8 Kg y una densidad de 7,2 Kg/m³, se realizó un diseño experimental de bloques interpuesto con tres tratamientos con seis repeticiones por tratamiento, cada unidad experimental fue establecida en 1 m² con densidad de siembra de 24 plantas para un total 144 plantas por tratamiento, se evaluaron parámetros de productividad y rendimiento en las plantas, parámetros productivos y crecimiento de la tilapia, así como el comportamiento de algunos parámetros fisicoquímicos involucrados en el sistema. Durante el experimento la albahaca mostro buenos resultados de sobrevivencia y de cultivo, presentando mayor producción en la primera cosecha. La producción de biomasa de albahaca en fresco estuvo muy por encima comparada con la producción de cultivos en suelo según lo reportado en literatura, la tilapia presento altos porcentajes de sobrevivencia. En conclusión con las condiciones dadas en esta investigación el sistema acuapónico presento un rendimiento viable para la producción de tilapia y albahaca, generándose una apropiada concentración de macro y micronutrientes para el desarrollo de las plantas.

Palabras clave: Sistemas de recirculación, producción, plantas aromáticas, producción limpia, alternativa para el postconflicto.

2. ABSTRACT.

The increase of population have contributed that agriculture degrade and affect adversely the majority of natural resources. The aquaponics is a green alternative production and sustainable, it combine hydroponics with aquaculture in order to use resources appropriately. This research evaluated the performance of an aquaponics system with three varieties of basil (*Ocimum basilicum L.*) in greenhouse conditions. The work was realized between September to December 2016. Red Tilapia (*Oreochromis sp*) was selected to this research with an initial biomass 57.8 Kg, and a density of 7.2 Kg/m², an experimental design like interposed blocks, with three treatments and six replicates per treatment. Each experimental unit had a planting density of 24/m², with a total of 144 plants by treatments. In plants were evaluated productivity and yield production, while in Tilapia were evaluated grown up and parameters of productivity, in the same way, were studies some water quality parameters. The basil exhibit good survival, furthermore they showed higher production in the first harvest, and the production of fresh biomass was higher than a traditional soil crops production. In conclusion, the condition evaluated in this research the aquaponics system exhibited a good production of Tilapia and basil (appropriate concentration of macro and micronutrients for the development of plants).

Key words: Recirculation systems, production, aromatic plants, clean production, alternative to post conflict.

3. INTRODUCCIÓN.

La forma de producción agrícola en Colombia se viene transformando en los últimos años con el fin de promover el desarrollo de una producción limpia, para disminuir la explotación del suelo y el deterioro en los recursos naturales como: talas de bosque en busca de espacio para nuevos cultivos, suelos menos fértiles por la aplicación indiscriminada de productos de síntesis química (plaguicidas fungicidas, herbicidas), mal uso del agua (riego), lo que hace indispensable contar con sistemas de producción amigables con el medio ambiente, y es ahí donde se pueden considerar los sistemas acuapónicos como uno de los modelos de producción que pueden solucionar esta problemática (Ramírez et al, 2009; Pizá et al, 2013).

La acuaponía es un sistema innovador, integrado y sostenible de producción de plantas y peces que combina la acuicultura tradicional (cría de animales acuáticos) con la hidroponía (cultivo de plantas sin suelo) en un ambiente simbiótico (Torres et al, 2015). Este sistema permite optimizar el gasto de agua al ser recirculada, y la utilización de las heces de los peces y desechos de alimentos como nutrientes para las plantas. En este tipo de cultivos no se emplean pesticidas ni plaguicidas obteniendo una producción limpia (Muñoz, 2012).

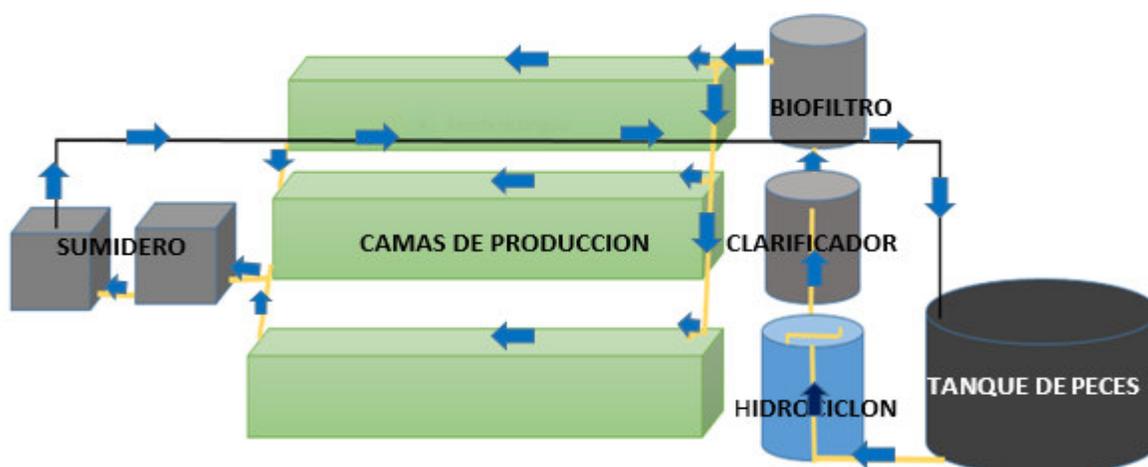


Figura 1. Sistema acuapónico. (Santos y Pandales, 2016).

La acuaponía es una tecnología que lleva más de 25 años de conocerse a nivel mundial, las primeras publicaciones sobre la acuaponía se dieron en la década de los 70, donde se demostró que los desechos que producían los peces podían ser

utilizados para el cultivo de plantas, sin embargo fue Rakocy uno de los más importantes investigadores en este tema quien desarrollo un sistema en las Islas Vírgenes en la década de los 90 y de ahí se empezaron a tener datos concretos sobres este tipo de cultivos, actualmente se reportan cultivos en países como Estados unidos, China y Canadá. (Calo, 2011). En Colombia no se tiene información sobre proyectos que adopten este sistema. La Universidad Militar Nueva Granada es la pionera en la materia y actualmente realiza investigación sobre esta tecnología.

Se trabajó con albahaca (*Ocimum basilicum* L.) tiene gran aceptación en el mercado nacional e internacional, además de ser una de las especies aromáticas más utilizadas en la culinaria y medicina tradicional por su alto contenido de compuestos fenólicos y aceites esenciales, que le dan su característico aroma y sabor (Colorado et al, 2013). Es por ello, que el Plan Hortícola Nacional 2007-2015 la incluyó como una de las plantas aromáticas más importantes recomendando priorizar investigaciones relacionadas a mejorar sus rendimientos y manejos agronómicos (Asohofrucol, 2007).

En Colombia se reportan cultivos de albahaca para la exportación desde el año 1998, principalmente en los departamentos de Tolima y Cundinamarca, donde las mayores dificultades han sido los costos en fletes y la variabilidad climática, por lo que se requiere generar alternativas que den solución a esta problemática (Cortez y Clavijo, 2007).



Figura 2. Cultivo de tres variedades de albahaca. (Santos y Pandales, 2016).

La tilapia roja (*Oreochromis* sp). Es un pez de agua dulce que se posiciona como una de las especies más producidas a nivel mundial, se presenta como una de las alternativas más propicias para la producción de proteína de origen animal y es relativamente económica por sus altos rendimientos, dado que su tasa de crecimiento es mayor que el de otras especies de agua dulce como la carpa, cachama, trucha, etc. en sistemas de cultivo intensivo. La producción de la tilapia en Colombia representa el 65,2% del total de la producción piscícola del país, siendo la primera especie de consumo, además posee una gran aceptación en el mercado de los Estados Unidos (Usgame et al, 2007).



Figura 3. Tilapia (*Oreochromis* sp). Tomado de DANIPEZ S.A.S. (2012).

Las condiciones de cultivo reportadas como óptimas presentan las siguientes condiciones: temperatura entre 20 y 30°C, (a temperaturas menores de 15°C no se desarrollan), concentraciones de oxígeno disuelto de 3 a 5 mg/L, valores de pH que oscilan entre 6 y 8, y una turbidez de 30 cm aproximadamente (Saavedra, 2006).

Con este trabajo se busca evaluar el desempeño de un sistema acuapónico con tres variedades de albahaca bajo condiciones de invernadero y contribuir al desarrollo de un paquete tecnológico en acuaponía con esta importante especie aromática en la sabana de Bogotá.

4. MARCO DE REFERENCIA.

La supervivencia del hombre se ha visto ligada al uso de los recursos naturales con los que cuenta, no obstante el crecimiento demográfico actual, sumado a la escasa disponibilidad de alimentos ha generado que más de la mitad de la población esta subalimentada (Kanchi, 2013). Las inadecuadas tecnologías y el deterioro de los ecosistemas que se ha venido evidenciando a nivel mundial, han producido cambios climáticos bruscos e impredecibles, generando graves daños no solo a los suelos sino también a la salud de los seres humanos (Domínguez, 2008).

La acuaponía surge como una alternativa de producción y de educación experimental, la cual brinda seguridad alimentaria puesto que este sistema permite tener una mayor producción en menos área de siembra, además de contribuir al equilibrio ambiental al no utilizar labranza. En este tipo de cultivos la aplicación de productos de síntesis química es mínima y el uso de un sistema de recirculación permite hacer un adecuado uso de agua y a la vez funciona como una herramienta educativa, como una salida a la problemática social y ambiental (López et al, 2008; Jiménez, 2013).

4.1. La acuaponía

La principal característica de la acuaponía es la producción limpia mediante dos componentes, el cultivo de peces y vegetales, esto se realiza mediante la recirculación del agua (Diver, 2010; Caló, 2011). Al suministrar alimento a los peces,

estos solo utilizan entre 20 - 30% para la formación de tejido y el restante se convierte en excreciones y residuos que forman una solución de nutrientes para las plantas con diferentes compuestos como: nitrógeno amoniacal total (NAT) que es un fertilizante esencial para los vegetales, este debe de pasar por un biofiltro encargado de realizar un proceso de nitrificación puesto que a altas concentraciones es tóxico para los peces, es por eso que es necesario otro componente biológico de vital importancia en el sistema, como son las bacterias nitrificantes, éstas son las encargadas de convertir el NAT en nitrito y luego en nitrato, éste último compuesto químico es un fertilizante esencial para el crecimiento de las plantas (García et al, 2005; Castilla, 2011). Las raíces de las plantas en simbiosis con las rizobacterias remueven gran parte de los nutrientes del agua logrando incrementar el desarrollo y la calidad de las hortalizas que a la vez funcionan como filtros al limpiar el agua que regresa a los peces tras la recirculación de la misma (Rodríguez y Zafra, 2014).

Aguilera et al. (2012) mencionan que la acuaponía es el arte de obtención intensiva biointegrada y de excelente productividad, pues por cada tonelada de peces en espacio reducido se obtienen 7 toneladas de hortalizas a través del tratamiento del agua.

