

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE CULTIVOS ACUAPÓNICOS EN LA
FUNDACIÓN ORINOQUÍA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE PUERTO
CARREÑO, VICHADA.

Didier Santiago Farfán Gómez

Código: 1094278105

Universidad de Pamplona

Facultad de Ciencias Agrarias

Programa de Zootecnia

2018

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO Y MANEJO DE
CULTIVOS ACUAPÓNICOS EN LA FUNDACIÓN ORINOQUÍA UBICADA
EN EL MUNICIPIO DE PUERTO CARREÑO, VICHADA.**

Didier Santiago Farfán Gómez

Código: 1094278105

Docente

Sc.Zoot. SANDRA MILENA QUINTERO MUIÑO

Universidad de Pamplona

Tutor

EDISSON ARMANDO CASTILLO PASTUZAN

Ingeniero en producción acuícola fundacion orinoquia

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de
Zootecnista**

Universidad de Pamplona

Facultad de Ciencias Agrarias

Programa de Zootecnia

2018

Nota de aceptación

Jurado 1

Jurado 2

Jurado 3

Pamplona, 28 de enero 2019

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado al padre creador de todo lo existente, que me ha brindado la fuerza y sabiduría para alcanzar este momento; por eso mi entera gratitud, confianza y agradecimientos van hacia él.

De igual forma, dedico este proyecto a mis padres, quienes son y serán siempre mi soporte y sostén fundamental de mi vida, a ellos doy gracias por su entera dedicación, apoyo, amor y comprensión, por todos sus esfuerzos y consejos, por nunca tener un quizás sino un si en sus labios en cada paso de mi camino y más que nada agradezco su compañía hoy y siempre.

A mi hermana, Yudi Alejandra que a pesar de la distancia, siempre estuvo y estará conmigo de espíritu, por ser mi ejemplo a seguir, por ser mi consejera en momentos de angustia y alegrías. Y por siempre brindarme su apoyo en los momentos más necesarios de mi vida.

A mi abuelo Alejandro Romero, que por años me enseñó humildad, el don de la paciencia y a siempre confiar el padre, siempre tendré presente sus palabras “si alguien quiere enseñarle, sea agradecido y aprenda de sus experiencias”.

Didier Santiago Farfán Gómez

AGRADECIMIENTOS

Principalmente doy gracias a Dios, por haberme permitido para alcanzar este momento, darme fuerzas, sabiduría y templanza para culminar esta etapa.

Agradezco el apoyo incondicional brindado por mis padres, los cuales han demostrado su apoyo, brindarme su amor y comprensión tanto en mis momentos de triunfos como en mis derrotas. A mi madre por siempre brindarme sus consejos y apoyo incondicional, por día a día luchar para sostenernos a mí y mis hermanos, brindándonos la mejor educación posible, porque sabe que la educación es el principal pilar para un vida exitosa.

A mis hermana que ha sido un ejemplo excepcional y que gracias a sus consejos de vida me ha ayudado a enfrentar los diferentes retos de la vida.

A mi pareja Andrea Aperador por siempre brindarme su apoyo, por brindarme la paz y serenidad en mis días más difíciles y por su amor que siempre me ha demostrado en este tiempo que hemos estado juntos, gracias.

Agradezco especialmente a mis amigos Sally Castellanos y Sergio García, quienes formaron y formaran una parte importante en mi vida, por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera universitaria, por compartir sus vivencias y brindar apoyo en toda mi área académica, gracias.

Al ingeniero acuícola Edison Castillo, al auxiliar Miyer Bejarano, al auxiliar José Rodríguez y al auxiliar Hernán Hobando por toda su colaboración brindada para el desarrollo, elaboración de este proyecto.

Al Profesor Dixon Flórez y Lino Mesa los cuales siempre han sido mi guiado desde el principio de la carrera hasta este día, gracias por brindarme su apoyo en este duro camino de aprendizaje.

Didier Santiago Farfán Gómez

LISTA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	11
SUMMARY.....	13
1. INTRODUCCION.....	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
3. JUSTIFICACION.....	18
4. OBJETIVOS.....	20
4.1 Objetivo general.....	20
4.2Objetivo especifico.....	20
5. ANTECEDENTES.....	21
6. MARCO TEORICO.....	25
6.1 IMPACTO DE LA AGRICULTURA.....	25
6.2 ORIGEN DE LA PISCICULTURA.....	26
6.3 HISTORIA DE LA ACUICULTURA EN COLOMBIA.....	27
6.4 ORIGEN DE LA ACUAPONÍA.....	28
6.5 PRINCIPIOS DE LA ACUAPONÍA.....	29
6.6 IMPORTANCIA DE LA FILTRACIÓN DE PARTÍCULAS FINAS EN LA PISCICULTURA.....	30
6.7 NUTRIENTES NECESARIOS PARA EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS.....	31
6.8 VENTAJAS DEL CULTIVO ACUAPÓNICO.....	32
6.9 DESVENTAJAS DE LA ACUAPONÍA.....	33
7. METODOLOGIA.....	35
7.1 LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
7.1.1 Componentes.....	35
7.1.2 Componente Pecuario.....	40
7.1.3 Nutrición.....	43
7.2 MODELO ACUAPÓNICO UTILIZADO.....	46
7.3 ESPECIE DE ORGANISMO ACUÁTICO.....	46
7.4 DISEÑO DEL SISTEMA ACUAPÓNICO.....	47

7.5 ADECUACIÓN DEL TERRENO PARA INVESTIGACIÓN.....	47
7.6 ADECUACIÓN DE ORGANISMOS ACUÁTICOS.....	48
7.7 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ACUPÓNICO.....	49
7.8 MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	54
8. RESULTADOS.....	55
8.1 PRUEBA DE ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA.....	55
8.2 PRUEBA DE ADAPTABILIDAD.....	57
8.3 COSTOS PARCIAL DEL SISTEMA ACUPONICO.....	64
9. CONCLUSIONES.....	65
10. RECOMENDACIONES.....	66
11. BIBLIOGRAFICA.....	67
12. ANEXOS.....	70

LISTA DE GRAFICOS

Grafico N° 1: porcentaje de emisiones de nitrógeno.....	25
Grafico No. 2. Ciclo acuapónico.....	29
Grafico N° 3. Distribución de laboratorio.....	36
Grafico N° 4. Tanque de aclimatación e interior de laboratorio.....	37
Grafico N° 5. Incubadora Woynarovich y artemilleros.....	37
Grafico N° 6. Tanque de depósito de agua y filtro rayas.....	38
Grafico N° 7. Dimensiones de los estanques y tanques en geomembrana.....	38
Grafico N° 8. Tanques de cultivo, piletas en concreto y caseta de herramienta..	39
Grafico N° 9. Blower, motobomba, sistema de energía solar, tanques en geomembrana y pozo subterráneo.....	39
Grafico N° 10. Boceto idea del sistema.....	47
Grafico N° 11. Imágenes proceso de adecuacion del terreno.....	48
Grafico N° 12. Taque de prueba y adaptación de organismos acuáticos.....	49
Grafico N° 13. Funcionamiento de sedimentador.....	49
Grafico N° 14. Componentes filtro de partículas finas.....	50
Grafico N° 15. Flujo de agua por el sistema acuapónico.	50
Grafico N° 16. Construcción de soportes y tuberías.....	51
Grafico N° 17. Construcción de soportes y tuberías.....	51
Grafico N° 18. Conexión al biofiltro y reducción para conexión a tuberías.....	52
Grafico N° 19. Bomba y depósito de agua.....	52
Grafico N° 20. Preparación y siembra de plantas.....	53
Gráfico N°21. Comportamiento de nitritos prueba de establecimiento.....	55

Gráfico N°22. Comportamiento de amonio prueba de adaptabilidad.....	56
Gráfico N°23. Resultados colorimétricos parámetros químicos acuaponía.....	56
Grafica N° 24. Comportamiento de nitritos prueba de adaptabilidad.....	58
Grafica N° 25. Comportamiento de amonio prueba de adaptabilidad.....	58
Gráfico N° 26. Comportamiento variedades de lechuga muestra N°1. 03 de diciembre.....	59
Gráfico N° 27. Comportamiento variedades de lechuga muestra N°.2 13 de diciembre.....	60
Gráfico N° 28. Comportamiento variedades de lechuga muestra N°2. 23 de diciembre.....	61
Gráfico N° 29. Comportamiento variedades de lechuga muestra N°1. 03 de diciembre.....	62
Gráfico N° 30. Comportamiento variedades de lechuga muestra N°2. 13 de diciembre.....	62
Gráfico N°31. Comportamiento variedades de lechuga muestra N°3. 13 de diciembre.....	63

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1. Dimensiones sistema de manejo del laboratorio.....	35
Tabla N° 2. Dimensión de las piletas en cemento.....	40
Tabla N° 3. Carga animal estación piscícola.....	42
Tabla N° 4. Datos suministrados por el equipo HACH DR-900.....	57
Tabla N° 5. Costos de infraestructura.....	64

RESUMEN

Este proyecto se desarrolló con el fin de implementar un prototipo de cultivos acuapónicos en la fundación Orinoquia, ubicada en el municipio de puerto Carreño departamento del Vichada, para determinar su aporte a la reducción de compuestos nitrogenados y amonio en la producción piscícola. El establecimiento del sistema acuapónico trae como beneficios, a nivel ambiental la posibilidad de reutilizar las materias primas como los son el agua y desechos producidos por los peces para transformarlos por medio de la acción bacteriana en una fuente principal de fertilización orgánica para cultivos agrícolas destinados al consumo humano.

El estudio se desarrolló en un sistema de producción piscícola con la especie cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) en un estanque de geomenbrana con capacidad de 9000 L; El prototipo del sistema acuapónico utilizado fue un sistema híbrido entre la Técnica de la película nutritiva (NFT por sus siglas en inglés, “Nutrient Film Technique”) y Raíz flotante (“Raft System”). Adicionalmente al sistema híbrido establecido, se colocaron 4 sistemas de camas de grava. Para el proceso de establecimiento del sistema se utilizaron 57 plantas de las especies, lechuga (*Lactuca sativa*), cilantro (*Coriandrum savitum*) y cebolla larga (*Allium fistulosum*). Puesto en marcha el circuito acuapónico, se recolectaron datos, midiendo conversión de amonio a nitritos por parte del sistema y tiempo requerido para el funcionamiento correcto de la colonia bacteriana.

Posteriormente a la prueba de establecimiento, se realizó una prueba de adaptabilidad, donde se hace seguimiento a las características físicas como crecimiento de la raíz y hojas de diferentes variedades de plantas. Las plantas utilizadas para esta prueba fueron en su mayoría lechuga en 10 variedades, pimentón rojo y amarillo; y tomate chonto. Durante esta prueba se logró la reducción de amonio del 0,50 mg/L, nitritos del 0,25 mg/L y nitratos de 0,50 mg/L. Adicionalmente a la ayuda brindada en la reducción del impacto ambiental, se genera una estrategia de soberanía alimentaria en el departamento del Vichada, mediante la producción de vegetales de carácter orgánico. Para concluir, se considera a la acuaponia como una alternativa viable para establecer en conjunto

explotaciones piscícolas y agrícolas. Este sistema permite la reutilización del recurso hídrico proveniente de la piscicultura para la producción vegetal, mitigando el impacto ambiental generado de dichas producciones y obteniendo alimentos con valor agregado.

SUMMARY

This project was developed with the purpose of implementing a prototype of aquaponic crops in the Orinoquia foundation, located in the municipality of Puerto Carreño, department of Vichada, to determine its contribution to the reduction of nitrogenous compounds and ammonium in fish production. The establishment of the aquaponic system brings as benefits, at an environmental level, the possibility of reusing raw materials such as water and waste produced by fish to transform them through bacterial action into a main source of organic fertilization for agricultural crops destined for human consumption.

The study was developed in a fish production system with the white cachama species (*Piaractus brachypomus*) in a geomenbrana pond with a capacity of 9000 L; The prototype of the aquaponic system used was a hybrid system between the Nutrient Film Technique (NFT for its acronym in English, "Nutrient Film Technique") and Root Root ("Raft System"). In addition to the established hybrid system, 4 sets of gravel beds were placed. For the process of establishing the system, 57 plants of the species were used, lettuce (*Lactuca sativa*), cilantro (*Coriandrum savitum*) and long onion (*Allium fistulosum*). When the aquatics circuit was started, data were collected, measuring the conversion of ammonium to nitrites by the system and time required for the correct functioning of the bacterial colony.

After the establishment test, an adaptability test was carried out, where physical characteristics such as root growth and leaves of different plant varieties are monitored. The plants used for this test were mostly lettuce in 10 varieties, red and yellow paprika; and tomato chonto. During this test the ammonium reduction of 0.50 mg / L, nitrites of 0.25 mg / L and nitrates of 0.50 mg / L was achieved. In addition to the help provided in reducing environmental impact, a food sovereignty strategy is created in the department of Vichada, through the production of organic vegetables. To conclude, aquaponics is considered as a viable alternative to jointly establish farms and fish farms. This system allows the reuse of water resources from fish farming for vegetable production, mitigating the environmental impact generated by these productions and obtaining food with added value.

1. INTRODUCCIÓN

La acuaponía es la actividad tecnológica en la cual se realiza una interacción entre la producción piscícola y la producción hidropónica, en la cual los desechos orgánicos producidos por el alimento no consumido y por heces y orina de los organismos acuáticos en cultivo se transforman, mediante la acción bacteriana, en nitratos que sirven como fuente de nutrientes para el crecimiento de plantas. Adicionalmente, la implementación de un sistema acuapónico funciona como un filtro biológico para la reducción de sólidos y compuestos químicos en el agua, haciéndola de esta forma viable para el reingreso a la producción piscícola sin ningún tipo de riesgo.¹

Esta actividad es considerada como una de las muchas alternativas para el uso eficiente de los recursos hídricos destinados a la producción de alimento. Por esto, puede ser considerada como una estrategia de soberanía alimentaria a futuro, pues puede ser implementada en terrenos no aptos para la producción agrícola o zonas donde no se cuente con volúmenes de agua necesarios para la agricultura convencional.²

Actualmente existen muchos métodos para la implementación de la acuaponía, pero pueden resumirse en 3 procesos:

a) Técnica de la película nutritiva (NFT, “Nutrient Film Technique”), empleado en este proyecto: Esta técnica hidropónica consiste en una pequeña lámina de agua que corre sobre un canal. Esta lámina contiene todos los nutrientes disueltos necesarios para el crecimiento vegetal. El caudal recircula sobre las raíces desnudas.³

¹ Edinson W. Moreno Simón y Alina Zafra Trelles. 2014. Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia Aquaponic system growth of lettuce, *Lactuca sativa*, with tilapia farming effluents.

