

**DISEÑO DE UN SISTEMA ACUAPONICO AUTÓNOMO EN ENERGÍA PARA
RECIRCULACIÓN Y USO EFICIENTE DE AGUA**

JUAN FELIPE HERNÁNDEZ GAEZ



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL
AMBIENTE
EDIENAR
PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERÍA AGRICOLA
CALI, 2018
DISEÑO DE UN SISTEMA ACUAPONICO AUTÓNOMO EN ENERGÍA PARA
RECIRCULACIÓN Y USO EFICIENTE DE AGUA**

JUAN FELIPE HERNÁNDEZ GAEZ
Trabajo de grado presentado para obtener el título de:
Ingeniería Agrícola

Director
CARLOS RAFAEL PINEDO JARAMILLO MSC
Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Universidad del Valle

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CALI, 2018

Nota de aceptación

Martin Alonso Moreno Santander M.Sc
Docente de la Universidad del Valle
Ingeniero Agrícola

Jhon Jairo Valencia Montenegro PhD
Docente de la Universidad del Valle
Ingeniero Agrícola

Dedicatoria

Dedicado a Dios y a la Virgen de Fátima, quienes, con su infinito amor y bondad, siempre me guiaron y me acompañaron para terminar satisfactoriamente este proyecto.

Dedicado especialmente a Rosario y Jesús Alfonso, mis padres; por su amor y apoyo incondicional, por su ejemplo de vida con el cual me enseñaron que todo lo que se hace con amor y sacrificio vale la pena.

Dedicado a una mujer audaz e inteligente que creyó en mí, demostrando que en momentos difíciles es donde más se lucha, mi gran amor Irene Marín Cruz.

Agradecimientos

A Dios y a la Virgen, por brindarme la oportunidad de lograr este objetivo personal y por darme la sabiduría y entendimiento para lograr esta meta.

Agradezco a mi familia por darme su amor, apoyo, confianza, protección y consuelo en los buenos y malos momentos.

A la Universidad del Valle, por darme la oportunidad de formarme como profesional.

A Carlos Pinedo director del trabajo de grado, por su comprensión y apoyo dentro del proceso de desarrollo de mi tesis.

A todos y cada uno de los que estuvieron presentes de una u otra forma en el desarrollo de este trabajo.

“Los llevo en mi corazón” ...

Tabla de Contenidos

INTRODUCCION.....	1
1.1. Justificación	2
1.2. Objetivos	3
1.3. Antecedentes	3
CAPITULO II	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Sistemas de recirculación	7
2.2. Taxonomía y Genética.....	8
2.3. Filtros Biológicos.....	9
2.4. Energía solar	9
2.5. Acuaponía.....	11
2.6. Hidroponía	11
2.7. Efecto Venturi.....	12
CAPITULO III.....	14
METODOLOGÍA	14
3.1. Localización.....	15
3.2. Selección y clasificación de la información sobre el sistema acuapónico.....	15
3.2.1. Identificación de variables en sistema acuapónico	16
3.3. Interpretación de análisis	18
CAPITULO IV	19
RESULTADOS.....	19
4.1. Selección biológica para conformar el sistema acuapónico.....	19
4.2. Características del módulo y tamaño de escala.....	29
CAPITULO V.....	49
CONCLUSIONES.....	49
BIBLIOGRAFÍA.....	52

Lista de Tablas

<i>Tabla 1.</i> Comparación de requerimientos biológicos (Saavedra, 2006).	20
<i>Tabla 2.</i> Condiciones recomendables para un manejo óptimo de un sistema acuapónico.	26
<i>Tabla 3.</i> Condiciones de riego.	28
<i>Tabla 4.</i> Dimensiones del estanque y cantidad de área/volumen.	29
<i>Tabla 5.</i> Características de la tubería hidropónica del cultivo.	32
<i>Tabla 6.</i> Consumo diario sistema de riego módulo acuapónico.	40
<i>Tabla 7.</i> Especificaciones de variables para cálculo de sistema fotovoltaico.	41
<i>Tabla 8.</i> Costo total de proyecto e inicio de proyecto cuatrimestral.	48
<i>Tabla 9.</i> Ingreso cuatrimestral y mantenimiento.	48