El abastecimiento alimentario representado por la actividad agropecuaria e industrial deterioran la mayoría de los recursos naturales, en especial el agua. Según la FAO (2002), para suplir las necesidades de la humanidad son extraídos en la actualidad 3.600 Km³ de agua dulce, donde la mitad aproximadamente es evapotranspirada por las plantas y escorrentías que regresan a los afluentes y acuíferos, mientras que el consumo per cápita es de 580 m³ al año. El sector agrícola es el mayor consumidor utilizando un 69%. El agua utilizada puede variar entre 1.000 y 3.000 m³ por tonelada de materia vegetal producida (fibra), es decir que para cosechar 1 kg de arroz se necesita entre 1 y 3 toneladas de agua. Adicionalmente la industria utiliza el 21%, y tan solo un 10% es utilizado para el uso doméstico (FAO, 2002). Los sistemas acuapónicos reducen en un 90% los requerimientos de agua necesaria para un cultivo normal, estos sistemas hoy en día

son una alternativa de producción amigable y sostenible con el medioambiente (Aguilera et al, 2012).

La acuaponía propone sistemas sostenibles en la producción de alimento de forma integral que permite la recuperación de suelos deteriorados y la utilización de cantidades mínimas de agua manteniéndola en recirculación por largos periodos de tiempo (Aguilera et al, 2012). Esta tecnología se proyecta como uno de los métodos más eficientes y sostenibles en la producción de plantas y peces (Muñoz, 2012). En términos generales la Acuaponía presenta dos diferentes modelos de producción, uno para producción doméstica adoptado por un grupo de personas para su autoconsumo y en otros casos como ornamentales, y otro grupo que ha llevado la producción en sistema acuapónico a una escala mayor de comercialización donde se logran producciones rentables y sostenibles (Colagrosso,2015).

4.1.1. Algunas ventajas de los sistemas acuapónicos.

- ❖ Disminución del uso de fertilizantes por la presencia de peces en el sistema
Se disminuye notablemente la contaminación del ambiente.
- ❖ No utilización del suelo, lo que permite que sean instalados en suelos erosionados o incluso en el desierto.
- ❖ Optimización del espacio y aprovechamiento de un mayor número de plantas al aumentar la densidad de siembra por metro cuadrado. Obtención de cosechas semanales al tener el cultivo en producción escalonada con densidades de 24 - 67 plantas por metro cuadrado dependiendo del tipo de sistema y plantas.
- ❖ Se obtiene doble fuente de ingreso, económico y alimenticio, por el cultivo de plantas y peces en un mismo sistema. Ahorro a nivel productivo debido a la utilización de las heces de los peces y residuos de alimento como nutrientes para los vegetales (Mateus, 2009).
- ❖ Reducción del consumo de agua al contar con un sistema cerrado de recirculación.
- ❖ El manejo de plagas y enfermedades se realiza mediante control biológico lo que permite tener una producción limpia.

- ❖ La acuaponía se convierte no solo en una alternativa de producción de alimentos de alta calidad, sino también en una oportunidad para mejorar las condiciones socioeconómicas de la población contribuyendo a la seguridad alimentaria (Colagrosso, 2014).

4.1.2. Algunas desventajas que presentan los sistemas acuapónicos.

- ❖ Depende de energía eléctrica en todo momento, la interrupción de esta por largos periodos de tiempo causaría problemas en todo el sistema e incluso puede causar la muerte de peces y plantas. Aumento en el gasto del fluido eléctrico al utilizar equipos para mover y oxigenar el agua.
- ❖ Puede presentarse taponamiento de tuberías.
- ❖ La cantidad de plantas está limitada por el volumen y desarrollo de los peces.
- ❖ Es de vital importancia la regulación del balance entre peces y plantas para evitar alteraciones.
- ❖ Requiere personal calificado para su producción.
- ❖ Generalmente el costo del montaje inicial es económicamente alto. (Mateus, 2009).

4.2. Albahaca.

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.). Es una planta herbácea procedente de Asia Meridional, perteneciente a la familia de las Lamiaceae, tiene un abundante y amplio uso en el aspecto culinario, cosmetología y en la industria farmacéutica. También se caracteriza por su alto contenido de aceites esenciales, lo que la hace apetecida en los mercados internacionales (Sam et al, 2002). La albahaca es una planta aromática, distribuida en las regiones tropicales y subtropicales, necesitando de condiciones edafoclimáticas para el desarrollo óptimo de cultivo, con climas cálidos o templados (temperaturas entre 24 a 30°C durante el día, 16 a 20°C durante la noche, (no resiste temperaturas menores a 2°C), con altitudes entre 0 y 1000 msnm, y valores de humedad relativa entre el 60 y 70%. Bajo las condiciones mencionadas anteriormente la planta puede alcanzar alturas entre 40 a 60cm y hojas entre 2 y 5 cm (Briceño et al, 2013).

La producción de la albahaca en el país está representada por dos variedades, la Genovese y el híbrido de Nufar, aunque se tiene conocimiento de otras variedades que podrían cultivarse. (Clavijo et al, 2005), existen más de 150 especies de albahaca y un gran número de variedades entre las que se encuentran la albahaca Genovese, Dark opal purple y la Tailandesa, que son las variedades con las cuales se realizó esta investigación.

4.2.1. Variedades.

<p>ALBAHACA GENOVESE. (<i>O basilicum</i>) De origen italiano se cultiva comúnmente para el uso en pesto y otros platos culinarios. Crece vertical de 45 a 60 cm, sus hojas verde brillante y su gran tamaño la hace llamativa.</p>	 <p>(Santos y Pandales, 2016)</p>
<p>ALBAHACA DARK OPAL PURPLE. (<i>Ocimum basilicum</i> var. <i>Purpureum</i>). Se caracteriza por tener hojas dentadas, de color púrpura brillante y de un exquisito aroma. Desarrollada en la Universidad de Connecticut, tiene un alto contenido de antocianinas y se considera una fuente potencial de pigmentos rojos para la industria alimentaria.</p>	 <p>(Santos y Pandales, 2016)</p>

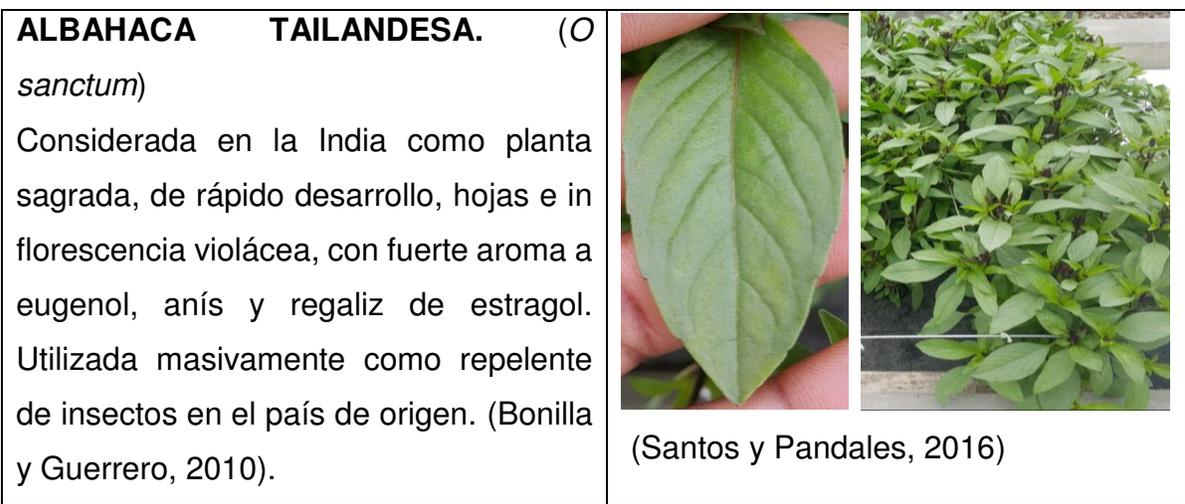


Figura 4. Variedades de albahaca usadas en la investigación.

Colombia exporto para el año 2006 1.620 toneladas con un valor de 3.675 dólares por tonelada (Asohofrucol, 2007). Los principales departamentos productores son: Boyacá con una participación del 73% del total de la producción nacional, seguido por el Valle del Cauca quien aporta el 19%, los otros departamentos productores son Cundinamarca y Antioquia, con valores de 6 y 2% respectivamente (Aldana, 2015).

Para el mercado tipo exportación se comercializa en presentaciones de 12 ramilletes de 42 g o 24 ramilletes de 21 g depositados en caja corrugadas de cartón con capacidad para 10 Lb (Asohofrucol, 2007). El mercado a nivel nacional está destinado al consumo en fresco, en la culinaria y en el uso farmacéutico, la producción de hierbas aromáticas en el país para el año 2008 fue 1.200 ha, donde se produjeron cerca de 3.300 ton (Barrientos et al, 2012).

4.3. Tilapia.

La Tilapia (*Oreochromis* sp). Es un pez teleósteo, del orden Perciforme, perteneciente a la familia Cichlidae originario de África. Se encuentra en todo el mundo específicamente en zonas tropicales, en donde presenta un mayor crecimiento y desarrollo debido a las condiciones climatológicas que son favorables para su producción. De todas las especies pertenecientes a la tilapia, el género *Oreochromis*, aporta las variedades más importantes como lo es la tilapia nilótica y su híbrido la tilapia roja. La tilapia es la segunda especie de agua dulce con mayor

aceptación y producción en el mundo, considerándose de esta forma el pez más importante dentro de las distintas modalidades de cultivos comerciales existentes (López y Cruz, 2011).



Figura 5. Tilapia (*Oreochromis* sp) (Santos y Pandales, 2016).

La Tilapia es una especie de fácil manejo, presenta resistencia a la manipulación, a enfermedades, factores físicos y químicos, Toleran el cultivo a altas densidades lo que brinda alta rentabilidad en la acuicultura (Saavedra, 2006).

La acuicultura en Colombia ha tenido un crecimiento comparable con el crecimiento de dicha actividad a nivel mundial, ubicándose en el sexto lugar en Latinoamérica con un crecimiento del 13% anual durante los últimos años (Merino et al, 2013). Para el año 2011 la producción acuícola en Colombia fue 83.569 ton, de las cuales 74.159 ton correspondieron a la piscicultura que representa el 89,7%, donde la tilapia fue la de mayor producción aportando el 65,2% del total de la producción, las exportaciones nacionales para el mismo año alcanzaron 4.032 ton, donde el filete de tilapia represento 92,7% y el restante 7,3% correspondió a filete de trucha (Osorio et al, 2013).

Los departamentos que aportan al país en mayor número de producción de peces de agua dulce son: Huila, Valle del Cauca Meta y Tolima, con índices de incrementos en la producción de tilapia en los años venideros, representados por tres grandes empresas que tomaron el liderazgo en el país como: Piscícolas Pijaos (Tolima), Comepex y Piscícola New York (Huila). El Tolima cuenta con un área de 6.072 ha, la cual produce 250 ton/año, cifras que posicionan a Colombia junto a

Costa Rica como los principales comercializadores y exportadores de tilapia fresca a Estados Unidos (Mancilla y Cáceres, 2012).