² INTAGRI. 2017. Acuaponia para la Producción de Plantas y Peces. Serie Horticultura Protegida Núm. 32. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 6 p.

³ Pablo Candarle, Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Dirección de acuicultura, 2013, Técnicas de Acuaponía.

b) Lecho de sustrato, orgánico o inorgánico: Se parece al cultivo convencional en tierra, en lugar de tierra se utiliza algún material denominado sustrato, el cual no contiene nutrientes y se utiliza como un medio de sostén para las plantas. Este lecho es inundado a pulso o regado por una solución nutritiva.³

c) Raíz flotante (“Raft System”): Consiste en utilizar contenedores de cualquier tipo de material el cual detenga el paso de luz. Protegido por una tapa con orificios encargada de sostener a las plantas permitiendo que las raíces estén en contacto con la solución nutritiva. En esta técnica se debe tener en cuenta que el sistema depende de la aireación, la cual suministra el oxígeno para que no se produzca asfixia radicular.³

El objetivo de la pasantía profesional fue desarrollar e implementar un prototipo de cultivos acuapónicos en la Fundación Orinoquía ubicada en el municipio de Puerto Carreño, Vichada.

³ Pablo Candarle, Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Dirección de acuicultura, 2013, Técnicas de Acuaponía.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agricultura es un factor clave para la economía mundial, ya que es el pilar fundamental para la producción de alimento necesario para el desarrollo de todas las comunidades. Actualmente el mundo cuenta con una población estimada de 7,5 mil millones de habitantes, los cuales tienen una demanda alimenticia diaria. Esta demanda ha generado que las empresas productoras de alimentos, incrementen sus espacios productivos y al mismo tiempo incrementen el uso de fertilizantes comerciales y pesticidas.³ Dicha prácticas generan un gran impacto en la capa superficial de la tierra que incluso, pueden llevarla a un grado de deterioro que quizás no pueda ser reversible debido al daño biológico causado por los agro insumos.⁴

Si se continúan explotando y mal utilizando los recursos naturales que brinda la tierra, no pasará mucho tiempo antes de que el mundo se quede sin ellos. Si se dirige la mirada a la producción piscícola, su principal materia prima es el agua, la cual, después de un ciclo de producción es desechada y remplazada. En el caso de la producción sobre cuerpos de agua, se afectan los componentes eco sistémico, generando complicaciones en diferentes especies ⁵. Tomando en cuenta que la producción piscícola en Colombia para el año 2015 fue de 150,465 Ton⁶ podemos considerar que la cantidad de agua y alimento utilizada para lograr esta producción fue considerablemente alta. Si se establecen sistemas acuapónicos en las estaciones piscícolas, la cantidad de agua utilizada puede ser reaprovechada de manera óptima.

El municipio de Puerto Carreño se encuentra ubicado en el extremo oriental del país, en el Departamento del Vichada. Cuenta con una extensión de 100.242 Km²,

³Louise O. Fresco, 2003, Los fertilizantes y el futuro.

⁴ FAO e IFA, 2002, los fertilizantes y su uso.

⁵ Edgar Andrés González Legarda, 2017, Impacto ambiental de la acuicultura intensiva en los componentes agua y sedimento en el lago guamuez, NARIÑO, Universidad Nacional de Colombia.

⁶ María Claudia Merino, Dirección Técnica de Administración y Fomento AUTORIDAD NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA - AUNAP, 2018, ACUICULTURA EN COLOMBIA

⁷ IGAC, 2016, Vichada, un territorio apto para cultivos y ganado pero con restricciones y grandes inversiones.

casi el 10% de la extensión total de Colombia (1.141.815 Km²). Sólo el 14% de este departamento tiene suelos adecuados para la producción netamente agrícola, el alto contenido de aluminio obliga a los productores a invertir altos recursos económicos para mejorar su productividad. Por esto, requieren prácticas de manejo, asistencia técnica, mano de obra calificada y tecnología adecuada, gastos que no son costeables por los pequeños productores del municipio. Es necesario implementar nuevos métodos productivos que no dependan de la tierra.⁷

Las temperaturas del municipio de Puerto Carreño fluctúan entre los 22°C y los 35°C, característica que reduce las posibilidades de producción. Las temporadas de verano e invierno son muy marcadas, generando dificultad en la adaptación y establecimiento de algunos cultivos.

Estos problemas han generado una demanda alimenticia que los productores del municipio no pueden suplir. De allí, parte la necesidad de buscar alternativas que permitan optimizar los sistemas de producción supliendo la demanda de productos alimenticios, teniendo presente que los recursos naturales como el agua juegan un papel importante en el ciclo de vida de los sistemas pues es la materia prima de todo proceso, siendo responsabilidad del recurso humano, la conservación de este para garantizar el progreso de las generaciones futuras.⁸

¿Es posible generar una reducción del impacto ambiental generado por la piscicultura y agricultura por medio de la implementación del acuapónica?

⁸ Joaquín Álvarez Liévano y Hernando Suarez Fajardo, 1965, contribución al estudio de la geografía de los suelos de Colombia, triangulo: casuarito- puerto Carreño- San Rafael de murillo.

3. JUSTIFICACIÓN

Las producciones ambientalmente amigables son bien recibida en cualquier área productiva, ya que la conservación y cuidado del medio ambiente son prioridades primarias para cualquier productor agropecuario. Tomando en cuenta el daño que generan los fertilizantes y agroquímicos convencionales sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo, se hace razonable buscar alternativas productivas, ya que estas actividades promueven la degradación de recursos principales para cualquier producción, sea de carácter agrícola o precaria que son: el suelo y el agua.⁹

Actualmente, el municipio de Puerto Carreño no cuenta con una base estable de producción agrícola estable y sus territorios productivos son mínimos, su población crece diariamente y los recursos alimenticios son cada vez más bajos.

Esto ha generado una demanda alimenticia por parte de los pobladores, que debe suplirse rápidamente. Por eso, se propone la implementación de la acuaponía como una estrategia alimentaria a futuro, para lograr suplir parte de la demanda que generan los pobladores y al mismo tiempo ayudar a mitigar el impacto ambiental producido por las exportaciones piscícolas.^{10,7,2}

La generación de una base de conocimiento, con la implementación de los cultivos acuapónicos en la Fundación Orinoquía, permite dar una solución a factores como la deficiencia alimentaria por medio de la producción de alimentos y ambiental con la mejora de las características fisicoquímicas del agua.

Debido a las grandes cantidades de desechos orgánicos producidos por la actividad piscícola, es necesarios realizar recambios de agua constantes, la cual es desechada y no cumple ninguna función adicional en el sistema. Por esta razón un sistema de producción acuapónico es necesario y viable, el cual funciona como filtro

⁹Sally Jazmín Castellanos Quintero, 2018, Comparación del efecto de la fertilización con lombrihumus y lixiviado sobre el desarrollo y crecimiento vegetal del cultivo de avena forrajera (*Avena sativa* L) variedad Cayuse en el municipio de Pamplonita.

¹⁰DANE, Bolentin Censo General, 2005.

biológico y mecánico para la producción, mejorando significativamente el funcionamiento del sistema, formando así una circulación cerrada de agua.¹¹

El desarrollo de este sistema brinda productos alimenticios orgánicos, favorece la producción de vegetales y animales en áreas reducidas y genera menor impacto ambiental, reduciendo sólidos y compuestos nitrogenados en el agua.¹²

¹¹ FAO, 2014, small-scale aquaponic food production integrated fish and plant farming.

¹² Luis Felipe Hernández Zambrano, 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*), Universidad Nacional de Colombia.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivos General

- Desarrollar un prototipo funcional de cultivos acuapónicos en la Fundación Orinoquía, ubicada en el municipio de Puerto Carreño, Vichada.

4.2 Objetivo específico

- Establecer el modelo del sistema acuapónico en la Fundación Orinoquía.
- Estimar el efecto del sistema acuapónico sobre las características fisicoquímicas del agua en la Fundación Orinoquía
- Realizar un análisis parcial de costos del montaje del circuito acuapónico.

5. ANTECEDENTES

Investigaciones sobre humedales flotantes y biofiltros de caña llevados a cabo por Tom Duncan en china durante el período 2004 – 2013 han sido base para la realización de nuevas investigaciones para otros autores. Los datos obtenidos por Tom demuestran agua mejorada, calidad resultante de la utilización de cañas flotantes. También se han llevado a cabo otros proyectos en Australia, China y Malasia involucrando al autor.

El reacondicionamiento de las tecnologías de biofiltración flotantes restaura la integridad ecológica del ecosistema acuático en el que el sistema está instalado, recogiendo nutrientes, contaminantes y metales, y también a la adsorción de compuestos nitrogenados.

El mecanismo de tratamiento es a través de la absorción y utilización de nitrógeno, fósforo y sólidos en suspensión por las plantas. Los resultados demuestran que las plantas de humedales que crecen en la superficie del agua, Puede purificar el agua de manera efectiva, con una cobertura del 15%, 30% y 45% de las plantas.¹³

Otros estudios llevados a cabo en México en el instituto politécnico nacional nos dan a conocer Donde se evaluó la producción de tilapia *Oreochromis niloticus* y lechuga romana acropolis *Lactuca sativa* en sistemas acuapónicos utilizando dos sistemas: recirculación de agua sin recambio (utilizando biofiltración) y sistema sin recirculación con recambio parcial de agua. Los resultados del ensayo muestran que el sistema de recirculación sin recambio presenta mayores crecimientos que el sistema sin recirculación con recambio, donde las tilapias cultivadas bajo el tratamiento de recirculación alcanzaron un peso final total de 178 kg,¹⁴ con una biomasa de 8.48 kg/m³. El tratamiento con recambio parcial de agua alcanzó un peso final total de 156.27 kg, con una biomasa de 7.44 kg/m³. Se obtuvieron mayores crecimiento y sobrevivencia en las lechugas sembradas en el Sistema

¹³ Tom Duncan, 2012, Floating reedbeds biofilter performance in urban stormwater treatment wetlands, Stormwater Australia 2012 National Conference Paper.

¹⁴ Sheila Guadalupe Rubio Cabrera.2012.Análisis técnico de producción de tilapia *Oreochromis niloticus* y lechuga acrópolis *Lactuca sativa* en acuaponia

hidropónico, en el tratamiento de producción de tilapia sin recirculación con recambio y mayor crecimiento que el control 100% tierra.

El municipio de Puerto Carreño departamento del Vichada se ha trabajado desde hace ya muchos años la parte pecuaria agrícola de forma tradicional y de subsistencia, en su gran mayoría las producciones de carácter vegetal se enfocan en productos locales, como el plátano, maíz, yuca, sandía, auyama, entre otros y en la parte pecuaria de bovinos, caballos, porcinos, y aves de corral.

Pero hasta el momento no se ha realizado ningún estudio relacionado con la producción acuaponía o su relación con el mejoramiento en las características del agua a nivel departamental y tampoco se cuenta con explotaciones agrícolas tecnificadas, ya que la mayoría de las producciones son de carácter de subsistencia y de consumo familiar, adicionalmente a eso la gran mayoría de productores de la región no conocen alternativas productivas sostenibles y se ven forzados a utilizar los métodos convencionales de fertilización como químicos o uso de desechos caseros, generando así daños en las características normales del suelo y desgaste del recurso hídrico por mal manejo de riegos.

A nivel nacional, universidades reconocidas han realizado estudios relacionados con la investigación acuapónico, la universidad nacional cuenta con un estudio que nos demuestra la efectividad de los sistemas acuapónicos cuando se vinculan con la producción piscícola, en este estudio se evaluó un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación en el cultivo de Tilapia Roja, en el cual se diseñó y construyó este sistema desde cero y posteriormente se evaluó su funcionamiento, por medio de esta investigación se llegó a la conclusión de que los sistemas acuapónicos funcionan de manera efectiva como alternativa a los ¹⁵ cultivos tradicionales de peces y adicionalmente generan una producción de plantas las cuales brindando un aprovechamiento continuo de los desechos producidos por los organismos acuáticos, también se determinó que los mejores resultados de

¹⁵ Facultad de ingeniería y administración, 2018, Con acuaponía mejoran gasto de agua en producción de hortalizas y peces

producción fueron los que se encontraban en el sistema de raíz flotante con sustrato y en aquellos que presentaban el mayor flujo de agua asociado al incremento en la disponibilidad de los nutrientes para las plantas.¹⁵

Además el ingeniero ambiental Richard Ortega González, de la Universidad Nacional de Colombia (U.N.) Sede Palmira y creador de Acuaponía Amazonia, afirma que el sistema se puede implementar de forma intensiva, con un aprovechamiento en producción de peces y hortalizas, además indico que este proceso les permite a las familias utilizar el agua de estanques de peces –que tiene un alto contenido de nutrientes– en la alimentación de cultivos de hortalizas como lechuga, tomate, fresa, zanahoria y cilantro, entre otras. Las plantas absorben estos nutrientes y a su vez actúan como filtro biológico para devolver el agua en condiciones óptimas de oxígeno y sanidad a los estanques, a través de una tubería simple.¹⁵

El magister en acuicultura Mario Esteban Muñoz Gutiérrez, en su publicación Sistemas de recirculación acuapónicos, realiza un análisis del comportamiento de los sistemas acuapónicos implementados en explotaciones piscícolas de recirculación cerrada y adicionalmente realiza un diseño de un sistema con funcionamiento óptimo y nos brinda una lista de peces y plantas adaptadas a estos sistema. Para finalizar su publicación concluye que, los sistemas de recirculación acuapónicos son una alternativa altamente viable para ser implementados en las explotaciones piscícolas, además son una forma eficaz de reducir el impacto ambiental por medio del aprovechamiento de los efluentes generados por la acuicultura y reutilizar el agua de los componentes acuáticos, también toma en cuenta a los pequeños productores a los cuales por medio de los cultivos acuapónicos se les brinda una nueva oportunidad de ingresos que pueden utilizar de una forma más eficaz los sistemas de recirculación cerrados que hay en el mercado.¹⁶

¹⁶ Mario Esteban Muñoz Gutiérrez, 2012, Sistemas de recirculación acuapónicos

La revista NOTIAUNAP en su edición número 179 del año 2015, indica que se están llevando a cabo pruebas piloto en diferentes regiones de Colombia, en las estaciones piscícolas de Repelón (Atlántico) y Gigante (Huila), a cargo de la Aunap, la Universidad de Risaralda también tiene otra iniciativa. Igualmente, se está apoyando otras iniciativas privadas en los departamentos de Cauca y Huila.¹⁷

¹⁷ AUNAP, NOTI AUNAP, HIDROPONÍA Y ACUICULTURA PUEDEN IR DE LA MANO, Bogotá D.C., Diciembre 2 /2015 Edición No.179

6. MARCO TEORICO

6.1 IMPACTO DE LA AGRICULTURA

Durante los últimos años se ha logrado establecer una conexión directa entre la contaminación ambiental y el deterioro de recursos naturales por parte de La agricultura.