Lista de Imágenes

<i>Imagen 1.</i> Tubo Venturi (Ordóñez Arias José Alberto, 2005).	13
<i>Imagen 2.</i> Condiciones iniciales del estanque.	26
<i>Imagen 3.</i> Llenado del estanque para adaptación.....	33
<i>Imagen 4.</i> Diseño de Bio-filtro para estanque.	35
<i>Imagen 5.</i> Tubería sanitaria con perforaciones para ubicación del cultivo hidropónico.	36
<i>Imagen 6.</i> Diseño frontal del desarrollo radicular y obtención de nutrientes por planta.	37
<i>Imagen 7.</i> Detalle de material de soporte como estructura.	37
<i>Imagen 8.</i> Sistema hidropónico con pendientes de flujo.	38
<i>Imagen 9.</i> Diseño isométrico del sistema acuapónico.	39
<i>Imagen 10.</i> Diseño frontal del sistema detallado.	40
<i>Imagen 11.</i> Especificaciones de tipo de panel.....	41

Resumen

El principal objetivo de este trabajo, ha sido construir un sistema acuapónico modular autónomo que es alimentado por una estructura fotovoltaica, el cual se desarrolló separando los componentes de este modelo semicerrado como son : la acuicultura, tipo de filtro, hidroponía y esquema fotovoltaico, como herramientas de aplicación que ayudaron a identificar los requisitos biológicos, de automatización y mantenimiento, que nos garantizara el sostenimiento del ciclo de vida de los cultivos. Entre los resultados encontrados se mencionan los más relevante de acuerdo al estudio realizado, como son : los requisitos biológicos, fitosanitarios, de automatización y mantenimiento necesarios para mantener el ciclo de vida, el cual nos da un producto de 187 tilapias rojas (450 gr -500 gr) y 150 unidades de lechuga (550-600gr), para su comercialización de buena calidad , respecto al modelo fotovoltaico se plantea un medio alternativo para garantizar la sostenibilidad del producto durante su desarrollo, ante la variabilidad de energía que se encuentra en el campo siendo autónomo y dejando una estabilidad a largo plazo al sector productor

CAPITULO I

INTRODUCCION

Ante las consecuencias, producto del abuso sobre los recursos hídricos, la degradación del suelo y el crecimiento de la población humana, se han desarrollado alternativas para el aseguramiento alimentario, entre las cuales se presenta la metodología tecnológica denominada acuaponía, una idea que se ha ido consolidando y haciendo cada vez más eficiente, la cual tiene como objetivo garantizar la producción autónoma de alimentos, vegetales y animales, con el mínimo de desperdicio. Este cambio de enfoque, en la producción alimentaria, requiere el uso mínimo básico de suelo y el mantenimiento autónomo de un ciclo cerrado de agua. La acuaponía se plantea como la integración de la hidroponía y la piscicultura. La hidroponía se desarrolla en la sostenibilidad de un tipo dado de cultivo vegetal, a través de la hidratación de raíces con nutrientes sin requerimientos de suelo. La piscicultura es la cría en cautiverio de un tipo definido de peces, con el objetivo fundamental de producir en un tiempo definido un volumen de proteína utilizable. Al fusionar las dos técnicas se configura un ciclo cerrado, donde los residuos y las aguas que provienen de la piscicultura se reutilizan en el proceso alimentario natural que metabolizan las plantas, gestando un uso regenerativo y eficiente del medio acuoso y su contenido.