5. OBJETIVOS.

5.1. Objetivo general.

- Evaluar el desempeño de un sistema acuapónico con tres variedades de albahaca bajo condiciones de invernadero.

5.2. Objetivos específicos.

- Evaluar parámetros de productividad y rendimiento de tres variedades de albahaca producidas en sistema acuapónico bajo invernadero.
- Estimar los parámetros productivos y de crecimiento de tilapia roja en sistema acuapónico bajo condiciones de invernadero.
- Analizar los parámetros fisicoquímicos de un sistema acuapónico con tres variedades de albahaca y tilapia roja.

6. MATERIALES Y METODOS.

6.1. Localización del área de estudio.

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el invernadero de Ictiología y en el Laboratorio de Fisiología Animal de la Universidad Militar Nueva Granada sede Campus Cajicá, situada en las inmediaciones de la vereda Manas del municipio de Cajicá Km 2 vía Zipaquirá (Cundinamarca) costado oriental, Coordenadas geográficas aproximadas 4°40'59"N 74°02'31"O; con una altura de 2.635 msnm, y temperatura promedio de 14°C, en el periodo de septiembre a diciembre 2016.



Figura 6. Bloque de laboratorios del campus UMNG (Santos y Pandales, 2016).



Figura 7. Invernadero de ictiología UMNG (Santos y Pandales, 2016).

6.2. Diseño del sistema acuapónico.

Para el establecimiento del sistema acuapónico se utilizó un modelo tipo UVI, que consta de un tanque en geomembrana de 8.000 L para el cultivo de peces, con un recubrimiento de jumbolon de color negro y plástico de polietileno negro como tapa para evitar la proliferación de algas y conservar la temperatura del agua. En la parte

inferior del tanque de peces se dispuso de un sifón de 4" que pasaba el agua a un "hidrociclón" (tanque en fibra de vidrio de 1.000 L) utilizado para la precipitación de sólidos suspendidos provenientes de las heces de los peces o el alimento sin consumir. Posteriormente el agua pasaba a un clarificador (tanque de 1.000 L), y este a su vez se conectó al biofiltro. El biofiltro (tanque de 1.000 L, con 250 L de conduflex en segmentos de 2cm, como sustrato inerte, para la colonización y establecimiento de las bacterias nitrificantes del sistema. El agua después fluía a las camas de plantas, cada cama de concreto tenía un área 14 m² y una profundidad de 50 cm y un ancho de 1 m. Finalmente el agua llegaba a dos tanque de 1.000 L interconectados entre sí, que funcionaban como sumidero. El sistema tenía un volumen total de 36.000 L de agua.

Para la recirculación del agua se utilizó una bomba RESUN KING5F IPX8, de 130 W, con capacidad máxima de 6.000 L/h enviando un flujo de agua constante de 2,08 m³/h realizando 1,3 recambios al día. La bomba se encontraba sumergida en el segundo tanque utilizado como sumidero regresando el agua al tanque de peces permitiendo la recirculación. La aireación se suministró a través de una turbina HG – 1100 – C2 de 1.100 W, con una tasa de flujo de 135 m³/h, con sistema circular en tubos de PVC con orificios a determinadas distancias instalado dentro de los tanques de peces y el biofiltro.



Figura 8. Componentes del sistema acuapónico. a: Tanque de peces, b: Hidrociclón, c: Clarificador, d: Biofiltro, e: Camas de producción, f: Sumideros, g: Bomba eléctrica, h: Turbina de aireación (Santos y Pandales, 2016).

6.3. Elementos biológicos.

6.3.1. Plantas

Las semillas se enviaron a germinar en el centro de Biosistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, se adquirieron 600 plántulas de albahaca (*Ocimum basilicum* L) de tres variedades, 200 de la variedad Genovese, 200 Dark opal purple y 200 de Tailandesa, se trasplantaron con edades de 20 días después de la germinación, altura promedio 3,5 cm, y cuatro hojas verdaderas (Las semillas de las variedades Tailandesa y Dark Opal Purple fueron adquiridas en empresas especializadas en Estados Unidos). Se verificó visualmente que las plantas estuvieran libres de plagas y enfermedades. En la semana 3 después del trasplante cuando las plantas alcanzaban una altura de 15 cm aproximadamente, fue necesario elaborarles un encanastado como tutor que le sirviera de soporte, debido a que el jumbolon utilizado como base era muy delgado para este tipo de plantas.

6.3.2. Peces

La especie de pez empleada en esta investigación correspondió a tilapia roja (*Oreochromis* sp). Una población 93 peces con edad aproximada de año y medio peso promedio de 621g, longitud total de 30 cm, longitud estándar de 25 cm, con una biomasa total de 57,8 kg, y una densidad de 7,2 Kg/m³. Provenientes de un centro de distribución autorizado del departamento Meta, los cuales estaban siendo utilizados para fines de investigación en la UMNG. Los peces fueron alimentados diariamente al 1% del total de la biomasa, repartidas en tres raciones diarias de alimento comercial (mojarrina al 32% de proteína cruda).

6.4. Diseño experimental.

Para la evaluación del sistema acuapónico de cama flotante se utilizó un diseño experimental de bloques aleatorizados o interpuestos (3x6), con tres variedades de albahaca con 6 repeticiones, cada unidad experimental estuvo establecida en un área 1 m² densidad de siembra de 24 plantas/m², con 144 unidades del material vegetal/cama Los tratamientos evaluados fueron:

Tabla 1. Tratamientos, repeticiones y densidad de siembra de tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L).

Tratamiento	Variedad	Repeticiones	Densidad (m ²)	Peso inicial (g)
T1.	Albahaca			
	Genovese	6	24	0,402
T2.	Albahaca Dark			
	Opal Purple	6	24	0,319
T3.	Albahaca			
	Tailandesa	6	24	0,249

6.4.1. Análisis de plantas

Se realizaron dos cosechas, la primera (poda) se llevó a cabo en la semana 7 después del trasplante, y la segunda en la semana 12. Para la cosecha se utilizó canastillas plásticas con capacidad para 2.5 Kg y tijeras podadoras. Para el criterio de la poda se tuvo en cuenta lo reportado por Briseño et al (2013) quienes mencionan que la cosecha se debe realizar cuando las plantas se encuentran en el establecimiento masivo de la floración, podando todos los tallos, cortando los tallos secundarios a 2 cm de la base del tallo principal, y el principal a 15 cm desde la base del suelo.



Figura 9. Cosecha de albahaca (Santos y Pandales, 2016).

Para la evaluación de los parámetros de productividad y rendimiento se tuvo en cuenta:

- Supervivencia (%), cantidad de plantas que sobrevivieron durante la investigación.
- Biometría destructiva (peso fresco /seco); al inicio y final de la investigación, evaluando al 12% del material vegetal por variedad. Para el pesaje correspondiente de la biometría destructiva se utilizó una gramera, marca TRAVELER TAL 501, Para el secado de las muestras se usó un horno

eléctrico, marca memmert D06062, modelo 600, durante 48 horas a temperatura constante de 72°C.,

- Producción de peso fresco/m², evaluándose el 12% de cada variedad.
- Número de tallos (promedio de tallos producidos por planta), evaluándose el 12% por variedad al final de cada cosecha.
- Tallos tipo exportación, (tallos con longitudes entre 15 – 20 cm) empleándose una regla, un metro, un pie de rey digital y planillas.



Figura 10. Equipos manejados en Poscosecha, a: Balanza gramera, b: Bolsa de papel, c: Horno eléctrico (Santos y Pandales, 2016).



Figura 11. Equipos utilizados durante la medición de plantas, a: regla, b: pie de rey digital (Santos y Pandales, 2016).

6.4.2. Estimación de parámetros productivos de peces.

Para estimar los parámetros productivos y de crecimiento en los peces, se tomaron mediciones al 32% del total de la población, al inicio y final de las dos cosechas de plantas. Se estimaron parámetros productivos y crecimiento como:

- Longitud total y estándar utilizando cinta métrica, Recipiente plástico, Balanza digital, marca ACCULAB (SVI – 20B) capacidad de 2.0 g a 20 kg,
- Ganancia de peso es el aumento del peso corporal del pez (GP = peso final – peso inicial). Utilizando Balanza digital, marca ACCULAB (SVI – 20B) capacidad de 2.0 g a 20 kg.
- Factor de conversión alimenticia, (FCA= total alimento consumido/ biomasa final). Utilizando Balanza digital, marca ACCULAB (SVI – 20B) capacidad de 2.0 g a 20 kg.
- Factor de condición (K), donde ($K = (\text{peso}/\text{longitud}^3) * 100$), relación peso y longitud por pez). Utilizando Balanza digital, marca ACCULAB (SVI – 20B) capacidad de 2.0 g a 20 kg, cinta métrica.



Figura 12. Equipos manejados durante la medición de peces, a: Balanza digital, b: Recipiente plástico, c: Cinta métrica (Santos y Pandales, 2016).

6.4.3. Evaluación de parámetros fisicoquímicos del agua.

Para evaluar la calidad del agua del sistema en estudio, se tomaron muestras semanales del tanque de peces y de las camas de plantas, en recipientes plásticos,

en horas de la mañana. Las muestras fueron llevadas al laboratorio de Fisiología Animal donde se midieron los siguientes parámetros: NAT, Nitrito, Nitrato, Calcio, Fosfato, dureza de carbonatos (KH), con kits de acuario marca API. Los parámetros como el pH, O₂, Temperatura, conductividad eléctrica (C.E) y solidos disueltos totales (S.D.T.). Fueron medidos con una sonda multiparamétrica marca HANNA HI 9829.



Figura 13. Kit de acuario y sonda multiparamétrica. a: kit de acuario, b: Sonda multiparamétrica (Santos y Pandales, 2016).

6.4.4. Correcciones y enmiendas.

Todo sistema acuapónico en producción necesita algunas correcciones fisicoquímicas entre ellas el pH (se utilizó ácido nítrico (HNO₃) y cítrico (C₆H₈O₇), siempre evitando cambios bruscos en el sistema que pudieran causar estrés a los organismos vivos en el sistema , según Torres et al. en el 2015), de igual forma enmiendas de algunos elementos como por ejemplo el Hierro (Fe²⁺; por medio de quelatos utilizando DTPA, al 11.3% en cantidades de 50 g/cama semanales y potasio (K⁺; por medio de sulfato de potasio (K₂SO₄) en cantidades de 10 g/cama),.



Figura 14. Elemento usados como correctivos y enmiendas. a: Quelato de Hierro, b: Ácido Nítrico, c: Ácido Cítrico (Santos y Pandales, 2016).

6.4.5. Evaluación de variables microclimáticas.

Para la evaluación de las variables microclimáticas se utilizó un data logger marca, onset HOBO U10 - 003, y se midieron parámetros de temperatura y humedad relativa (T°C, H.R) cada 15 minutos durante el periodo de investigación.



Figura 15. Data logger (Santos y Pandales, 2016).