La agricultura actualmente representa una gran parte del uso de la tierra por el hombre, sólo las siembras de pastos y los cultivos para consumo humano ocupaban alrededor de un 37% de la superficie de tierras productivas, adicionalmente a esto casi dos terceras partes del agua potable del mundo es utilizada en la producción agrícola.

Las explotaciones agropecuarias sin manejos adecuados ni implementación de sistemas de producción ambientalmente amigables, tienen un profundo impacto en el medio ambiente generando gran parte de la contaminación que afecta el planeta actualmente.

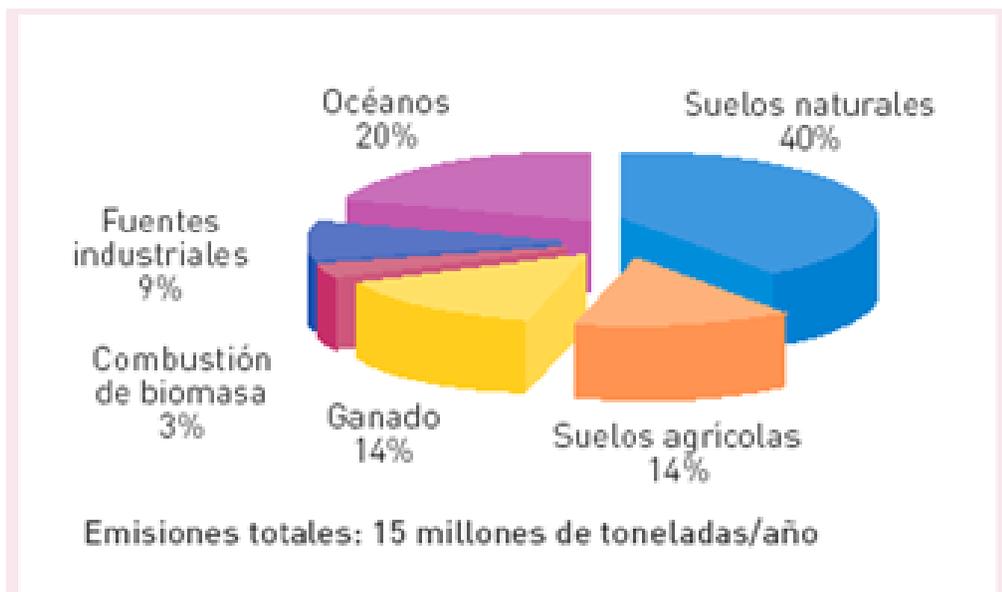


Gráfico N° 1: porcentaje de emisiones de nitrógeno

Tomado de: Agricultura mundial hacia los años 2015/2030, FAO.

La agricultura convencional afecta directamente a la base productiva actual y la se está degradando rápidamente a través de la degradación de la tierra de extracción de agua y la reducción de la diversidad genética agropecuaria.¹⁸ Aunque no podemos desechar la agricultura por completo, pues puede jugar un factor importante para la mitigación del impacto ambiental producido por ejemplo, almacenando carbono en los suelos, mejorando la filtración del agua y conservando los paisajes rurales y la biodiversidad.

6.2 ORIGEN DE LA PISCICULTURA

El cultivo de organismos acuáticos a escala productiva puede considerarse como un evento reciente, aunque se tienen registros de documentados entre el 2000-1000 A.C. como una forma de producción en China (con la carpa) y el antiguo Egipto (con la tilapia). La primera monografía conocida sobre la crianza de peces fue publicada en China por Fan Lai en el año 473 A.C. Mientras que occidente de Europa se cuentan con registros del siglo XV donde se describe el uso de las fuentes de agua de los castillos y monasterios para la producción de peces. Pero la verdadera producción industrial se inicia en el siglo XX. Los inicios de la piscicultura se ve iniciada por la necesidad de los pescadores de mantener frescos sus productos hasta el momento de la venta y No es sino hasta el siglo XIV que en Francia se dan los primeros pasos para intervenir en el proceso natural consiguiendo la fecundación de ´ huevos de trucha de forma “artificial”. A pesar de ello, no es hasta el siglo XIX donde se consigue la reproducción en cautividad de la trucha. Estos avances sedan en primer lugar en centros de investigación gubernamentales de varios países orientados principalmente a la repoblación de ríos y lagos antes de dar el salto al sector.²⁰

¹⁸ FAO,2002, Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030.

¹⁹ Francisco Miguel Rueda González , BREVE HISTORIA DE UNA GRAN DESCONOCIDA: LA ACUICULTURA, REVISTA EUBACTERIA (NOVIEMBRE 2011) NO 26.

6.3 HISTORIA DE LA ACUICULTURA EN COLOMBIA

Durante el transcurso de los años 40 se da inicio a la Acuicultura en Colombia, debido a la falta de infraestructura y tecnología esta no obtuvo el desarrollo esperado no es sino hasta la década de los sesentas que se dieron muchos incentivos de parte de organismos internacionales y del estado, y se generan convenios para brindar capacitación a los productores, adicionalmente a esto se crea el INDERENA (Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente), por este motivo la acuicultura toma fuerza y su auge se ve reflejada en la década de los ochenta donde la acuicultura se consolido abriendo grandes posibilidades las posibilidades a mercados internacionales para langostino y camarones.

Posteriormente el INDERENA se transformó en el Ministerio del Medio Ambiente y delega las funciones de vigilancia y fomento de pesca y Acuicultura al Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura INPA, el cual con la formulación de la ley 13 de 1990, se constituyó como la autoridad nacional de la pesca y la acuicultura. El INPA brindo un gran apoyo a las producciones generando una normatividad que facilitaría la producción de estos recursos tanto por el sector rural como urbano. Adicionalmente a esto se trabajó conjuntamente con el DRI, que hace referencia al programa de desarrollo rural.

En el año 2003 el gobierno nacional decidió unificar todas las entidades que tenían responsabilidad sobre el desarrollo rural creando el Instituto Colombiano de Desarrollo Rural INCODER y en él se concentraron las funciones relacionadas con la propiedad de tierra rural, Poco tiempo después en el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural se creó la Dirección de Pesca y Acuicultura con funciones relativas a la formulación de instrumentos de política para el apoyo al desarrollo de la pesca y acuicultura a nivel nacional.²⁰

²⁰ Yinet Andrea Parrado Sanabria, Historia de la Acuicultura en Colombia, Revista AquaTIC, nº 37 – 2012.

6.4 ORIGEN DE LA ACUAPONÍA

En Malasia, los sistemas simbióticos de cultivos se han realizado desde la década de 1930, con la producción de peces en arrozales y en los sistemas estanques-cerdos,²¹ en China tiene una muy larga historia del cultivo integrado de peces; documentos escritos del primer siglo A.C. registran la producción conjunta del cultivo de plantas acuáticas y peces. Desde el siglo noveno se registran cultivos de peces en arrozales donde se utilizaban para generar un mecanismo de fertilización en los sembradíos.²²

Los aztecas practicaron una forma inicial de acuaponía, mediante la crianza de peces junto a las cosechas. Ellos construían islas artificiales conocidas como “chinampas” y plantaba en ellos maíz y otras plantas. Los canales navegables que rodeaban las islas fueron usados para la crianza de peces y los desechos producidos eran aprovechados para la producción de peces.²³

La idea de implementar de cultivos con producción de peces para reutiliza sus desechos como fertilizantes para plantas, es tan viejo como las primeras civilizaciones de Asia y Sudamérica, cuyos habitantes ya realizaban métodos basados en estos principios, según los registros históricos existentes.

Hacia fines de los años ´70, comenzaron a aparecer estudios científicos en Norteamérica y Europa, para demostrar que los metabolitos producidos por los peces podían ser retirados del agua para el cultivo de vegetales.²⁴

²¹Ahmad, R. S. H. FAO. Documento técnico de Pesca N° 407. Roma, FAO. 2003.159 pp. Práctica de integración forraje-peces en Malasia, pp 33.

²²Yang, H. ; Fang, Y.; Chen, Z. FAO. Documento técnico de Pesca N° 407. Roma,cFAO. 2003. 159p. Sistema s integrados de cultivo de peces en pastizales en China, pp 21.

²³Matus, H. S.; Linares, J. S. M.; Domínguez, A. O.; Gaspar, G. O.; Lule, R. A. M.(2009). Acuaponia, plantas y peces libres de químicos.

²⁴Lewis, W.M, Yopp, J.H, Schramm, H.L, Brandenburg, A.M. 1978. Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. Transactions of the American Fisheries Society 107:92–99.

6.5 PRINCIPIOS DE LA ACUAPONÍA

Se indica que aquellos sistemas de recirculación de agua que integran la producción de organismos acuáticos (peces principalmente) y vegetales, son conocidos como acuaponía y tales sistemas se basan en el principio de utilizar los desechos orgánicos nitrogenados generados por el metabolismo de los peces, como nutrientes necesarios para un correcto crecimiento de plantas, frutos o vegetales.

Las plantas y bacterias nitrificantes, filtran el agua extrayendo los desechos nitrogenados como fuente de alimento mejorando así, el medio ambiente de los peces y promoviendo su crecimiento.²⁵



Grafico No. 2. Ciclo acuapónico Tomado de: Acuaponía Vs Hidroponía. 2006.

²⁵ Edinson W. Moreno Simón y Alina Zafra Trelles, 2014, Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia Aquaponic system growth of lettuce, *Lactuca sativa*, with tilapia farming effluents.

En el sistema de acuaponía se reducirán la cantidad de compuestos nitrogenados de los sitios de descarga del agua. Por esta razón se puede reutilizar el agua ya que ésta queda libre de compuestos dañinos para el sistema piscícola. Esto implica también una reducción de los costos de operación por gastos de agua al sistema, sobre todo en zonas donde el abastecimiento de este recurso es escaso.

Esta actividad incrementa la rentabilidad de la granja acuícola ya que la producción de vegetales con este sistema adquiere un valor comercial mayor al ser considerados como "productos orgánicos" (libres de químicos como pesticidas, fungicidas, etc.) y no se tienen gastos extras por fertilización de plantas debido a que los nutrientes están contenidos en el flujo de agua que circula por el sistema²⁶

6.6 IMPORTANCIA DE LA FILTRACIÓN DE PARTÍCULAS FINAS EN LA PISCICULTURA

La filtración en la acuicultura es uno de los factores más importante, ya que mediante esta se obtendrá mejores usos de agua y eficiencia en la producción, en la acuicultura la filtración es muy diferente a cualquier otra, ya que está filtrando un material totalmente diferente, que es mucho más grande en masa – ya que posee plantas, alimento y desechos de peces, apuntó Bryan Goh, director de Waterco Ltd, Australia, fabricante internacional de una amplia gama de soluciones de filtración para los sistemas comerciales y domésticos.

Las granjas que utilizan los sistemas cerrados de acuicultura tienen una gran particularidad que es la implementación de sistemas de filtrado con recirculación, lo cual implica que la misma agua recircule un número infinito de veces por los filtros y retorne al sistema, si este proceso no se lleva a cabo de manera óptima y eficiente puede acarrear problemas en la producción piscícola, tales como: ²⁷

²⁶ T.A. ANA GIRÓ PETERSEN, 2008, Evaluación del rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en un sistema acuapónico, realizado en la Empresa Agrícola Santa AgustinaXolhuitz, Nuevo San Carlos, Retalhuleu

²⁷ Gary E. Miller, 2017, Sistemas RAS : Filtración Biológica en Acuicultura

1. Perjudicar la claridad del agua y reducción de la cantidad de oxígeno que el pez puede absorber y su tasa de crecimiento. Cuanto más rápido se eliminen estos desechos, menos oxígeno utilizarán las bacterias que lo descomponen.
2. Las sustancias que son tóxicas para los peces en pequeñas cantidades, como el amoníaco y el nitrito, se deben eliminar rápidamente antes de que consuman una gran cantidad de oxígeno disuelto en el agua e impacte en la salud de los peces.
3. Las grandes cantidades de alimento también se convierten en residuos y fomentan el crecimiento de las bacterias, las cuales consumen el oxígeno que sus peces necesitan; la adecuada filtración le hace frente a estas cuestiones.²⁸

6.7 NUTRIENTES NECESARIOS PARA EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS

La gran mayoría de plantas requieren de 16 elementos básicos para su crecimiento, los cuales son suministrados por los diferentes factores ambientales como los son el aire y el suelo circundante, los elementos siguientes son derivados:

- a. del aire: carbono (C) como CO₂ (dióxido de carbono);
- b. del agua: hidrógeno (H) y oxígeno (O) como H₂O (agua)
- c. del suelo, el fertilizante y abono animal: nitrógeno (N)

Las diferentes variedades de plantas leguminosas obtienen el nitrógeno del aire con la ayuda de bacterias que viven en los nódulos de las raíces por lo cual no se consideran viables para ser producidas en sistema acuapónicos ya que no adsorberían sino por el contrario añadirían nitrógeno al sistema.