6.5. Análisis de datos.

Los datos de esta investigación se validaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas con la prueba de Shapiro-Wilk, a partir de estos resultados se empleó la prueba ANOVA para observar las diferencias entre los tratamientos y el tiempo, luego se realizaron las pruebas de Tukey para cada variable con niveles de significancia del 5%. Para este análisis se empleó el paquete estadístico R versión R i386 3.3.1. De libre distribución en internet (www.r-project.org). Adicionalmente, se hizo un análisis descriptivo para determinar la media aritmética y desviación estándar, tanto en las variables biométricas y parámetros productivos de plantas y peces, y con los datos obtenidos de fisicoquímicos.

7. RESULTADOS Y DISCUSION.

7.1. Albahaca.

Los resultados obtenidos referentes a los porcentajes de sobrevivencia (Tabla 2), presentados por los tratamientos, para la primera cosecha fueron altos presentando comportamientos similares entre los tratamientos. Sin embargo, para la segunda cosecha los resultados fueron diferentes, donde la variedad Tailandesa (T3) mostró el mayor porcentaje de sobrevivencia con un 98,6%, seguida de la Genovese (T1) con 89,6%, mientras que la variedad Dark opal purple (T2) presentó un 54,2%, lo cual pudo haber estado relacionado a varios factores, entre ellos la presencia del hongo (*Botrytis cinerea*), hongo oportunista que se encuentra en el ambiente, al cual se le facilitó su infestación en la planta por las heridas causadas al momento de la poda, y quizás el uso de herramientas infectadas (Benito, 2000). Las plantas mostraron síntomas de enfermedad en la semana 9 (figura 16), por tal motivo, se llevaron muestras al laboratorio de Diagnóstico de Sanidad Vegetal de la UMNG, donde se confirmó la existencia de dicho patógeno (*Botrytis cinerea*); además, posiblemente la variedad Dark opal purple (T2) presenta mayor susceptibilidad al ataque de este hongo, a pesar de que no se encontró bibliografía al respecto. La variedad Genovese (T1) y la Tailandesa (T3) mostraron un porcentaje de sobrevivencia similar a los resultados reportados por Ronzón et al. (2012) en

estudios realizados en cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*) en sistemas hidropónicos donde tuvo porcentajes de sobrevivencia mayores al 90%.

Tabla 2. Porcentaje de sobrevivencia de tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L) S: sobrevivencia

Cosecha	GENOVESE (T1)			DARK OPAL PURPLE (T2)			TAILANDESA (T3)		
	Siembra	plantas murtas	S (%)	Siembra	plantas murtas	S (%)	Siembra	plantas murtas	S (%)
1	144	1	99,3	144	0	100	144	2	98,6
2	144	15	89,6	144	66	54,2	144	2	98,6



Figura 16. Plantas afectadas por (*Botrytis cinérea*). a: Genovese, b: Dark opal purple (Santos y Pandales, 2016).

En cuanto a la variable del peso seco aéreo por planta (Tabla 3) la variedad Genovese (T1) tuvo un mejor desempeño en comparación con las otras dos variedades, la cual inicio con un peso de $0,07 \pm 0,02$ g al momento del trasplante,

incrementado paulatinamente su peso hasta obtener valores de $24,4 \pm 8,2$ g al final de la segunda cosecha, seguido de la variedad Tailandesa (T3) que inicio con un peso de $0,04 \pm 0,01$ g aumentando y presentando valores de $19,3 \pm 3,4$ g, mientras que la variedad Dark opal purple (T2) mostró el menor valor de peso seco comenzando con $0,03 \pm 0,01$ g alcanzando un peso de $10,4 \pm 3,4$ g. No obstante, al analizar detenidamente los resultados se puede observar que en la primera cosecha las variedades Dark opal purple (T2) y Tailandesa (T3) tuvieron una mayor ganancia de peso seco, mientras que para la segunda cosecha la variedad Genovese (T1) obtuvo una mayor ganancia de peso . Al comparar el parámetro peso seco, con los rendimientos reportados para cultivos en suelo se encontraron que los sistemas acuapónicos generaran buenos rendimientos, es así que la variedad Dark opal purple (T2) tuvo rendimientos semejantes a lo descrito por Reynafarje (2011), aproximadamente de 3-5 ton/ha, mientras la variedad Genovese (T1) y Tailandesa (T3) tuvieron rendimientos por encima de los reportados por el mismo autor.

Tabla 3. Biometría destructiva promedio de producción de peso seco g/panta.

Tiempo	Genovese (T1)		Dark Opal Purple (T2)		Tailandesa (T3)	
	peso fresco (g)	Peso seco (g)	peso fresco (g)	Peso seco (g)	Peso fresco (g)	peso seco (g)
0	$0,40 \pm 0,1a$	$0,07 \pm 0,02^a$	$0,32 \pm 0,1a$	$0,03 \pm 0,01a$	$0,25 \pm 0,06^a$	$0,04 \pm 0,01a$
1	$98,4 \pm 29,2b$	$11,2 \pm 3,5b$	$63,6 \pm 20b$	$5,9 \pm 1,8b$	$75,9 \pm 21,1b$	$10,3 \pm 2,1b$
2	$110,3 \pm 50,4c$	$13,1 \pm 4,7b$	$36,7 \pm 17,9b$	$4,5 \pm 1,6b$	$65,6 \pm 14,9b$	$9 \pm 1,3b$
Total	$209,1 \pm 70,7$	$24,4 \pm 8,22$	$100,6 \pm 38$	$10,43 \pm 3,4$	$141,8 \pm 36$	$19,3 \pm 3,4$

Los resultados obtenidos pueden estar relacionados con el número de cosechas el cultivo de albahaca en el sistema acuapónico presentó un tiempo de cosecha considerablemente más corto que un cultivo tradicional en tierra, debido a que en

los sistemas se pueden realizar cuatro cosechas por ciclo del cultivo, mientras que un cultivo en tierra se efectúan dos cosecha por ciclo de producción (Clavijo et al, 2005; López, 2005; Juárez et al, 2013; Briseño et al 2013).

Tabla 4. Comparación del rendimiento de biomasa fresca, del cultivo de albahaca producida en suelo vs sistema acuapónico. T1: Genovese, T2: Dark opal purple, T3: Tailandesa.

Autor	Rendimiento (ton/ha/año)	N° Cosechas/año
López A, 2005	10 – 15	2
Clavijo et al, 2005	20	2
Briseño et al, 2013	20	2
Juárez et al, 2013	8 – 20	2
Santos y Pandales (T1)	100	4
Santos y Pandales (T2)	48,1	4
Santos y Pandales (T3)	67,9	4

En cuanto al rendimiento en producción de biomasa en peso fresco los tratamientos mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$), el tratamiento con mejor resultado fue la variedad Genovese (T1) con producción de 2504,4 g/m², seguido de la variedad Tailandesa (T3) que obtuvo un peso de 1698 g/m², mientras que la variedad Dark opal purple (T2) presentó el menor rendimiento con 1203,6 g/m². Para obtener estos resultados se evaluaron y promediaron dos cosechas llevando estos resultados a una producción de ton/ha/año (tabla 5), los resultados del contenido de biomasa fresca obtenidos en los tratamientos durante el periodo de investigación muestran valores por encima de los reportados en literatura como se evidencia en la tabla 4. Por tal motivo se puede decir que los sistemas acuapónicos presentan un mayor rendimiento en comparación con un cultivo tradicional en suelo. Este último presenta dos cosecha por ciclo de cultivo donde el rendimiento es del orden de 20 ton/ha/año,

12 en la primera cosecha y 8 en la segunda (Clavijo et al, 2005; Briseño et al, 2013), mientras que en este trabajo se obtuvo producciones sorprendentemente mejores de 100,2, 48,1 y 67,9 ton/ha/año, para las variedades Genovese (T1), Dark opal purple (T2) y Tailandesa (T3) respectivamente.

Tabla 5. Rendimiento en promedio de peso fresco g/m² año.

Tratamientos	Peso fresco g/planta	Peso fresco g/m²	peso fresco to/ha/año
Genovese (T1)	104,4	2504,4	100,2
Dark opal (T2)	50,2	1203,6	48,1
Tailandesa (T3)	70,8	1698,0	67,9

Los altos rendimientos encontrados en la producción de biomasa fresca en acuaponía, puede estar relacionado con varios factores, entre ellos: el número de cosechas por ciclo del cultivo, en este tipo de sistemas se pueden realizar cuatro cosechas, la densidad de siembra fue de 24 plantas/m², mayor a la reportada por Colorado et al. (2013) de 12 plantas/m² de albahaca cultivada en suelo. Los resultados anteriormente expuestos, demuestran que el sistema acuapónico puede ser una alternativa para la producción de albahaca con excelentes resultados.

En la figura 17, se muestra la producción en número de tallos por planta en los tratamientos evaluados, en el cual para la semana 2 después del trasplante, los tratamientos tuvieron un desarrollo similar en la producción de brotes para las tres variedades, a partir de la semana 2 la variedad Tailandesa (T3) presentó un aumento en el número de tallos, alcanzando una producción máxima de $17 \pm 2,6$ tallos en la quinta semana las variedades Genovese (T1) y Dark opal purple (T2) produjeron $14 \pm 1,9$ y $12 \pm 1,5$ tallos respectivamente, en la semana 7 (49 días), donde se realizó la primera cosecha, momento en que las plantas se encontraban

en un estado de floración fenológico avanzado, que según Vega et al. (2004) es el punto óptimo de cosecha, que en general suele realizarse entre los 90 y 110 días después del trasplante para cultivos en suelo, las diferencias entre los tiempos de cosecha del cultivo en sistema acuapónico con respecto al cultivo en suelo, puede relacionarse a varios factores como son: la disponibilidad constante de nutrientes, las condiciones microclimáticas que se le dan a las plantas al interior del invernadero y al estar las plantas en un sistema de cama flotante siempre están en contacto con el agua, por lo que no sufren estrés hídrico (Riaño et al., sin año).

Para la segunda cosecha los tratamientos mostraron una disminución en número de tallos en donde no se evidenció diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los tratamientos, esto puede estar relacionado a los ciclos de producción del cultivo. Según Briseño et al (2013) el rendimiento del cultivo es mayor en la primera cosecha con diferencia entre cosechas de 4 ton/ha. Observando detalladamente las gráficas por tratamiento se puede determinar que las variedades no presentaron diferencias entre ellas, pero si se evidenciaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre semanas.

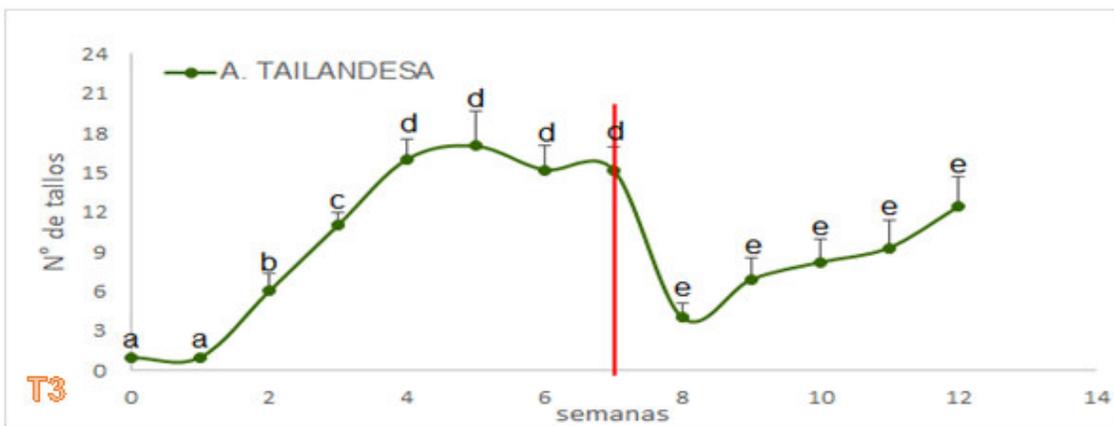
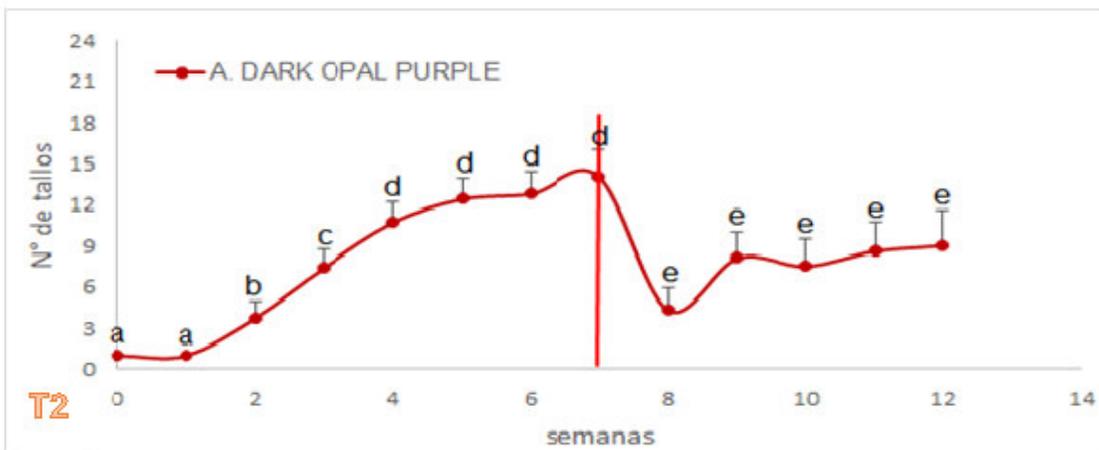
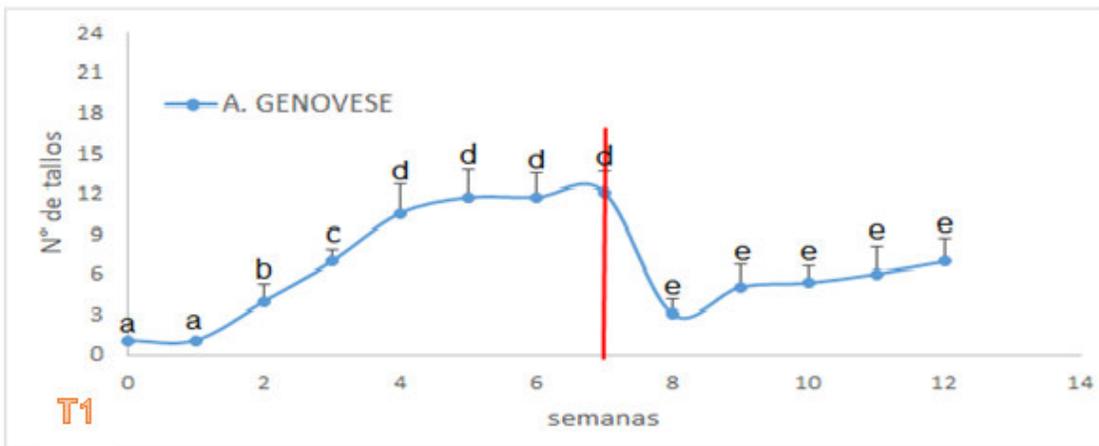


Figura 17. Número de tallos por planta de tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en dos cosecha, la línea roja simboliza la primera cosecha. Cada valor representa el promedio, \pm la desviación estándar. Letras diferentes muestran diferencias significativas.

La longitud de tallos secundarios evaluados para determinar el porcentaje de tallos tipo exportación (figura 18), muestra un comportamiento similar en los tratamientos hasta la semana 6, sin embargo, la variedad Genovese (T1) fue la que presentó una mayor longitud de tallos durante todo el periodo de investigación, alcanzando longitudes de $19,5 \pm 2,8$ y $14 \pm 3,8$ cm en la primera y segunda cosecha respectivamente. Por otro lado, las variedades Dark opal (T2) y Tailandesa (T3) presentaron longitudes equivalentes de $15,8 \pm 2,2$ y $15,4 \pm 1,7$ cm en la primera cosecha. Con respecto a la segunda cosecha la variedad Tailandesa (T3) mostró mayor longitud comparado con la Dark opal purple (T2) sin diferencias significativas ($p > 0.05$), alcanzando una longitud promedio de $10,9 \pm 1,5$ cm, mientras que la Dark opal purple (T2) adquirió un promedio de $8,1 \pm 1,9$ cm. Aunque en este estudio no se está evaluando el crecimiento de las plantas, la longitud de tallos secundarios resulta relevante, puesto que son determinantes para la comercialización, debido a que es un parámetro de calidad para el mercado de exportación, donde los tallos se comercializan entre 15 y 20 cm (Clavijo et al, 2005).

Los tratamientos para la primera cosecha alcanzaron en promedio las longitudes sugeridas para el mercado de exportación, lo que demuestra que los sistemas acuapónicos pueden ser una buena alternativa si se piensa en el mercado de exportación. No obstante, en la segunda cosecha fueron menores, posiblemente a causa del daño ocasionado por el hongo (*Botrytis cinerea*) el cual en muchos casos no produce la muerte de la planta pero ocasiona una baja tasa de crecimiento (Leiva, 2008).

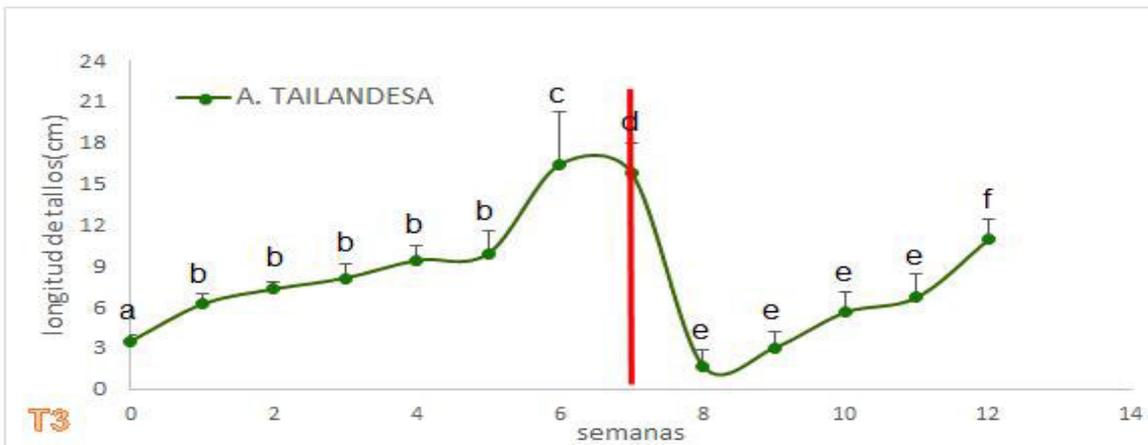
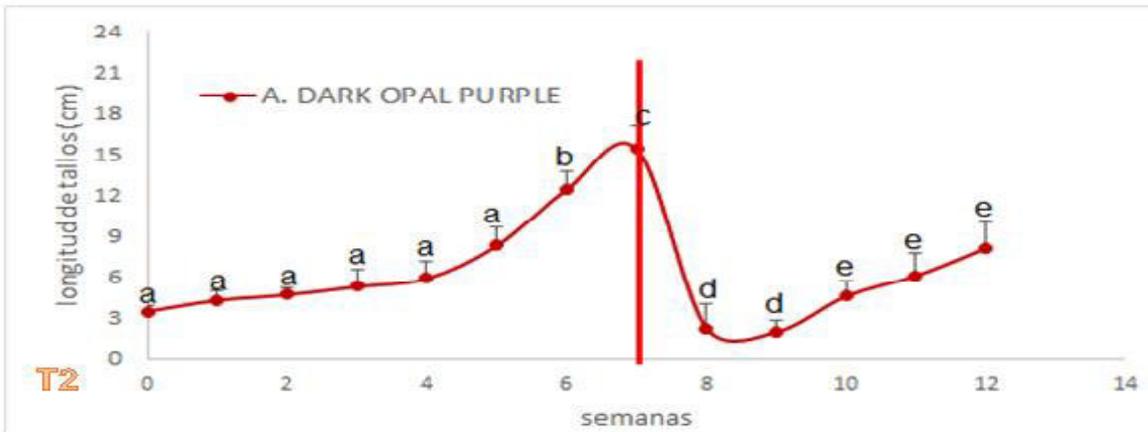
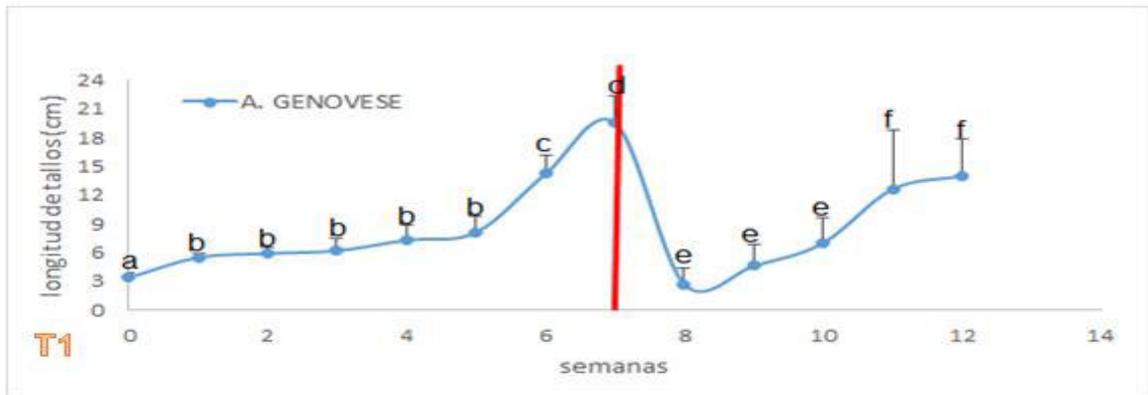


Figura 18. Longitud de tallos por planta de tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en dos cosechas, la línea roja simboliza la primera cosecha. Cada valor representa el promedio, \pm la desviación estándar. Letras diferentes muestran diferencias significativas.