Otros elementos químicos son tomados en cuenta. Estos pueden ser nutrientes beneficiosos para algunas plantas, pero no esenciales para el crecimiento de todas. Los fertilizantes, abonos o residuos de cultivos aplicados al suelo aumentan la oferta

²⁶ Katie Adema, 2013, Filtración de partículas finas en la acuicultura.

de nutrientes de las plantas. Las cantidades de nutrientes primarios necesarios para los cultivos.²⁷

6.8 Ventajas del cultivo acuapónico:

La acuaponía presenta un gran número de ventajas con respecto a los cultivos realizados mediante la agricultura convencional, se pueden nombrar laguna como:

- Por medio de este sistema se logra una mayor densidad de plantas sembradas, por lo que se realiza una administración de espacio mayor (entre un 15 a 30%) menos que sus similares en el suelo. Adicionalmente los nutrientes no son limitantes por lo que no afecta la densidad del cultivo.²⁸
- Control del pH: es un factor que influye de manera directa en la asimilación de los nutrientes y por lo tanto en el rendimiento de las plantas y peces. En la mayoría de las producción convencionales los suelos suelen tener rangos de pH que no son óptimos para la siembra, la corrección de este parámetro genera un gasto adicional a los productores por lo que es difícil y costosa. En acuaponía al trabajar con agua es muy fácil y barato ajustar y mantener el pH a nivel deseado ya que este se corrige de forma directa en el sistema.⁹
- Permite obtener productos orgánicos: ya que no se utilizan químicos, pesticidas, fungicidas ni fertilizantes.¹²
- Permite un ahorro considerable en el consumo de agua: en acuaponía, generalmente se recircula el agua en el sistema, las plantas se encargan de filtrar el agua para ser utilizada nuevamente por los peces reduciendo los recambios en los estanques y la perdida por riegos mal efectuados.

²⁷ Pilar García-Serrano Jiménez y Juan José Lucena Marotta, 2009, GUÍA PRÁCTICA DE LA FERTILIZACIÓN RACIONAL DE LOS CULTIVOS EN ESPAÑA

²⁸ Indoor. 2012. Ventajas y Desventajas del Sistema Acuapónico.

- Se reducen los costos de producción: debido a que no se utilizan fertilizantes, insecticidas ni fungicidas, se ahorra tiempo y dinero.
- No hay gastos generados por la maquinaria agrícola: no se requiere de tractor, arado u otros implementos semejantes y tampoco se requiere la realización de procedimientos pre y pos cosecha.
- Se reduce de manera significativa la contaminación ambiental generada por la agricultura convencional y los riesgos de erosión del suelo: al no utilizar compuestos químicos para el control de plagas y enfermedades, se reduce la contaminación. Al ser un sistema en el cual las plantas se encargan de filtrar el agua la contaminación generada es reducida.
- Debido a que es un policultivo se maximizan los recursos: La integración de plantas y animales incrementa la diversidad y por lo tanto brinda estabilidad al sistema utilizando el agua, nutrientes y espacio al máximo.²⁹

6.9 Desventajas de la acuaponía

- Falta de estudios por parte de las grandes empresas: debido a que es un área relativamente nueva todavía se están realizando pruebas para optimizar el sistema.
- Se requiere conocimiento técnico para un manejo adecuado, ya que es un sistema de integración de dos cultivos se hace necesario un conocimiento básico de fisiología vegetal (hortalizas) y animal (peces) para el manejo adecuado del sistema

²⁹ Fundación Neotrópico, 2012, VENTAJAS DE LA ACUAPONÍA.

- Los costos de primera inversión son elevados debido a que no se cuenta con empresas especializadas.
- Es importante integrar dos cultivos con los mismos requerimientos ambientales: para esto es necesario conocer sobre las especies que se quieren integrar en el cultivo para optimizar la producción.³⁰

30 Axayacalt, O. 2014. Desventajas de la hidroponía (en línea). Disponible en <<http://www.horticulturaefectiva.net/2011/06/desventajas-de-la-hidroponia.html>> [Consultado en junio de 2018].

7. METODOLOGÍA

7.1 Lugar de la investigación

Esta pasantía se desarrolló en las instalaciones de la fundación Orinoquia ubicada en el municipio de Puerto Carreño, Vichada. Es una institución sin ánimo de lucro que tiene como misión desarrollar programas socioambientales que contribuyan al conocimiento, conservación y el uso sostenible de la biodiversidad de la Orinoquia colombiana, para aprender a convivir con el ambiente evitando dañarlo y recuperar los daños ocasionados. La fundación cuenta con un total de 6 hectáreas, con una topografía de rocosa. Está ubicada geográficamente en las coordenadas Latitud: 6.18493, Longitud: -67.4894 6° 11' 6" Norte, 67° 29' 22" Oeste y presentando un clima templado que oscila de los 25° a los 35°C, con una precipitación anual de 450 mm, a una altitud de 51 msnm.

7.1.1 Componentes

El área global del laboratorio se encuentra distribuida en zona de proceso de muestras, zona de manejo de peces, sistemas de incubación y distribución de agua, descritos a continuación.

Tabla N° 1. Dimensiones sistema de manejo del laboratorio. Fuente personal

Ítem	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Utilidad
Pileta 1	3,978	0,994	Biofiltro
Pileta 2 - 5	4,896	1,224	Manejo de animales
Pileta 6 - 11	4,917	1,229	Manejo de animales
Pileta 12	4,917	3,933	Manejo de rayas macho
Pileta 13 - 16	2,09	0,25	Manejo de animales
Acuarios	0,24	0,07	Manejo de animales
Tanque de Aclimatación	2,90	2,08	Cuarentena
Tanque Subterráneo	4,80	6,72	Almacenamiento de agua
Incubadora Woynarovich	0,48	0,2	Incubación de ovas
Incubadora de Artemia	0,01	0,002	Eclosión de Artemia
Tanque elevado	1,42	2	Almacenamiento de agua

El área de proceso de muestras, es el lugar donde se reciben las muestras para su posterior análisis, para esto se tienen materiales y equipos tales como multiparametro YSI 550A, kit API medidor de parámetros fisicoquímicos, equipo de disección, estereoscopio, microscopio, balanza digital, nevera Haceb 222 litros, vidriería, medicamentos, reactivos y recipientes plásticos de diferentes capacidades.

La zona de manejo de peces, es el lugar donde se llevan a cabo la recepción, cuarentena y mantenimiento de las especies capturadas, para estos procesos se dispone de tanque de plástico de 2000 litros, 12 piletas en concreto de 1400 litros cada una, siete piletas en concreto de 300 litros cada una, sistema hidráulico y de aireación, Blower 0,5 hp de potencia, Compresor Resun 1200 w, sistema de recirculación, bomba sumergible Resun 3965 gph, bomba sumergible Resun 4000 litros por hora, bomba sumergible Resun 8500 litros por hora.

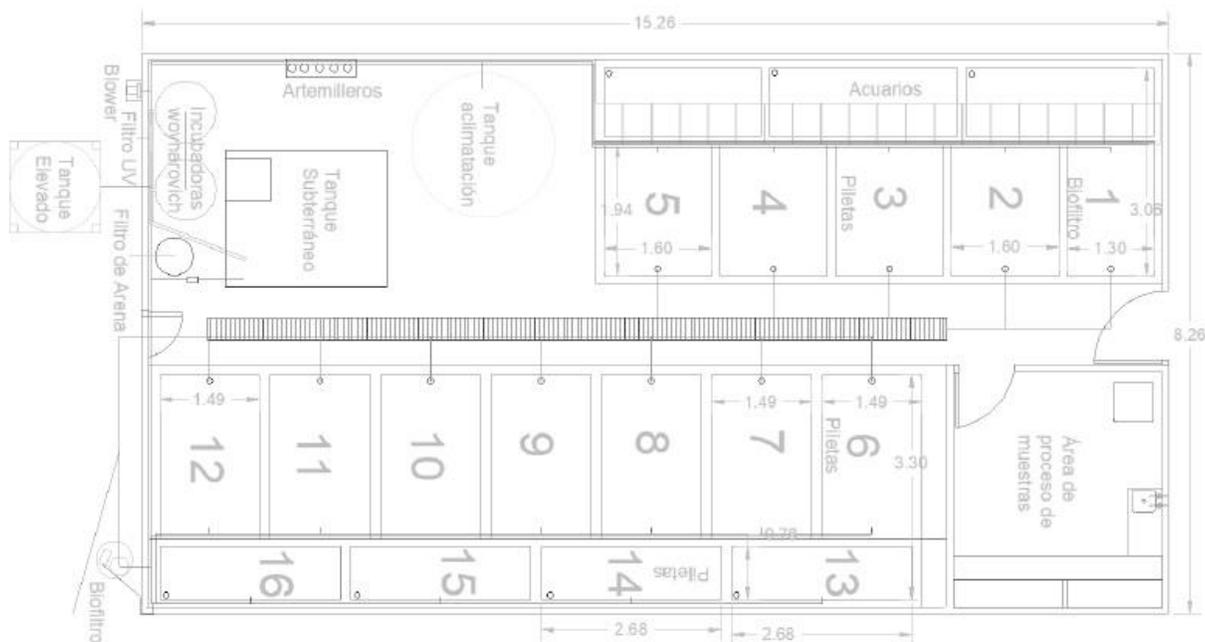


Grafico N° 3. Distribución de laboratorio. Fuente personal



Grafico N° 4. Tanque de aclimatación e interior de laboratorio. Fuente personal.

El sistema de incubación, cuenta con dos incubadoras Woynarovich o de flujo ascendente de 200 litros cada una, en las cuales se llevan a cabo los procesos de incubación de las ovas obtenidas de los peces inducidos y seis incubadoras artesanales de 2 litros cada una, en las que se realiza la eclosión de *Artemia salina*, para el desarrollo de estos procesos además de las incubadoras se cuenta con un filtro de arena, filtro U.V, bomba hidráulica 1hp de potencia y un tanque subterráneo en concreto de 7000 litros; conformándose de esta manera un sistema de recirculación para incubación.



Grafico N° 5. Incubadora Woynarovich y artemilleros. Fuente personal.

El agua es tomada del acueducto y almacenada en dos tanques plásticos de mil litros cada uno; un tanque subterráneo con capacidad de 6000 litros y un tanque plástico elevado con capacidad de 2000 litros; el agua se deja reposar para declorinar y se distribuye para funcionamiento del laboratorio, también se cuenta con un sistema de recirculación para rayas el cual consta de dos piletas.



Grafico N° 6. Tanque de depósito de agua y filtro rayas. Fuente personal.

La zona destinada para los estanques y tanques a utilizar en piscicultura, tiene un área de 6000 m², estos son empleados para el cultivo de cachama blanca (*P. brachypomus*), Pavón (*Cichla orinocensis*), Arawana Azul (*Osteoglossum ferreirai*) y el mantenimiento de planteles de reproductores de las especies nativas de la región, para llevar a cabo las diferentes actividades se dispone de un blower de 2,5 hp de potencia, dos bombas de 0,5 hp, sistema de energía solar con una línea de baterías y un panel solar, motobomba DY-8CL Diésel. Salida de 3 pulgadas, planta eléctrica Loncin 8000 D-A, Caseta de herramienta y un pozo subterráneo del cual se toma el agua para realizar recambios a los estanques.

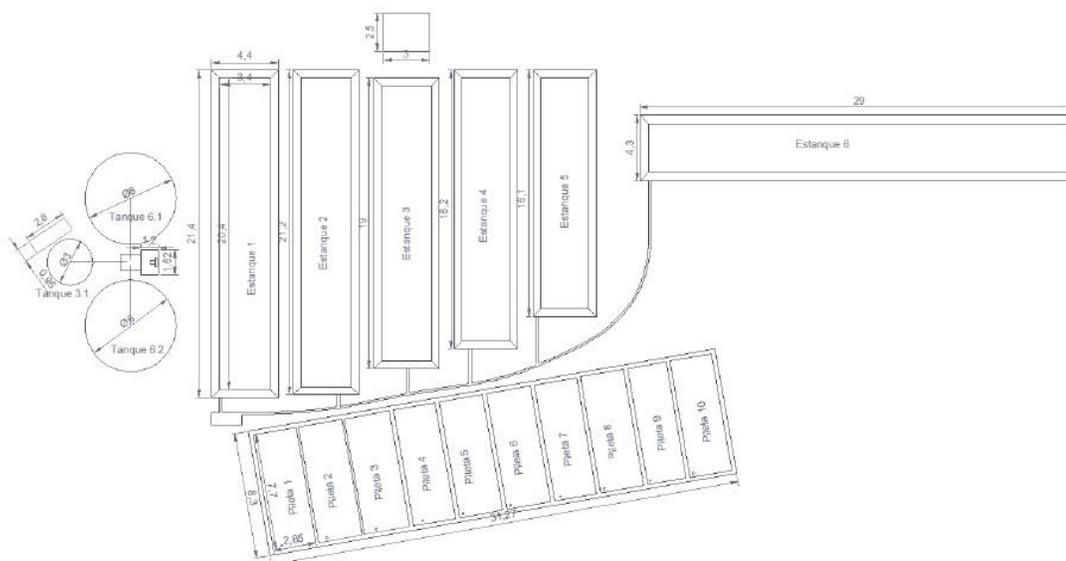


Grafico N° 7. Dimensiones de los estanques y tanques en geomembrana. Fuente personal.



Grafico N° 8. Tanques de cultivo, piletas en concreto y caseta de herramientas. Fuente personal.



Grafico N° 9. Blower, motobomba, sistema de energía solar, tanques en geomembrana y pozo subterráneo. Fuente personal.

Vista en planta unidades de cultivo de la Fundación Orinoquia

Actualmente se construyeron 10 piletas en cemento, las cuales están recubiertas de poli sombra y delimitada por una malla anti pájaros, la cual cumple dicha función y retiene las hojas de los arboles cercanos, también cuenta con un sistema de aireación a través de un blower de 1 HP el cual distribuye oxígeno a todas las piletas mediante tubería de 1 pulgada finalizando en manguera difusora, también cuenta con un sistema de tuberías conectadas al pozo subterráneo y demás estanques para realizar el bombeo de agua desde cualquier sitio.

Tabla N° 2. Dimensión de las piletas en cemento. Fuente personal.