En la primera cosecha los tratamientos alcanzaron altos porcentajes de tallos tipo exportación que oscilaron entre el 82 y 84% contrastando con la segunda cosecha, donde se evidenció una notable reducción en el porcentaje de longitud de tallos

donde la variedad Dark opal purple (T2) alcanzó un promedio del 32% siendo la de menor producción, mientras las variedades Genovese (T1) y Tailandesa (T3) presentaron valores del 69 y 61%, como se muestra en la figura 19. Los tallos que no alcanzaron los estándares de calidad para exportación fueron clasificados como producción para el mercado nacional. De igual manera, este parámetro en la primera cosecha apoya la viabilidad de la acuaponía para apuntar a un mercado de exportación, y si se realiza un mejor manejo preventivo de posibles enfermedades del cultivo, es probable que se tengan excelentes resultados durante toda la etapa del cultivo alcanzando los parámetros de comercialización para el mercado internacional, aun así, la producción que no alcance los parámetros de exportación podría ser comercializada en el mercado Nacional que en general presenta precios estables y rentables (Mateus y Vanegas, 2015).

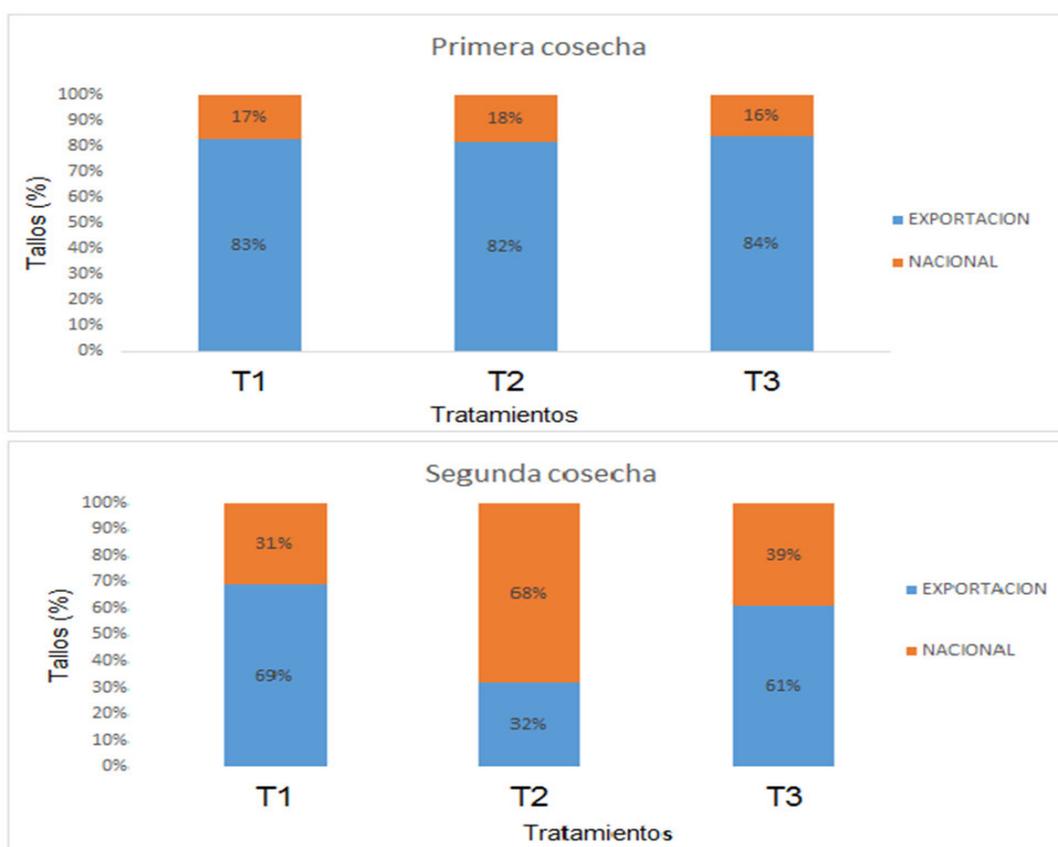


Figura 19. Porcentaje tallos para mercado tipo exportación y mercado nacional en dos cosechas. T1: Genovese, T2: Dark opal purple, T3: Tailandesa.

Los resultados de las variables microclimáticas en el invernadero de Ictiología, donde se evaluó temperatura máxima, promedio y mínima del ambiente, y el promedio de la humedad relativa (figura 20), evidenció que la temperatura máxima tubo grandes fluctuaciones con rangos entre 20,5 y 47,5°C, donde el valor más alto correspondió al día 46 y el más bajo al día 45, mientras que la temperatura promedio presentó oscilaciones moderadas con valores 15,5 y 25,2°C, el nivel más alto lo tuvo el día 1 y el más bajo el día 44, la temperatura mínima presentó fluctuaciones bajas con valores de 6,9 y 14,7°C, donde el valor más alto lo presento el día 1 y el menor valor el día 23. En cuanto, a la humedad relativa se observaron fluctuaciones altas entre el día 2 y 45 presentando cifras de 47 y 75%, estando cercana a los rangos óptimos requeridos por el cultivo de albahaca, dichos rangos van de 60 – 70% (Clavijo et al, 2005).

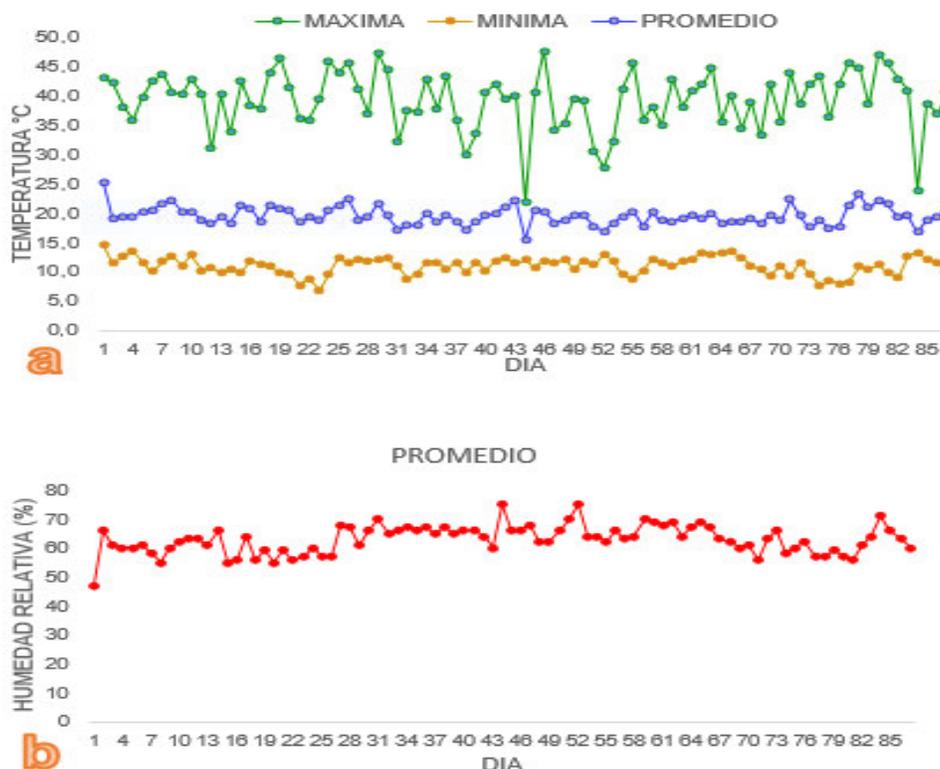


Figura 20. Variables microclimáticas en el invernadero de Ictiología, a: Temperatura, b: humedad relativa.

En acuaponía se ha reportado que estos sistemas presentan bajas concentraciones de algunos elementos, como Fe^{2+} y K^+ (Calo, 2011). En esta investigación, algunas

plantas presentaron clorosis en los bordes y zonas intervenales de las hojas (figura 21), síntomas deficiencias atribuidas por falta de estos elementos (Martínez et al, 2009), razón por la cual se realizaron enmiendas, con DTPA Fe^{2+} que es el recomendado para sistemas acuapónicos, ésta deficiencia pudo estar relacionada con los valores altos de pH, que se registraba en el sistema. Según Calo (2011) el Fe^{2+} requiere de pH bajos (6-6.5), en comparación con otros nutrientes para estar disponible, y debe ser aplicado de forma quelatada para ser asimilado por las plantas. Por otro lado las altas concentraciones de hierro libre también pueden afectar la salud y causar estrés fisiológico a los peces. Para las correcciones de K^+ se adicionó sulfato de potasio (K_2SO_4) debido a que el pH permanecía cercano al extremo más alto de rango óptimo para el sistema que es de 7,5 contrario a lo reportado por Candarle (2016) quien recomienda usar hidróxidos que puede suplir las deficiencias, y a la vez sirve de base para evitar la acidificación que ocurre en el proceso de la nitrificación.



Figura 21. Plantas con síntomas de deficiencia nutricional (Santos y Pandales, 2016), a: Albahaca Tailandesa, b: Albahaca Genovese.

7.2. Peces.

En la tabla 6 se observan los parámetros productivos de la tilapia roja (*Oreochromis* sp) en el sistema acuapónico, donde el crecimiento en longitud total, estándar y ganancia de peso fueron aceptables durante todo el periodo de la investigación, de igual forma ocurrió en los parámetros productivos (GP, FCA) los cuales mostraron

desempeños considerables, esto puede estar relacionado a factores como la edad de los peces los cuales al inicio de la investigación se encontraban con edades aproximadas de año y medio con un peso de $621 \pm 273,8$ g, y longitud total de $30 \pm 4,7$ cm, lo que indica que se había superado la etapa de engorde. Alcántara et al. (2014), mencionan que la mayor tasa de crecimiento se obtiene cuando los peces alcanzan longitudes promedio de 18 a 25 cm y peso de 150 a 300 g, esta etapa se da cuando tienen edades entre los 6 y 8 meses. Otro factor que pudo haber influido fue la temperatura del agua, puesto que no alcanzó el rango óptimo para el desarrollo del cultivo de tilapia, el cual es entre 24 a 30°C (Mosquera, 2010). La temperatura del agua es uno de los factores que más influyen en el crecimiento de los peces, ya que las temperaturas por debajo de los 21°C influyen negativamente en los procesos metabólicos, debido a que son organismos ectotérmicos lo que quiere decir que la temperatura del agua afecta considerablemente el metabolismo, lo cual se refleja en la cantidad de alimento consumido y la energía invertida en termorregulación (Mancini, 2002).

En cuanto a la sobrevivencia, se presentaron porcentajes altos entre el 94,6 y 100%, encontrándose por encima de los reportados por Poot et al (2012), que obtuvieron porcentajes de sobrevivencia del 88,5%. Esto puede estar relacionado al tamaño los peces, los peces de mayor tamaño poseen menor área expuesta en función de su volumen, lo que se traduce en mejor termorregulación y mayor resistencia a cambios de temperatura (Meyer, 2004). El factor de condición K estuvo dentro de lo establecido para los sistemas cerrados, en los cuales se obtuvieron resultados de 2,2 en la primera cosecha y 2,1 en la segunda, según Leyton et al (2015) reporta que el rango óptimo se encuentra entre los valores 2 - 4, y que por cada centímetro que aumenta la longitud del pez, se tiene un incremento de 2,87% en el peso, según el valor obtenido se puede decir que los peces estaban adecuadamente alimentados.