Ítem	Área (m2)	Área (m3)	Utilidad
Pileta 1	21,95	8,78	Producción de Curitos
Pileta 2	22,69	9,07	-
Pileta 3	23,26	9,30	Reproductores de Oscars
Pileta 4	21,80	8,72	Producción de Guppys
Pileta 5	22,41	8,96	Producción de Guppys
Pileta 6	22,63	9,05	Producción de Mojarra
Pileta 7	21,74	8,69	Producción de Mojarra
Pileta 8	22,27	17,81	Producción de Cachama
Pileta 9	20,12	16,09	Producción de Cachama
Pileta 10	21,62	17,29	Producción de Cachama

7.1.2 Componente Pecuario

Genética:

Cuenta con especies nativas como:

- **Peces óscar:** *astronotus ocellatus*
- **arawana azul :** *Osteoglossum bicirrhosum*
- **pavón:** *Oreophasis derbianus*
- **peces raya motoro:** *Potamotrygon motoro*
- **mojarra azul:** *Aequidens pulcher*
- **cachama blanca:** *Piaractus brachypomus*
- **cachama negra:** *Colossoma macropomum*
- **Yamu:** *Brycon amazonicus*

- **Bocachico:** *Prochilodus magdalenae*

Actualmente la fundación cuenta con una población de animales bastante amplia entre los que cabe resaltar:

- **Peces óscar:** 26 ejemplares para reproducción y con 2000 ejemplares juveniles
- **arawana azul :** 25 ejemplares próximo a reproducción
- **pavón:** 18 ejemplares en reproducción 200 ejemplares juveniles
- **peces raya motoro:** 9 ejemplares en reproducción y 6 ejemplares juveniles
- **mojarra azul:** 600 ejemplares
- **cachama blanca:** 3 ejemplares reproductores y en sistema biofloc 3950 ejemplares juveniles
- **cachama negra:** 9 ejemplares reproductores.
- **Yamu:** 3 ejemplares reproductores y en sistema biofloc 580 ejemplares.
- **Bocachico:** 15 ejemplares reproductores

Tabla N° 3. Carga animal estación piscícola. Fuente personal.

Estanque	Área m³	No. De peces	No. de peces/m³	Peso g promedio / pez	Etapas
Estanque #1	97,6	1000	10,24	40	Cría
Estanque #2	91,2	22	0,24	5000	Reproducción
Estanque #3	86,6	9	0,10	3000	Reproducción
Estanque #4	82,1	1000	12,18	40	Cría
Estanque #5	70,7	28	0,39	400	Cría
Estanque #6	132,2	9	0,068	3000	Reproducción
Tanque 6-1	33,9	2600	76,69	52,6	Ciclo continuo
Tanque 6-2	33,9	1350	39,82	52,3	Ciclo continuo
Tanque 3-1	8,5	563	66,23	60	Ciclo continuo
Pileta 1	8,78	30	3,41	40	
Pileta 2	9,07	-	-	-	-
Pileta 3	9,30	40	4,30		Levante
Pileta 4	8,72	10000	1146	3	Levante
Pileta 5	8,96	10000	1116	4	Engorde
Pileta 6	9,05	40	4,41	40	Engorde
Pileta 7	8,69	30	3,45	40	Levante
Pileta 8	17,81	1500	84,22	20	Levante
Pileta 9	16,09	300	18,64	800	Engorde
Pileta 10	17,29	600	34,7	800	Engorde

7.1.3 Nutrición:

Actualmente se está alimentando con concentrado mojarra de solla con unos porcentajes de proteína del:

- **45% para alevinos.**

Alimentación: Se realiza alimentación de 5 veces a día en alevinos con un porcentaje del 7% del a biomasa

Composición garantizado

Proteína mínima	45.0%
Grasa mínima	5.0%
Cenizas máxima	12.0%
Humedad máxima	13.0%
Fibra máxima	6.0%
Registro ICA 11994 AL	



Dosificación

Suministrar Sollá Mojarra 45 Harina como alimento completo a partir de la siembra, hasta los 5 gramos de peso vivo. (9 a 12 raciones por día).

Solla Mojarra 45 Extruido, desde los 5 gramos hasta los 15 gramos de peso. (6 a 9 raciones por día).

Fase crecimiento	Iniciación	
Producto	Mojarras 45% Harina	Mojarras 45% Ext.
Tamaño de pellet	Harina	1.5 mm
Peso vivo Recomendado (g)	0-5	5-15
Raciones/día	12-9	9-6

- **32% para juveniles y arañas.**

Composición garantizado

Proteína mínima	32.0%
Grasa mínima	2.5%
Fibra máxima	4.0%
Cenizas máxima	12.0%
Humedad máxima	13.0%
Registro ICA5703 AL	



Dosificación

Suministre Sollá Mojarra 32 - 3,5 mm como alimento completo, a partir de los 80 gramos de peso vivo hasta los 150 gramos; y Sollá Mojarra 32 - 4,5 mm para peces desde los 150 gramos de peso vivo, hasta los 250 gramos de peso vivo.

Fase crecimiento	Levante	
Producto	Mojarra 32%	Mojarra 32%
Tamaño de pellet	3.5mm	4.5 mm
Peso vivo Recomendado (g)	80-150	150-250
Raciones/día	6	4

- **24% para reproductores y adultos.**

Composición garantizado

Proteína mínima	24.0%
Grasa mínima	2.5%
Fibra máxima	7.0%
Cenizas máxima	12.0%
Humedad máxima	13.0%
Registro ICA 11686 AL	



Dosificación

Solla Mojarras 24 está destinado a la alimentación de Mojarras (tilapias) y peces de aguas cálidas en general, durante el período de Solla Mojarras 24 en peces de 250 gramos de peso en adelante.

Fase crecimiento	Ceba
Producto	Mojarras 24%
Tamaño de pellet	6.5 mm
Peso vivo Recomendado (g)	250-cosecha
Raciones/día	3

- Se realiza alimentación de 2 veces a día en reproductores y adultos con un porcentaje del 7% del a biomasa.
- Los peces raya son alimentados en las primera etapas con lombrices de tierra (*Lumbricus terrestris*) y en etapas adultas con peces pequeños de las diferentes especies.

Plan sanitario

- Plan mensual desparasitación para rayas motoro.
- Lavado de estanques anual.
- Desinfección de piletas cada 3 meses con cloro comercial.
- Desparasitación cada 2 meses para reproductores y animales en producción con pamoato de pirantec.
- Prevención constante por medio de las prácticas anteriormente nombradas.
- Revisión constante de parámetros físicos en animales.



7.2 Modelo acuapónico utilizado

El sistema utilizado para este prototipo fue un sistema híbrido entre el sistema NFT (técnica de solución nutritiva recirculante) y el sistema de raíces flotantes, el cual consistió en crear un nivel de agua constante en el interior de los tubos de PVC, pero dejando un sistema de rebose por el cual el agua fluiría constantemente.

7.3 Especie de organismo acuático

La especie utilizada para la investigación fue la cachama blanca o *Piaractus brachypomus*. La cachama blanca, es considerada como la especie con mayor productividad en la piscicultura de aguas cálidas; gracias a que es altamente resistente al manejo (cultivo en cautiverio). Por su docilidad y rusticidad; presentan una alta resistencia a las enfermedades y un manejo muy sencillo (Hernández, 1994). Gracias a Su fácil adaptación a condiciones limnológicas desfavorables por períodos de tiempo no prolongados permite su fácil transporte y manejo sanitario (Mesa-Granda M1, Botero-Aguirre M2, 2002).

Su mayor población se encuentra en las cuencas del río Orinoco y Amazonas y afluentes que corresponden a los países de Colombia, Brasil, Venezuela y Perú originarias de las cuencas de los (Orozco, 1990). Esta especie ha demostrado sus ventajas zootécnicas en cuanto a buena conversión alimenticia, su dieta en libertad es de carácter omnívoro por lo que su alimentación se facilita al momento de llevarla al cautiverio (Vázquez-Torres, 2004)

7.4 Diseño del sistema acuapónico

Para realizar el diseño del sistema acuapónico, se utilizó un programa de modelamiento en 3D, SketchUp en su versión 2018, en el cual se generó una idea de la instalación del sistema.

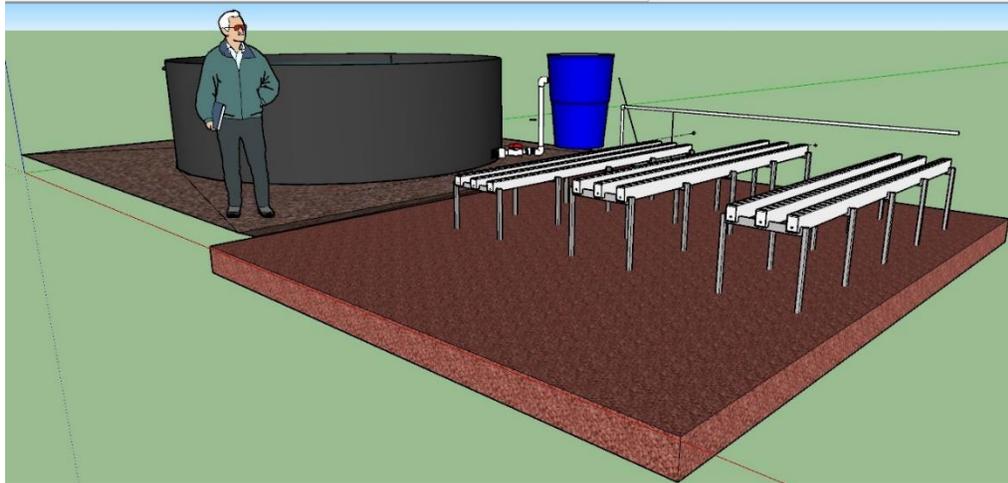


Grafico N° 10. Boceto idea del sistema. Fuente personal.

7.5 ADECUACIÓN DEL TERRENO PARA INVESTIGACIÓN

El primer paso para iniciar con la implementación del proyecto, fue la adecuación del terreno, donde se adecuó una zona para la instalación de la tubería y filtros para el funcionamiento del sistema acuapónico. Este proceso tomo 4 días, el sitio que fue adecuado culminó con una medias de 4 mts x 5 mts, para un total de 20mts².



Grafico N° 11. Imágenes proceso de adecuacion del terreno. Fuente personal.

7.6 ADECUACIÓN DE ORGANISMOS ACUÁTICOS

Para la realización de la prueba piloto se utilizaron 200 peces de la especie *Piaractus brachypomus* o conocida como cachama blanca con un peso promedio de 100 gr. Estas se mantuvieron en un tanque construido en geomenbrana con una base cónica y con una capacidad para 9000 litros. Este tanque cuenta con un sistema de aireación conectado a un blower que suministra aire las 24 horas de día.

Los animales fueron alimentados 3 veces al día con raciones de 370 gr de concentrado mojarras de la empresa Itacol al 24% de proteína.



Grafico N° 12. Taque de prueba y adaptación de organismos acuáticos. Fuente personal.

7.7 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ACUPÓNICO

Para la construcción del sistema acuapónico se utilizó un tanque de 500 L el cual fue adaptado para cumplir la función de sedimentador. Este contó con una tubería de 6" en el centro del tanque por donde ingresaba el agua extraída del tanque de peces, la cual llega al fondo del recipiente y ayuda a la sedimentación de los mismos.



Grafico N° 13.Funcionamiento de sedimentador. Fuente personal.

Adicionalmente se instaló un filtro realizado con guata, grava y residuos reciclables plásticos, para eliminar las partículas más finas de sólidos y servir como anclaje a las bacterias nitrificantes encargadas de transformar el amonio a nitritos y posteriormente a nitratos, esto antes de ingresar el agua al sistema acuapónico.



Grafico N° 14. Componentes filtro de partículas finas. Fuente personal.

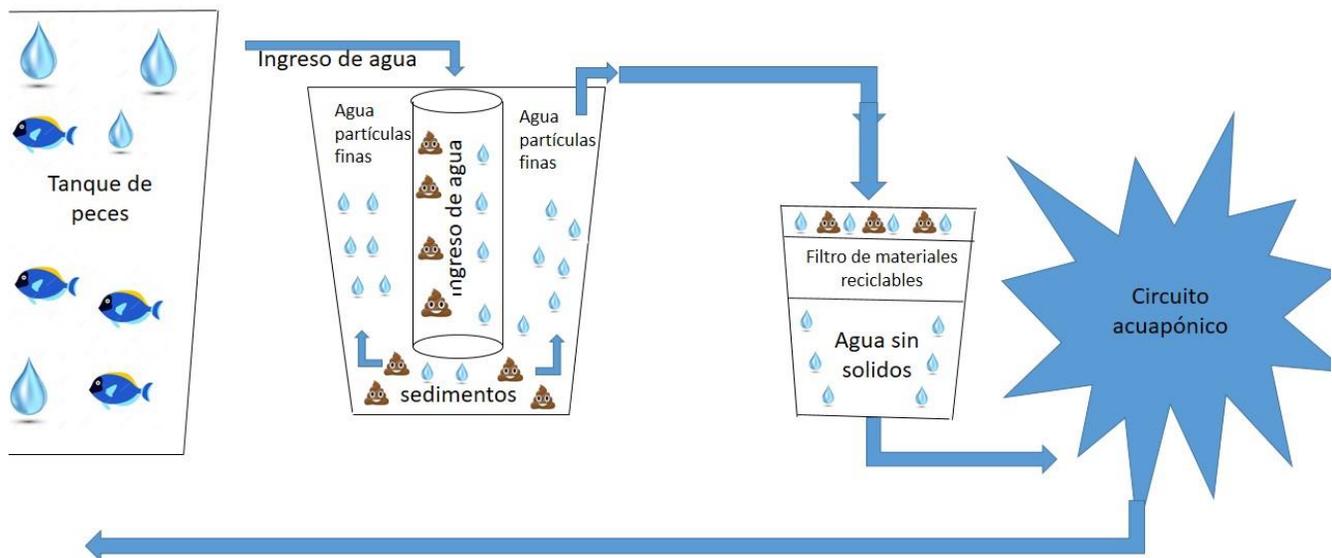


Grafico N° 15. Flujo de agua por el sistema acuapónico. Fuente personal.

La construcción del circuito acuapónico se tardó 10 días (1 y 10 de octubre del 2018). Se inició con el armado de las bases de soporte para la tubería que cuentan con 80 cm de altura y un base de 58 cm de ancho donde van ubicadas las tuberías. Posteriormente, se realizó la apertura de los agujeros en la tubería los cuales cuentan con un diámetro de 2" y una distribución de 15 cm entre plantas.



Grafico N° 16. Construcción de soportes y tuberías. Fuente personal.

Luego se continuó con el posicionamiento de las tuberías en sus respectivas bases para empezar a realizar todas las conexiones necesarias para la circulación de agua.