El FCA, que es el alimento consumido por la ganancia de peso, presentó rendimientos bajos durante la investigación, expresando valores de 2,3 en la primera cosecha y 1,3 en la segunda, esta última mostro valores cercanos a los

reportados como óptimos por Pérez (2015) que indica que por 1,5 g de alimento se obtiene 1 g de pez. Esto pudo estar relacionado con la edad de los peces donde los mejores resultados se obtienen en peces juveniles, y a medida que la edad de estos avanza el FCA disminuye. (Saavedra, 2006).

Tabla 6. Parámetros productivos y crecimiento de Tilapia roja (*Oreochromis* sp). Producida en sistema acuapónico.

Parámetros	Primera Cosecha	Segunda Cosecha
Peso Inicial(g)	621 ± 273,8	753,8 ± 191,8
Peso Final (g)	753,8 ± 191,8	860,1 ± 164,8
Longitud Estándar Inicial(cm)	25 ± 4,4	27,1 ± 2,5
Longitud Estándar Final (cm)	27,1 ± 2,5	28,7 ± 1,9
Longitud Total Inicial (cm)	30 ± 4,7	32,6 ± 3,1
Longitud Total Final (cm)	32,6 ± 3,1	34,4 ± 2,2
Biomasa Inicial (g)	57.800 ± 848,9	66.334±562,5
Biomasa Final (g)	66.334 ± 562,5	75.688 ± 483,5
Ganancia de Peso del sistema (g)	8534	9354
Factor de condición K	2,2	2,1
Factor de Conversión Alimenticia	2,3	1,3
Sobrevivencia (%)	94,6	100

7.3. Parámetros fisicoquímicos.

El comportamiento de los parámetros fisicoquímicos (tabla 7), se encontraron dentro de los rangos establecidos para los sistemas acuapónicos descritos en la tabla 9, lo que demuestra un apropiado comportamiento en la producción de compuestos necesarios para el adecuado desarrollo de los organismos que se encontraban en el mismo. Cabe resaltar que los parámetros de pH y nitrato estuvieron cercanos al extremo más alto del rango óptimo (7,5 y 400), contrario a lo recomendado para estos sistemas. Torres et al. (2015) mencionan que estos deben mantenerse en 7 o cercano a este valor, para un adecuado desempeño de plantas, peces y bacterias, y a la vez lograr un aprovechamiento máximo de los compuestos o nutrientes.

En cuanto a los resultados de la temperatura del agua a pesar de que no se obtuvieron los rangos óptimos para peces, de acuerdo a lo citado en literatura (tabla 9), ésta estuvo por encima de cómo se encontró al inicio de la investigación donde se hallaron temperaturas por debajo de (18°C). El aumento en la temperatura se debió a la implementación de una cubierta en jumbolon y una tapa plástica de color negro que cubría el tanque de peces que evitaba la proliferación de algas y a la vez permitían retener el calor, aumentar la temperatura del agua impidiendo grandes fluctuaciones de la misma, como se evidenció durante todo el ciclo de la investigación donde se obtuvieron rangos que oscilaban entre 19,6 y 21,6°C durante el día y la noche con un promedio de 20,3°C como se muestra en la (tabla 7).

Tabla 7. Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del sistema acuapónico.

Parámetros	Plantas	Peces
NAT (ppm)	0,25 ± 0,18	0,4 ± 0,3
Nitrito (ppm)	0,33 ± 0,21	0,3 ± 0,1
Fosfato (ppm)	0,90 ± 0,24	1,0 ± 0,5
KH (ppm)	34,2 ± 4,9	35,6 ± 0,0
O.D (mg/L)	2,3 ± 1,0	5,2 ± 0,8
pH	7,3 ± 0,1	7,6 ± 0,1
T°C	20,1 ± 0,70	20,3 ± 0,7

Tabla 8. Comportamiento de (NO₃), (Ca), (C.E) (S.D.T), en el sistema acuapónico.

Parámetros	Plantas rango	Peces rango
Nitrato (ppm)	40 – 200	40 – 400
Calcio (ppm)		200 – 440
C.E (μS/cm)	223 – 317	222 – 313
S.D.T (ppm)	111 – 158	111 – 157

Otro parámetro que necesitó correcciones fue el pH, que se encontraba cercano al extremo más alto del rango óptimo establecido para las plantas que es donde se presenta la mayor adsorción de nutrientes (tabla 9), (Candarles, 2016). Es relevante

destacar que los niveles de pH en peces y bacterias se encontraron dentro del rango establecido para el buen desempeño de estos, como se observa en la tabla 9.

Tabla 9. Parámetros fisicoquímicos rangos óptimos (Candarles, 2016) y resultados de la investigación.

Tipo de organismo	Tem. (°C)	pH	NAT. (mg/L)	NO₂⁻. (mg/L)	NO₃⁻. (mg/L)	OD. (mg/L)
Peces	22 – 32	6 - 8,5	<3	<1	<400	4 – 6
Plantas	16 – 30	5,5 - 7,5	<30	<1	-	>3
Bacterias Nitrificantes	14 - 34	6 - 8,5	<3	<1	-	4 – 8

Resultados en promedio obtenidos en la investigación

Peces	20,3 ± 0,7	7,6 ± 0,1	0,4 ± 0,3	0,30 ± 0,1	40 – 400	5,2 ± 0,8
Plantas	20,1 ± 0,7	7,3 ± 0,1	0,25 ± 0,18	0,33 ± 0,21	40 – 200	2,3 ± 1,0

Los parámetros fisicoquímicos son componentes importantes a tener en cuenta en la acuaponía, el rango óptimo, interviene directamente en la producción que se obtenga. Es relevante controlar los compuestos nitrogenados siendo que de la producción de estos depende de varios factores, como: la biomasa de peces, alimento a suministrar, desempeño del biofiltro y densidad de siembra de plantas (Candarles, 2016). Para mantenerlos en niveles adecuados es necesario tener una buena relación entre el alimento suministrado y número de plantas en el sistema, según Rakocy (2010), Hawai (2013), FAO (2015), Alturo (2016) e Imbachi (2016) reportaron diferentes cantidades de alimento suministrado para el mismo número de plantas, (tabla 10), en este estudio se proporcionaron 25 g y 29 g para la

producción de 24 plantas/m², en la primera y segunda cosecha, respectivamente. De acuerdo, a los niveles de nitrato obtenidos durante la investigación, los cuales estuvieron cercanos al nivel más alto del rango óptimo, lo permite estimar que el sistema acuapónico podría haber soportado una mayor capacidad de carga de plantas con la misma cantidad de alimento suministrado, que al final se traduciría en mayor rentabilidad económica.

Tabla 10. Comparación cantidad de alimento suministrado en sistema acuapónico para producir 25 plantas/m². a: primera cosecha, b: segunda cosecha.

Autores	Alimento (g)	Cantidad plantas	Tipo de planta
Rakocy. 2010	60-100	25	Lechuga
Hawai 2013	32	25	Lechuga
FAO 2015	40	25	Follaje
Alturo 2016	30	25	Acelga
Imbachi 2016	30	24	Lechuga
Santos y Pandales 2017	25 ^a	24	Albahaca
Santos y Pandales 2017	29 ^b	24	Albahaca

8. CONCLUSIONES.

El sistema acuapónico bajo condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá presentó un buen desempeño para la producción limpia y sostenible de tres variedades de albahaca para el mercado Nacional e Internacional.

En los tratamientos evaluados la variedad Genovese (T1) presentó los mejores resultados excepto el número de tallos, seguida de la variedad Tailandesa (T3) y

por último la Dark opal purple (T2). Las cuales mostraron rendimientos superiores a los cultivos tradicionales en suelo, y pueden considerarse como una buena alternativa para ampliar las variedades cultivadas en el país.

El desarrollo de las plantas de albahaca en sistema acuapónico es precoz y puede duplicar en número de cosecha por año.

Los peces no tuvieron un crecimiento significativo, aunque si un buen porcentaje de sobrevivencia.

Los parámetros fisicoquímicos presentaron buenos niveles en producción y acumulación de macro y micronutrientes para el desarrollo de las plantas y peces, lo que constituye una alternativa que permite la reducción en la compra de fertilizantes de origen sintético.

Este sistema de producción es una forma eficiente para reducir el impacto ambiental negativo al aprovechar los recursos naturales en espacios reducidos y a la vez una alternativa amigable y sustentable, para la acuicultura tradicional y la hidroponía.

9. RECOMENDACIONES.

- ❖ Se recomienda en este tipo de sistema emplear una bomba con mayor capacidad de flujo, para aumentar en el número de recambios al día que permita homogenizar los nutrientes en el sistema, mejorar la calidad del agua en el tanque de peces y obtener mayor oxigenación en las raíces de las plantas.
- ❖ Para una buena producción y establecimiento del cultivo de peces, es recomendable implementar un sistema de energía renovable que proporcione las condiciones adecuadas de temperatura, así mismo una buena oxigenación y calidad del agua.
- ❖ Durante la poda del cultivo es relevante una adecuada desinfección de las herramientas a utilizar y a medida que va podando utilizar un cicatrizante de origen natural y después de terminada la cosecha realizar una aplicación foliar con extractos de semillas de cítricos.

- ❖ Se recomienda realizar un estudio más avanzado, evaluando todo el ciclo del cultivo para tener datos precisos en cuanto a producción y rendimiento del cultivo de albahaca producidos en este tipo de sistema.
- ❖ Al establecer el sistema acuapónico es recomendable adquirir los peces con pesos y edades similares, puesto que de este factor dependerá la buena producción del mismo.
- ❖ Para el establecimiento de este tipo de cultivo es apropiado utilizar un jumbolon de mayor espesor que brinde un buen soporte al cultivo, puesto que de este depende el soporte de las plantas, con el fin de evitar volcamientos o deformación de las mismas.

10. BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilera M, Hernández F, Mendieta E, Herrera C. 2012. Producción integral sustentable de alimentos. Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable, 8(3):71-74.
- Alcántara P, Santos C, Moreno R, Estrada C. 2014 manual para la producción de súper machos de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Sistema de universidades estatales de Oaxaca, México, 81 p.
- Aldana J. 2015. Albahaca: Una realidad general de la situación en Colombia. Universidad de los Andes facultad de administración. <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2015/02/21/albahaca-una-realidad-general-de-la-situacion-en-colombia/>, 10.Dic.16.
- Alturo C. 2016. Crecimiento y producción de acelga (*Beta vulgaris* VAR. CICLA) roja y verde, bajo condiciones de cubierta plástica, en un sistema acuapónico y uno de cama contenida. Trabajo de grado, Tecnología en horticultura Ciencias Básicas y Aplicadas. Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, 33 p.
- Asofrucol, 2007. Plan hortícola Nacional. Corporación Colombiana internacional.

http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_28_PHN.pdf,
18.Ene.17.

- Barrientos J, Reina M, Chacón M. 2012. Potencial económico de cuatro especies aromáticas promisorias para producir aceites esenciales en Colombia. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, 6(2):225-237.
- Benito E, Arranz M, Eslava A. 2000. Factores de patogenicidad de *botrytis cinerea*. *Iberoam Micol*, 17:43-46.
- Bonilla C, Guerrero M. 2010. Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) Producción y manejo Poscosecha. *Produmedios, Cundinamarca Colombia*, 123 p.
- Briceño S, Aguilar M, Villegas J. 2013. El cultivo de la albahaca. *Centro de investigaciones biológicas del noroeste, La paz Baja california México*, 33 p.
- Calo P. 2011. Introducción a la acuaponía. *Centro Nacional de Desarrollo Acuícola- CENADAC*, <http://chilorg.chil.me/download-doc/86262>, 28.Sep.16.
- Candarles P. 2016. Técnicas de acuaponía, *Centro Nacional de Desarrollo Acuícola CENADAC*, Dirección de acuicultura. *Ministerio de Agroindustria Presidencia de la nación. Argentina*, 47 p.
- Castilla M. 2011. Factibilidad del cultivo acuapónico de acelga *Beta vulgaris* L. en el Proyecto Valle – Verde, El Arbolito, La Libertad, Petén. Trabajo de grado, *Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, Universidad de San Carlos, Guatemala*, 38 p.
- Clavijo J, Bareño P, Gamba Y. 2005. Últimas tendencias en hierbas aromáticas culinarias para exportación en fresco. *Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C.*, 208 p.
- Colagrosso A. 2014. Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala. *Costa Rica*, 65 p.
- Colagrosso A. 2015. Boletín del programa Nacional sectorial de producción agrícola bajo ambientes protegidos. *Boletín ProNAP*, 9(50)2-4.
- Colorado F, Montañez I, Bolaños C, Rey J. 2013. Crecimiento y desarrollo de albahaca (*Ocimum Basilicum* L.) bajo cubierta en la sabana de Bogotá, *U.D.C.A actualidad y divulgación científica*, 16(1):121-129.

- Cortez J, Clavijo J. 2007. Evaluación Agrofisiológica de la Producción de Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo invernadero en la Sabana de Bogotá. 117– 144. En: Zurita J, Barrientos J, Chaparro L. Perspectivas del agronegocio de hierbas aromáticas culinarias y medicinales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., 144p.
- Danipez S.A.S. 2012. Estudio factibilidad para la creación de una microempresa comercializadora de mojarra roja en el municipio de San José de pare. <http://danipez-sas.blogspot.com.co/p/blog-page.html>. 12.Mar.17.
- Diver, S. 2010. Aquaponics – Integration of Hydroponics with Aquaculture. National Sustainable Agriculture Information Service. (ATTRA) North Carolina North Carolina. [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/aquaponic%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/aquaponic%20(1).pdf), 14.Feb.17.
- Domínguez D. 2008. Costos ambientales en la actividad agrícola sector la lagunita parroquia la puerta municipio Valera estado Trujillo. Trabajo de grado, Departamento de ciencias económicas y administrativas, Universidad de los Andes, Trujillo, 76 p.
- FAO. 2002. Agua y Cultivos logrando el uso óptimo del agua y la agricultura. Roma. 23 p.
- FAO. 2014. Small-scale aquaponic food production integrate fish and plant farming. Rome. 288 p.
- García M, León C, Hernández F, Chávez R. 2005. Evaluación de un sistema experimental de acuaponía. Avances en investigación agropecuaria, 9 (1):p.
- Hawai. 2013. Nutrient fluxes in aquaponics systems. <https://www.ctahr.hawaii.edu/pmp/Aquaponics%20for%20workshop.ppt>, 26.Feb.2017.
- Imbachi F. 2016. Crecimiento de tres variedades de lechuga en un sistema acuapónico con tilapia roja en condiciones de invernadero. Trabajo de grado, Tecnología en Horticultura Ciencias Básicas y Aplicadas. Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, 33 p.
- Jiménez A. 2013. Herramienta educativa para el aprendizaje transversal de las ciencias. Ciencia y desarrollo, 16(2):83- 90.

- Juárez C, Aguilar J, Juárez M, Bugarín R, Juárez P, Cruz E. 2013. Hierbas aromáticas y medicinales en México: Tradición e innovación. *Revista de Bio Ciencias*, 2(3):119-129.
- Kanchi D, 2013. Implementación de un sistema acuapónico urbano bajo invernadero en la ciudad de Xalapa, Veracruz. Tesis de grado, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Veracruz, 40 p.
- Leiva M, 2008. Mecanismos de respuestas frente a la infección por *Botrytis cinerea* en *Solanum lycopersicum*. Estudio de las β – 1,4-endoglucanasas y de tratamientos inductores. Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Valencia, España, 231 p.
- Leyton S, Muños E, Gordillo M, Sánchez G, Muños L, Soto A. 2015. Estimación del factor de condición de Fulton (K) y la relación longitud/peso en tres especies ícticas presentes en un sector sometidos a factores de estrés ambiental en la cuenca del río Cauca. *Revista de la asociación colombiana de ciencias biológicas*, 27:24-31.
- López A. 2005. Prueba de adaptación y rendimiento de cuatro variedades de albahaca (*Ocimum basilicum*) manejadas orgánicamente con cuatro niveles de Bokashi. Trabajo de grado, Facultad Ciencias Agropecuarias, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, 104 p.
- López B, Cruz L. 2011. Elaboración de un probiótico a base de microorganismos nativos y evaluación de su efecto benéfico al proceso digestivo de la tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en etapa de engorde en la zona de Santo Domingo. Tesis de grado, Departamento de ciencias de la vida, Escuela Politécnica del Ejército, Santo Domingo, 95 p.
- López L, Del Toro M, Santiago V. 2008. Guía de actividades educativas para trabajar cultivos Acuapónicos. Trabajo de grado, escuela de asuntos ambientales, Universidad Metropolitana, Caguas, 136 p.
- Mancilla C, Cáceres J. 2012. Factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de tilapia roja (*Oreochromis sp*) ubicada en la granja de Guatiguara municipio de Piedecuesta Santander. Tesis de grado,

Instituto de proyección regional y educación a distancia, Universidad industrial de Santander, Bucaramanga, 126 p.

- Mancini M.2002. Introducción a la biología de los peces. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/07-introduccion_biologia_peces.pdf, 12.Ene.2017.
- Martínez F, Sarmiento J, Fischer G, Jiménez F. 2009. Síntomas de deficiencia de macronutrientes y boro en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) Agronomía Colombiana, 27(2):p.
- Mateus J, 2009. Acuaponía: Hidroponía y Acuacultura, sistema integrado de producción de alimentos. Centro de investigación, Tibaitatá- CORPOICA. http://www.lamolina.edu.pe/facultad/ciencias/hidroponia/redhidro/Boletin44/44_Acuaponia.pdf, 28. Feb.16.
- Mateus L, Vanegas Z. 2015. Caracterización de la agrocadena de la albahaca (*Ocimum basilicum*) en San Antonio del Tequendama – Cundinamarca, bajo el enfoque del desarrollo territorial. Trabajo de grado, Facultad de medio ambiente y recursos naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., 118 p.
- Merino M, Bonilla S, Bages F. 2013. Diagnóstico del estado de la Acuicultura en Colombia. AUNAP – FAO, Bogotá, D.C., 163 p.
- Meyer D. 2004. Introducción a la Acuicultura. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, 159 p.
- Mosquera A. 2010. Reducir el tiempo de producción de la mojarra roja (*Oreochromis* sp) al modificar la temperatura del agua en clima medio en la vereda la palmera del municipio de Vélez. Trabajo de grado, Tecnología agropecuaria y producción agro industrial, Instituto de proyección regional y educación a distancia, Universidad industrial de Santander, Barbosa, 92 p.
- Muñoz M. 2012. Sistemas de recirculación acuapónicos. Informador técnico (Colombia), 76:123-129.
- Osorio A, Wills A, Muñoz P. 2013. Caracterización de coproductos de la industria del fileteado de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) y trucha

arcoíris (*oncorhynchus mykiss*) en Colombia. Facultad de medicina veterinaria y de zootecnia, 62(3):182-195.

- Pérez M. 2015. Crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en cultivo monosexual y ambos sexos en sistema de producción semi-intensivo. Tesis de grado, Facultad de Ciencias y Tecnología, Departamento de Biología, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, 88 p.
- Pizá R, Gonzales M, Beristain J. 2013. Avances de investigación de Cuerpos Académicos. Instituto Tecnológico de Sonora, México, 192 p.
- Poot G, Gasca E, Olvera M. 2012. Producción de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* L.) utilizando hojas de chaya (*Cnidioscolus chayamansa* McVaugh) como sustituto parcial de alimento balanceado. *Aquat. Res*, 40(4)835-846
- Rakocy J. 2007. Aquaponics: Integrating fish and plant culture. Cp19. p 767-822. En: Timmons M, Ebeling J. *Recirculating Aquaculture*. Cayuga agua ventures, 975 p.
- Ramírez D, Sabogal D, Gómez E, Rodríguez D, Hurtado H. 2009. Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico Goldfish- lechuga. *Facultad de Ciencias Básicas*, 5(1)154-170.
- Reynafarje X. 2011. Evaluación de cultivares de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) e incorporación de residuos de cosecha en producción orgánica en el valle de mala. <http://www.lamolina.edu.pe/hortalizas/Investigacion/Tesis/Tesis%20Sustentadas/Resumen%20Ximena%20Reynafarje.pdf>, 17.Marz.2017.
- Riaño E, Caicedo L, Cifuentes L, Torres A, Muñoz G, Hurtado H, Gómez E. Año. Extracción de nutrientes por espinaca baby (*Spinacia oleracea* L.) en sistemas hidropónicos, para su futura aplicación en sistemas acuapónicos. Artículo en redacción, 21p.
- Rodríguez A, Zafra A. 2014. Crecimiento de Goldfish, *Carassius auratus*, y lechuga, *Lactuca sativa*, en sistema acuapónico en condiciones de invernadero. *Revista Científica de estudiantes*, 2(2): p.
- Ronzón M, Hernández M, Pérez C. 2012. Producción hidropónica y acuapónica de albahaca (*Ocimum basilicum*) y Langostino Malayo

(*Macrobrachium rosenbergii*). Tropical and Subtropical Agroecosystems, 15(2)63-71.

- Saavedra M. 2006. Manejo del cultivo de tilapia. USAID, Nicaragua. 22 p.
- Sam O, De la Luz M, Barroso L. 2002. Caracterización Anatómica de las hojas de la albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.). Cultivos tropicales, 23(2):39- 42.
- Torres A, Cifuentes M, Riaño E, Gómez E, Hurtado H. 2015. Introducción a la acuaponía a pequeña escala. Universidad Militar Nueva Granada, Colombia, 31 p.
- Usgame D, Usgame G, Valverde C. 2007. Agenda productiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la tilapia. Ministerio de agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá. D.C., 164 p.
- Vega G, Escandón M, Soto R, Mendoza A. 2004. Instructivo técnico del cultivo de Albahaca (*Ocimum basilicum* L). www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5178/albahaca.pdf, 13.MAR.17.