Grafico N° 17. Construcción de soportes y tuberías. Fuente personal.

La primera conexión que se realizó fue al biofiltro donde se encuentran las bacterias nitrificantes, la conexión realizada a este filtro fue de 1" y posteriormente se reduce a ½ " de diámetro para el ingreso de agua a las tuberías.



Grafico N° 18. Conexión al biofiltro y reducción para conexión a tuberías. Fuente personal.

Para la recolección de agua al momento de salida del sistema, se utilizó un recipiente de 22 galones. Dentro del mismo, se encontraba una bomba sumergible modelo HBQ-2500, altura máxima de 2,8 m y un caudal de 2500 L/ H encargada de realizar el retorno del agua al estanque de peces.



Grafico N° 19. Bomba y depósito de agua. Fuente persona.

Durante el primer mes de la instancian del sistema, se llevó a cabo una prueba de establecimiento donde se utilizaron plantas traídas del semillero de la universidad Jorge Tadeo Lozano ubicado en la ciudad de Bogotá. Estas fueron distribuidas en las tuberías de las cuales contaban con un diámetro de 3" y una capacidad de 19 plantas/tubo, para un total de 171 plantas. Cada planta tuvo una distancia de siembra de 15 centímetros, en total se utilizaron 9 tubos y si distribuyeron las plantas en 3 secciones:

- sección 1: lechuga crespa verde (*lactuca sativa*) 57 plantas
- sección 2: cilantro de castilla (*Coriandrum sativum*) 57 plantas
- sección 3: cebolla junca (*Allium fistulosum*) 57 plantas

La siembra de las plántulas se realizó de manera manual, depositándolas en sus respectivos recipientes con el sustrato (grava, esponja y mechas de coco). Para la ubicación de las plantas en el sistema se usaron vasos de plástico sin base para colocar las plántulas con las raíces en contacto con el agua.



Grafico N° 20. Preparación y siembra de plantas. Fuente personal.

Posteriormente se realizó una prueba de adaptabilidad donde se utilizaron 10 variedades de lechuga, 2 variedades de pimentón y 1 de tomate. Estas fueron sembradas el día 28 de noviembre de 2018 y se culminó la toma de datos el día 23 de diciembre de 2018.

Lechuga: Crespa verde, Crespa morada, Lisa verde, Crespa morada Anthony, Romana verde, Cogollo rojo, Batabia y Hoja de roble roja.

Pimentón: rojo y amarillo.

Tomate: Chonto.

7.8 MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos se realizará diariamente midiendo parámetros como pH con un pHmetro de la marca APERA INSTRUMENT modelo PH60F el cual cuenta con un margen de error de ± 3 , oxígeno disuelto y temperatura medidos con un oxímetro **AZ8403 Handheld DO Meter**, y periódicamente se realizó la toma de parámetros más amplia, midiendo parámetros como nitritos y amonio por medio de las pruebas freshwater master test kit de la empresa API para determinar así la adsorción de componentes nitrogenados por parte del sistema acuapónico. Durante la etapa de establecimiento se realizó una prueba con el equipo hach dr-900, el cual generó datos más exactos sobre la adsorción de los componente nitrogenados en el agua por parte de las distintas variedades de plantas.

La biometría de las plántulas se realizó cada 10 días, registrando el crecimiento foliar y radicular de las mismas usando una cinta métrica.

8. RESULTADOS

8.1 PRUEBA DE ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA

Los resultados obtenidos durante esta etapa de la práctica profesional fueron desfavorables, debido a que los microorganismos necesarios para una correcta transformación no se encontraban establecidos, Esto se ve expresado en los datos recolectados, donde se logra evidenciar una variación considerable de los parámetros químicos suministrados por el flujo de agua retornante de la acuaponía.

Esto se puede evidenciar en la siguiente gráfica:

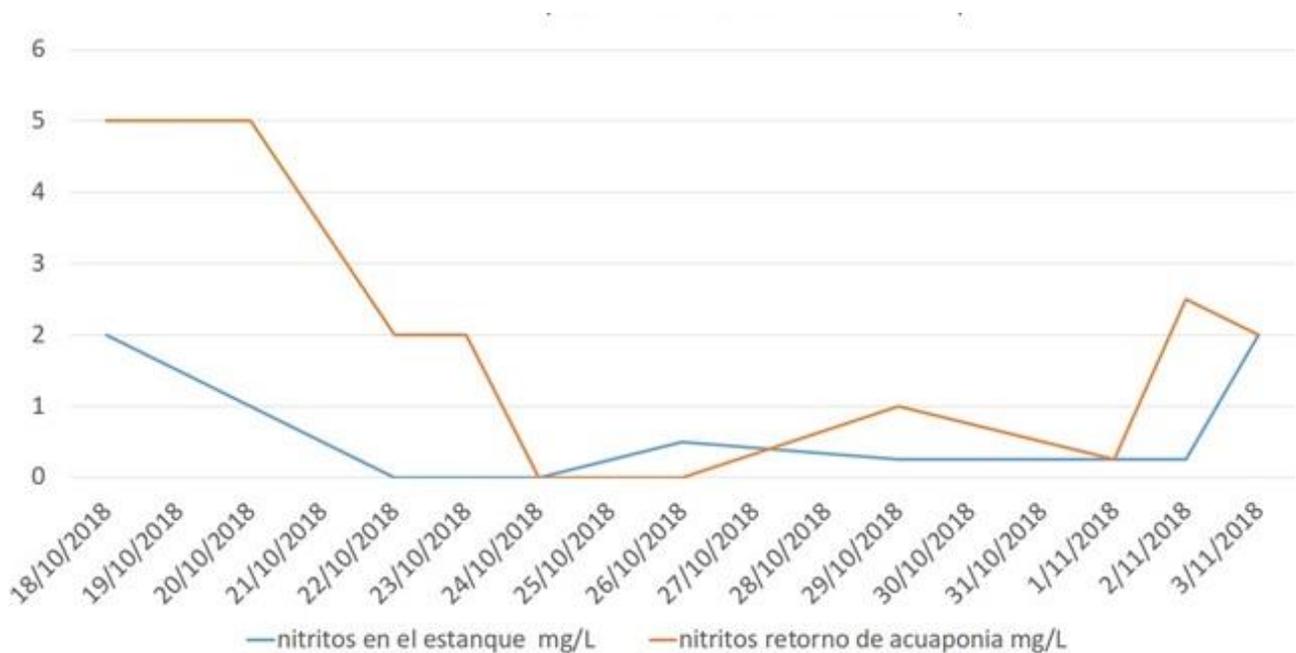


Gráfico N°21. Comportamiento de nitritos prueba de establecimiento. Fuente personal.



Gráfico N°22. Comportamiento de amonio prueba de adaptabilidad. Fuente personal.

El sistema acuapónico logró su correcto funcionamiento al día 42 de establecimiento, obteniendo una reducción de amonio del 0,50 mg/L, nitritos del 0,25 mg/L y nitratos de 0,50 mg/L. Esto se puede evidenciar por medio de pruebas colorimétricas realizada con el equipo API.

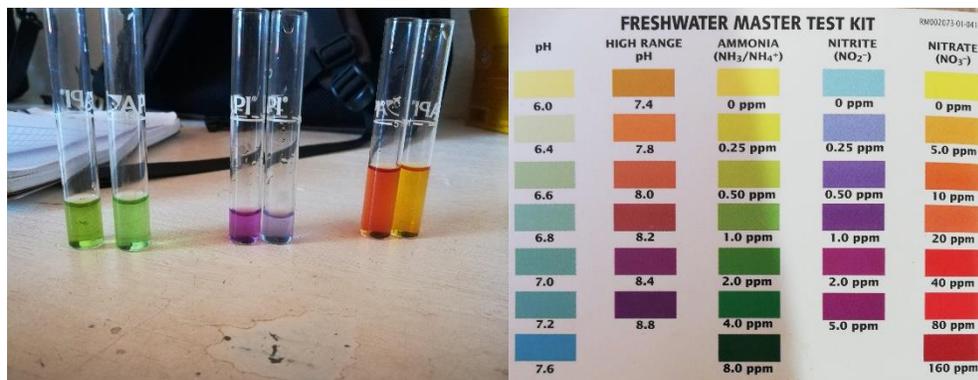


Gráfico N°23. Resultados colorimétricos parámetros químicos acuaponía. Fuente personal.

Datos suministrados por el EQUIPO HACH DR-900

Los datos suministrados por el equipo HACH DR-900 brindó rangos de adsorción más precisos por parte de las diferentes variedades de plantas. En la tabla N°1 se evidencia que las plantas con mayor adsorción de compuestos nitrogenados son las de cebolla junca con un total de 0,65 mg/L cada 8 horas.

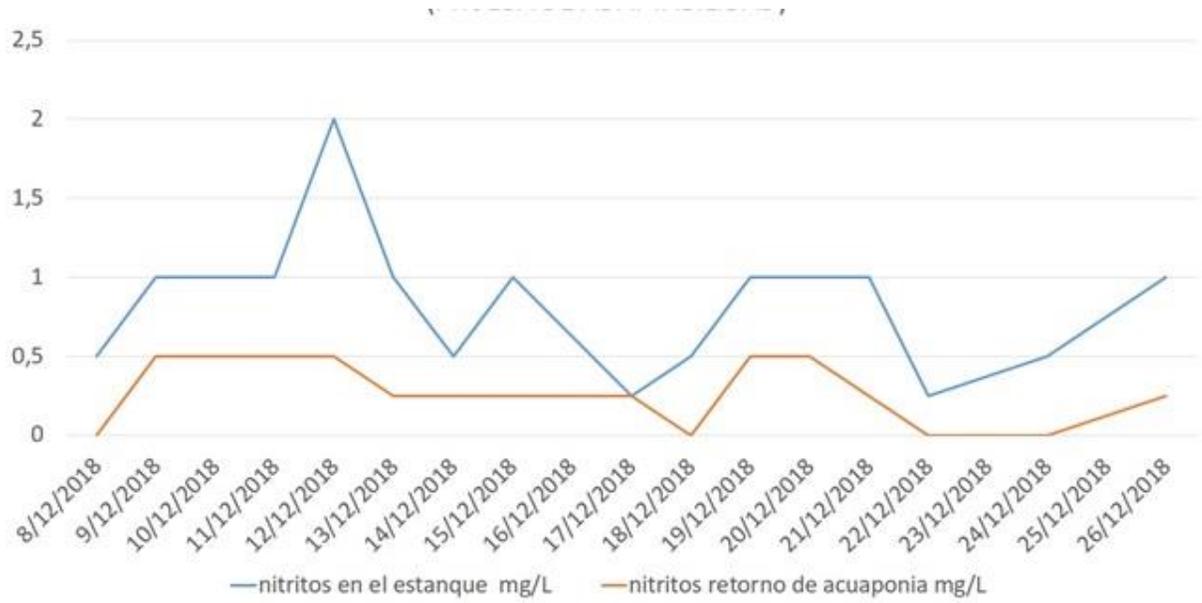
Tabla N° 4. Datos suministrados por el equipo HACH DR-900. Fuente personal.

tiempo de adsorción	0 h	4 h	8 h	mg de compuestos nitrogenados aprovechados
LECHUGA	0,97 mg/L	0,62 mg/L	0,40 mg/L	0,57 mg/L
CILANTRO	0,875 mg/L	0,56 mg/L	0,28 mg/L	0,60 mg/L
CEBOLLA	0,855 mg/L	0,53 mg/L	0,21 mg/L	0,65 mg/L
			total adsorción por parte del sistema	1,81 mg/L

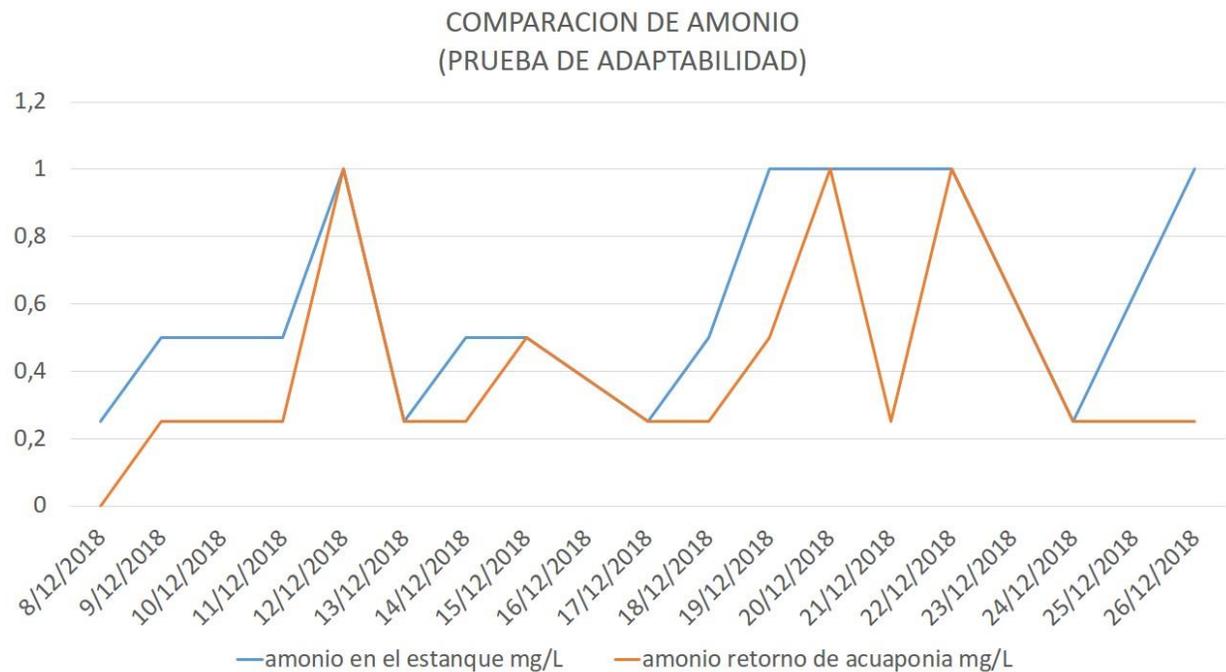
8.2 Prueba de adaptabilidad

Comportamiento del sistema acuapónico

Durante la prueba de adaptabilidad de plantas se realizó la recolección de datos de parámetros químicos, donde se corroboró el correcto funcionamiento del sistema acuapónico obteniendo una reducción de compuestos nitrogenados alcanzando una reducción promedio de 0,50 Mg/L/día en nitritos y la transformación de amonio de 1 mg/L/día. Esto se ve reflejado en las siguientes graficas:



Grafica Nº 24. Comportamiento de nitritos prueba de adaptabilidad. . Fuente personal.



Grafica Nº 25. Comportamiento de amonio prueba de adaptabilidad. Fuente personal.

Durante la prueba de adaptabilidad se realizó el seguimiento de las de las plantas donde se logra observar que la variedad de lechuga más adaptable y de mejor rendimiento fue la lechuga crespa verde a diferencia de la variedad morada fabóla, de la cual murieron un 90% de los individuos.

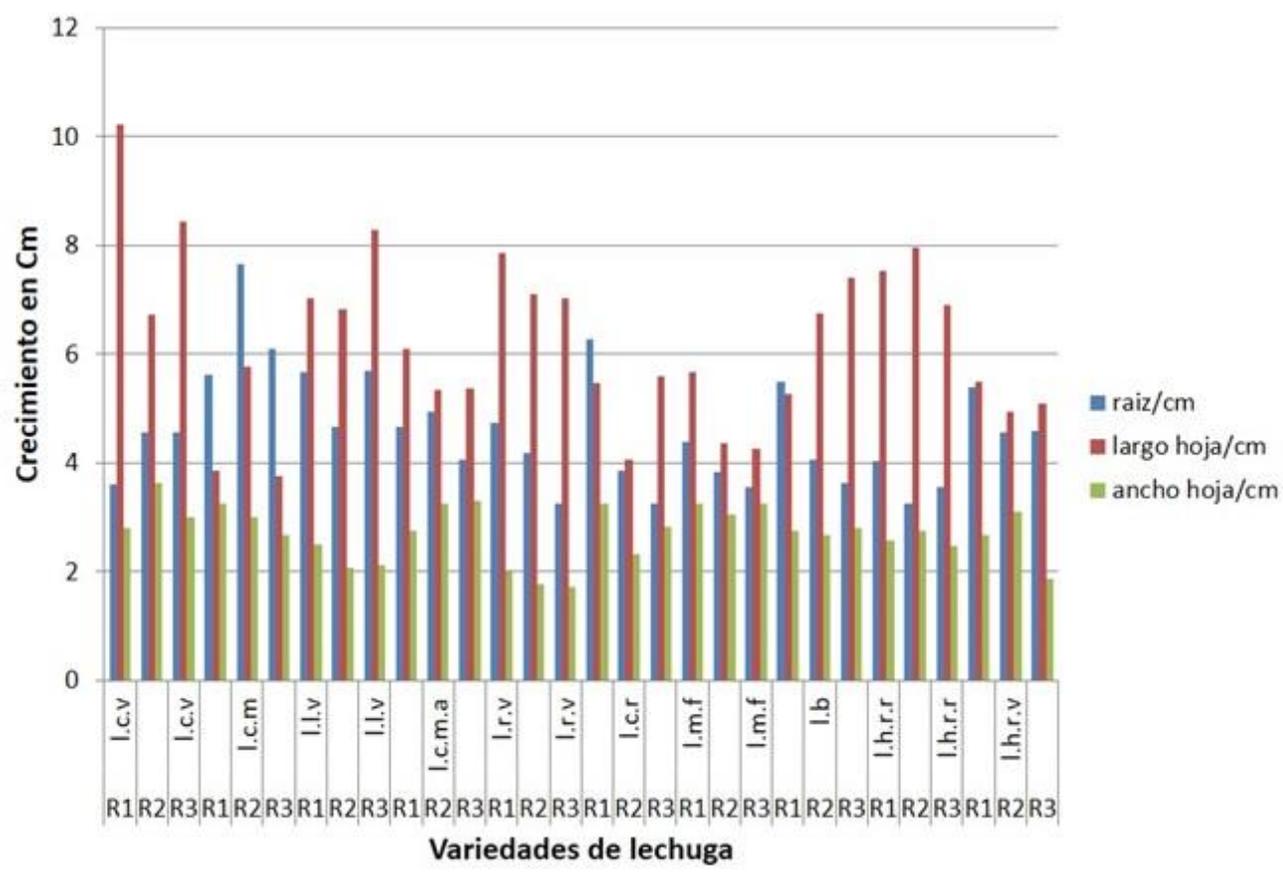


Grafico N° 26. Comportamiento variedades de lechuga muestra N°1. 03 de diciembre. Fuente personal.

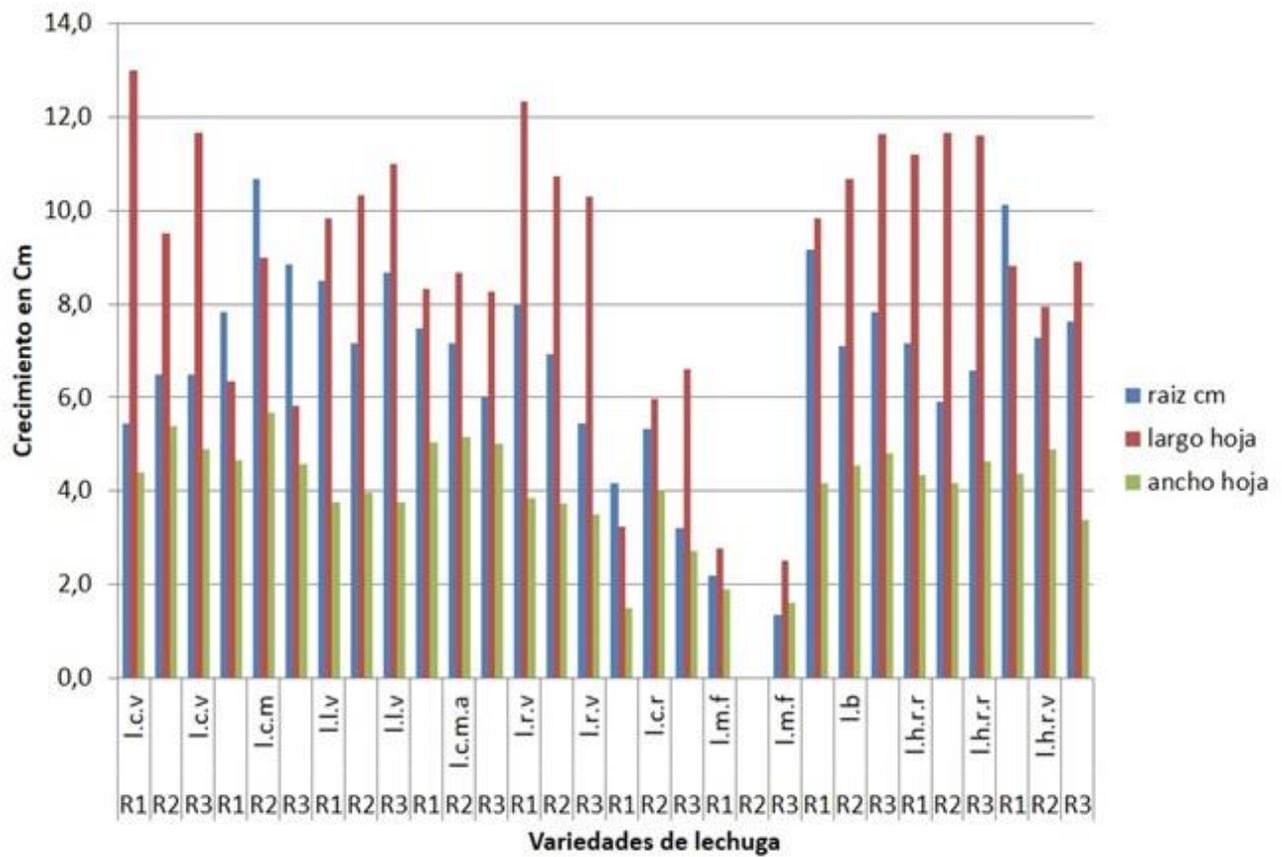


Grafico N° 27. Comportamiento variedades de lechuga muestra N°.2 13 de diciembre. Fuente personal.

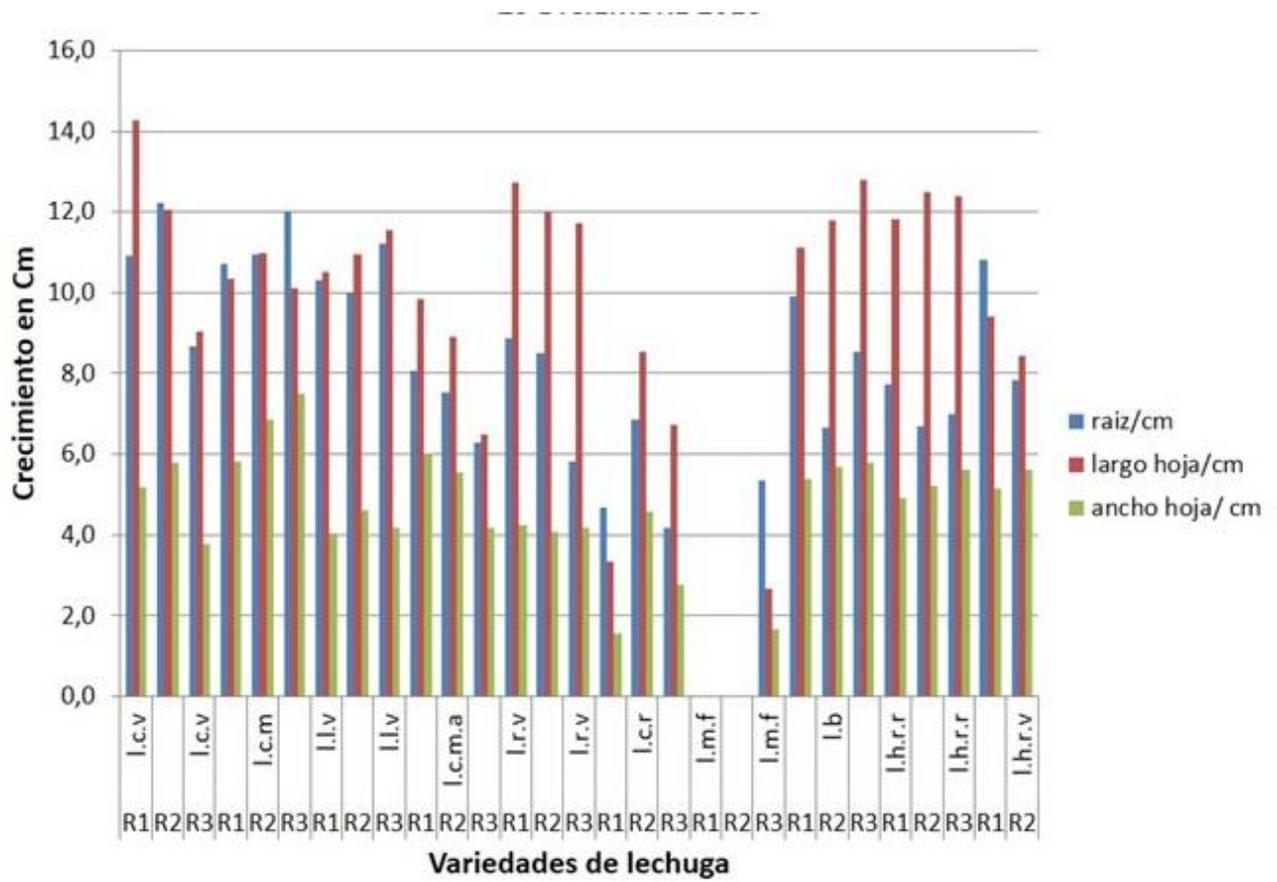


Gráfico N° 28. Comportamiento variedades de lechuga muestra N°2. 23 de diciembre. Fuente personal.

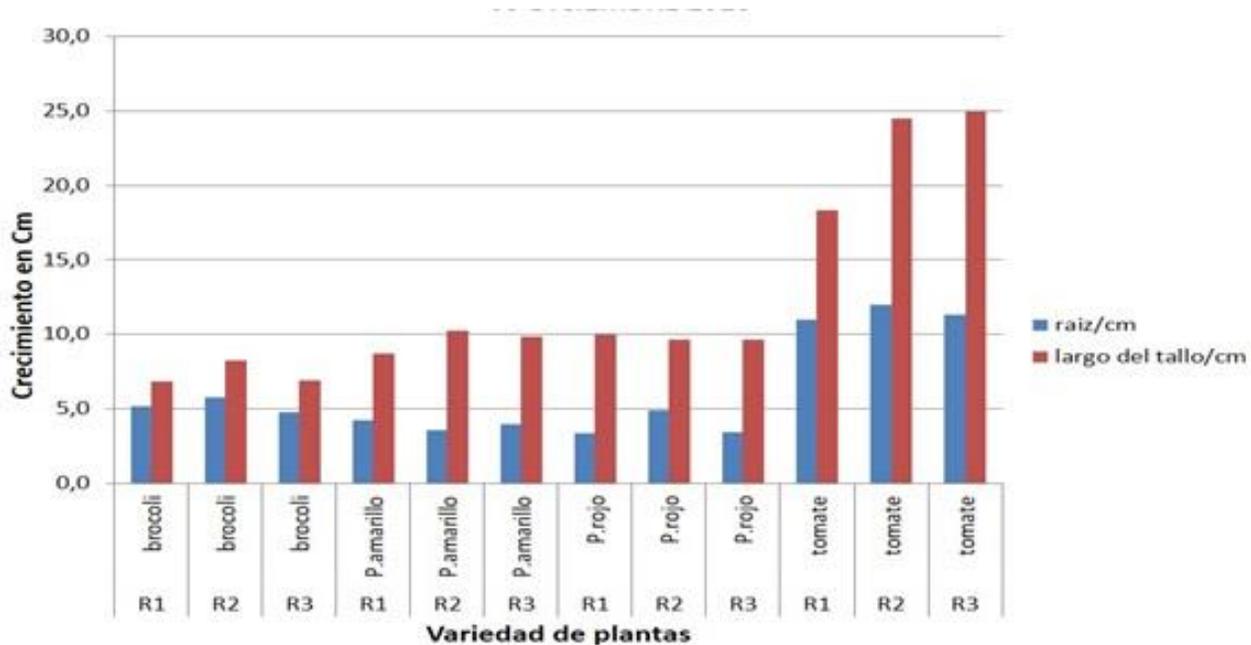


Grafico N° 29. Comportamiento variedades de lechuga muestra N°1. 03 de diciembre. Fuente personal.

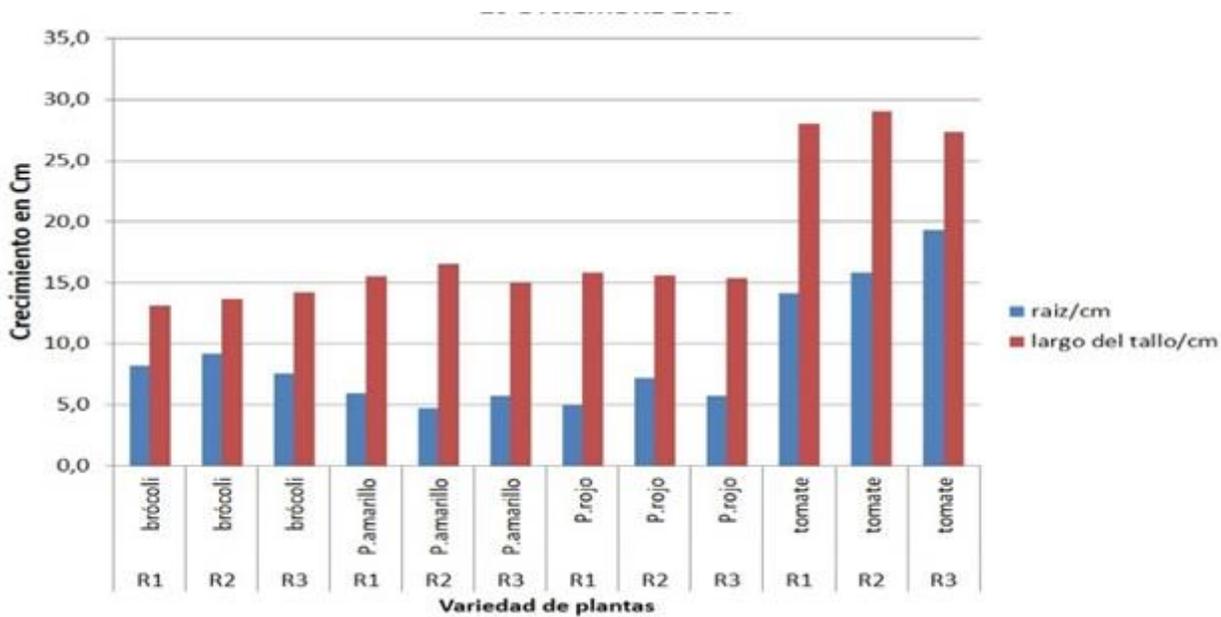


Grafico N° 30. Comportamiento variedades de lechuga muestra N°2. 13 de diciembre. Fuente personal.

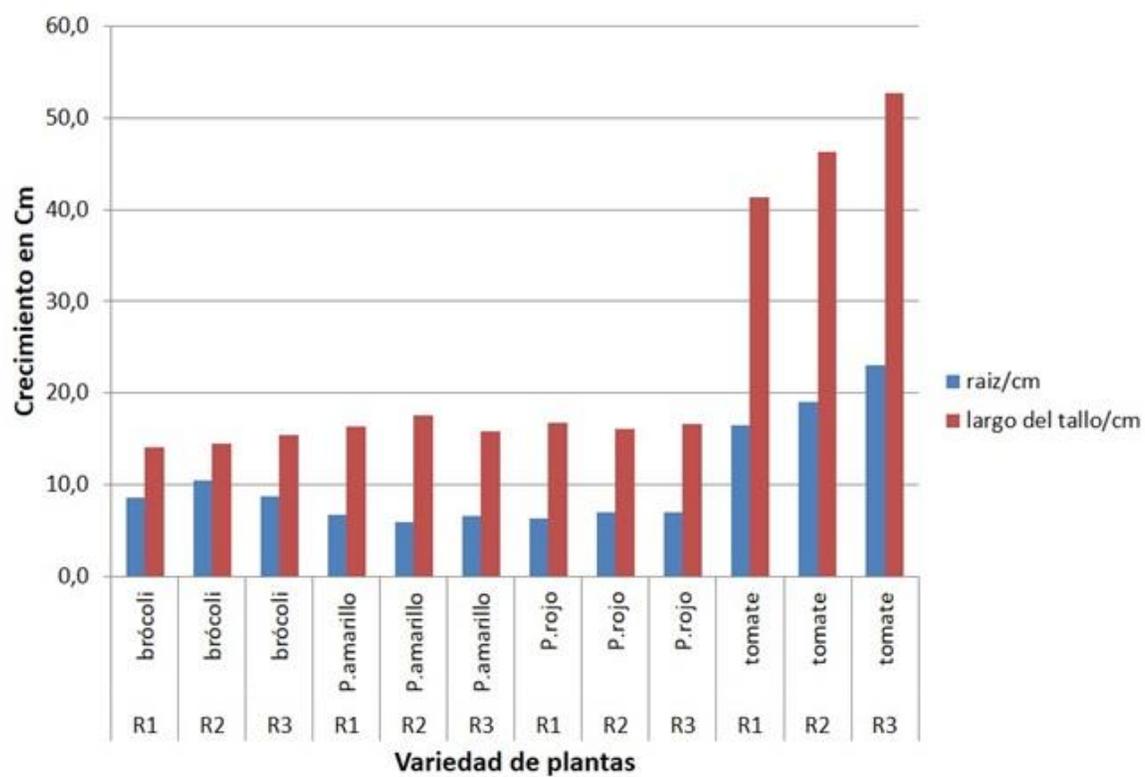


Grafico N°31. Comportamiento variedades de lechuga muestra N°3. 13 de diciembre. Fuente personal.

8.3 COSTOS PARCIAL DEL SISTEMA ACUPONICO

Tabla N° 5.Costos de infraestructura. Fuente personal.



Cantidad	Articulo	C/U	Costo total
3	Recipiente de 55 galones	\$ 90.000	\$ 270.000
3	Tubos de pvc de 1"	\$ 13.000	\$ 39.000
1,5	Tubo estructural de 10*10	\$ 36.000	\$ 54.000
2	Angulos de 3*3	\$ 18.000	\$ 36.000
1	Bomba sumergible	\$ 120.000	\$ 120.000
1	Tubo de media	\$ 6.500	\$ 6.500
6	LLave de paso pvc 1/2	\$ 3.000	\$ 18.000
20	Maguera de media	\$ 2.000	\$ 40.000
4	Manguera azul	\$ 800	\$ 3.200
1	Recipiente de agua por 120 litros	\$ 36.000	\$ 36.000
1	union de 1"	\$ 1.000	\$ 1.000
1	flanche de 1"	\$ 1.000	\$ 1.000
8	Codos de ½	\$ 300	\$ 2.400
4	T de ½	\$ 500	\$ 2.000
4	T de 1"	\$ 1.500	\$ 6.000
8	Codos de 1"	\$ 1.000	\$ 8.000
5	Tubos de 3"	\$ 25.000	\$ 125.000
		Subtotal	\$ 622.161
		% Iva	\$ 145.939
		Total	\$ 768.100,00

Los costos mostrados en esta tabla sirven de base para el futuro desarrollo de cultivos acuapónicos a mayor escala, planteando un punto de partida para todo tipo de productores.

9. CONCLUSIONES

Según el análisis de los resultados obtenidos en el presente trabajo de pasantía profesional, se puede concluir lo siguiente:

- El sistema acuapónico es una alternativa para el desarrollo de producción en conjunto de la piscicultura y la agricultura de manera simbiótica, donde se obtienen beneficios. La piscicultura utiliza el recurso hídrico para el desarrollo de una especie acuática. La acuaponía utiliza dicho recurso hídrico para la producción vegetal, beneficiándose de la carga de materia orgánica y mejorando las calidades del agua.
- Es un sistema de producción óptimo y ambientalmente amigable, que brinda alternativas productivas a todos los productores, y genera un valor agregados a sus productos por medio de la producción orgánica.
- La acuaponía funciona de manera efectiva en la reducción de sólidos y compuestos nitrogenados en el agua generados por la producción piscícola, disminuyendo de esta manera el impacto ambiental generado por la misma.
- La acuaponía es una estrategia de soberanía alimentaria a futuro, ya que por medio de la misma se logra generar alimentos de origen vegetal en zonas donde los volúmenes de agua son escasos y sus territorios productivos sean nulos.

10.RECOMENDACIONES

- Disminuir la diversidad de especies acuáticas manejadas en la Fundación Orinoquía ya que peces que no tienen un fin productivo, generando gasto adicional a la fundación.
- Dar a la materia orgánica producto del metabolismo de las especies acuáticas un destino final adecuado, de manera que se aproveche y se disminuya el impacto medioambiental generado.
- Ofrecer capacitación al capital humano de la Fundación Orinoquía con el fin de contar con personal idóneo con formación en el área de funcionamiento de la fundación.
- Proyectar a futuro la ampliación de la Fundación Orinoquía en área ya que esto permitirá el desarrollo de nuevos espacios de investigación, aportando nuevos conocimientos y tecnología a la población de Puerto Carreño, Vichada.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Edinson W. Moreno Simón y Alina Zafra Trelles. 2014. Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia
Aquaponic system growth of lettuce, *Lactuca sativa*, with tilapia farming effluents.
- INTAGRI. 2017. Acuaponia para la Producción de Plantas y Peces. Serie Horticultura Protegida Núm. 32. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 6 p.
- Pablo Candarle. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Dirección de acuicultura. 2013. Técnicas de Acuaponía.
- Louise O. Fresco. 2003. Los fertilizantes y el futuro.
- FAO e IFA. 2002. los fertilizantes y su uso.
- Edgar Andrés González Legarda. 2017. Impacto ambiental de la acuicultura intensiva en los componentes agua y sedimento en el lago guamuez, NARIÑO, Universidad Nacional de Colombia.
- María Claudia Merino. Dirección Técnica de Administración y Fomento AUTORIDAD NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA – AUNAP. 2018. ACUICULTURA EN COLOMBIA
- IGAC. 2016. Vichada, un territorio apto para cultivos y ganado pero con restricciones y grandes inversiones.
- Joaquín Álvarez Liévano y Hernando Suarez Fajardo. 1965. contribución al estudio de la geografía de los suelos de Colombia, triangulo: casuarito- puerto Carreño- San Rafael de murillo.
- Sally Jazmín Castellanos Quintero. 2018. Comparación del efecto de la fertilización con lombrihumus y lixiviado sobre el desarrollo y crecimiento vegetal del cultivo de avena forrajera (*Avena sativa* l) variedad Cayuse en el municipio de Pamplonita.
- DANE. Bolentin Censo General. 2005.
- FAO. 2014. small-scale aquaponic food production integrated fish and plant farming.

- Luis Felipe Hernández Zambrano. 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*), Universidad Nacional de Colombia.
- Tom Duncan. 2012. Floating reedbeds biofilter performance in urban stormwater treatment wetlands, Stormwater Australia 2012 National Conference Paper.
- Sheila Guadalupe Rubio Cabrera. 2012. Análisis técnico de producción de tilapia *Oreochromis niloticus* y lechuga acrópolis *Lactuca sativa* en acuaponía
- Facultad de ingeniería y administración. 2018. Con acuaponía mejoran gasto de agua en producción de hortalizas y peces
- Mario Esteban Muñoz Gutiérrez. 2012. Sistemas de recirculación acuapónicos
- AUNAP. NOTIAUNAP. HIDROPONÍA Y ACUICULTURA PUEDEN IR DE LA MANO, Bogotá D.C., Diciembre 2 /2015 Edición No.179
- FAO. 2002. Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030.
- Francisco Miguel Rueda González. BREVE HISTORIA DE UNA GRAN DESCONOCIDA: LA ACUICULTURA, REVISTA EUBACTERIA (NOVIEMBRE 2011) NO 26.
- Yinet Andrea Parrado Sanabria. Historia de la Acuicultura en Colombia, Revista AquaTIC, nº 37 – 2012.
- Ahmad, R. S. H. FAO. Documento técnico de Pesca N° 407. Roma, FAO. 2003. 159 pp. Práctica de integración forraje-peces en Malasia, pp 33.
- Yang, H. ; Fang, Y.; Chen, Z. FAO. Documento técnico de Pesca N° 407. Roma,cFAO. 2003. 159p. Sistemas integrados de cultivo de peces en pastizales en China, pp 21.
- Matus, H. S.; Linares, J. S. M.; Domínguez, A. O.; Gaspar, G. O.; Lule, R. A. M.(2009). Acuaponía, plantas y peces libres de químicos.

- Lewis, W.M, Yopp, J.H, Schramm, H.L, Brandenburg, A.M. 1978. Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. Transactions of the American Fisheries Society 107:92–99.
- Edinson W. Moreno Simón y Alina Zafra Trelles, 2014, Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, Lactuca sativa, con efluentes de cultivo de tilapia
Aquaponic system growth of lettuce, Lactuca sativa, with tilapia farming effluents.
- T.A. ANA GIRÓ PETERSEN, 2008, Evaluación del rendimiento de lechuga (Lactuca sativa L.) cultivada en un sistema acuapónico, realizado en la Empresa Agrícola Santa AgustinaXolhuitz, Nuevo San Carlos, Retalhuleu
- Gary E. Miller,2017,Sistemas RAS : Filtración Biológica en Acuicultura
- Katie Adema, 2013, Filtración de partículas finas en la acuicultura.
- Pilar García-Serrano Jiménez y Juan José Lucena Marotta,2009,GUÍA PRÁCTICA DE LA FERTILIZACIÓN RACIONAL DE LOS CULTIVOS EN ESPAÑA
- Indoor.2012.Ventajas y Desventajas del Sistema Acuapónico.
- Fundación Neotrópico, 2012, VENTAJAS DE LA ACUAPONÍA.
- Axayacalt, O. 2014. Desventajas de la hidroponía (en línea). Disponible en <<http://www.horticulturaefectiva.net/2011/06/desventajas-de-la-hidroponia.html>> [Consultado en junio de 2018].

12. ANEXOS



Medición de parámetros y crecimiento de plantas de tomate.



Sistema de producción acuapónico.



Producción de lechuga prueba de establecimiento.



Camas de grava del sistema acuapónico.