Dado lo anterior, se evalúa un prototipo a pequeña escala, de un sistema productivo modular autónomo, replicable, de costos de operación controlables, de operación casi desatendida, con poco desperdicio y eficiencia aceptable. La implementación de este piloto evaluativo, permite obtener datos de caracterización, buscando cuantificar: costos de construcción y funcionamiento, necesidades de atención y mantenimiento, volumen de producción vegetal y animal, selección de especies adecuadas, duración de los ciclos de producción, medición del consumo energético y especificación de reúso de agua.

1.1. Justificación

Debido al crecimiento demográfico de una manera extraordinaria, ha generado que la producción alimentaria ha ido aumentando, sobreexplotando cada espacio de suelo u optando por medidas que van en contra del medio ambiente, con el fin de dicha necesidad, es por esto que se han planteado alternativas que vayan de la mano con el medio en que vivimos, con la esperanza de poder reducir estos efectos que generen métodos donde se optimice y se dé un buen manejo.

La acuaponía es una propuesta a esta situación ha mostrado resultados que reflejan una buena conducta a la necesidad inmediata de alimentos, reduciendo el uso de grandes extensiones de terreno, evitando a aplicación de la gran mayoría de productos químicos, optimizando el uso del agua y creando una consciencia de seguridad alimentaria o una economía auto sostenible, consiste en la integración de los fundamentos de la hidroponía y la piscicultura. La hidroponía se desarrolla en la sostenibilidad de un tipo dado de cultivo vegetal a través de la hidratación de raíces con nutrientes que son asimilados de forma óptima y sin requerimientos de suelo. La piscicultura es la cría en cautiverio de un tipo definido de peces, con el objetivo fundamental de producir en un tiempo definido un volumen de proteína comercializable. Al relacionar las dos técnicas, se configura un ciclo cerrado donde los residuos y las aguas que provienen de la piscicultura se reutilizan en el proceso alimentario natural que metabolizan las plantas, gestando un uso regenerativo y eficiente del medio acuoso y su contenido.

El desarrollo tecnológico de los procedimientos descritos, el manejo controlado de las variables de operación, y la identificación de los parámetros de escalamiento permiten hacer proyecciones de producción alimentaria con bastante seguridad y adaptación a la variabilidad del mercado de productos frescos, ante la desmejora de entornos que afectan los productos del consumo humano.

1.2. Objetivos

• Objetivo General

Construir un sistema acuapónico modular autónomo, con costos de operación controlables y eficiencia cuantificable.

• Objetivos específicos

- ✓ Establecer los requisitos biológicos, fitosanitarios y de automatización para mantener el ciclo de vida natural de las especies en un medio de cultivo sostenible artificialmente.
- ✓ Caracterizar el modulo desarrollado y establecer los parámetros de escalamiento.
- ✓ Validar la duración del ciclo vital del sistema, el consumo energético y el reúso de agua.

1.3. Antecedentes

(Bosma et al., 2017) Se realiza un estudio economico de la viabilidad de los sistemas acuaponicos en los que se encuentra que, la proyeccion de una linea productiva de este sistema va en mano de la selección de los tipos de peces y cultivos que se puedan obtenerse en el menor tiempo posible y ofreciendo al mercado lo mas relevante para suplir esa necesidad, la viabilidad economica esta encaminada a un intervalo de tiempo mayor donde los beneficios son crecientes si se mantiene el sistema.

(Wongkiew, Hu, Chandran, Lee, & Khanal, 2017) Desarrollaron un analisis sobre el componente principal en el nutirente de los cultivos hidroponicos del sistema acuaponico, el nitrógeno, debido a la difícil tarea de realizar un seguimiento se estudiaron los principales factores generadores y la salidas del sistema encontrando diferencias y identificando los agentes transformadores de este nutriente que actuen en un uso eficiente del nitrógeno.

(Fang et al., 2017) Esta investigación se basó en uno de los factores principales del sistema acuaponico, como lo es la oxigenación, en la cual expusieron dos sistemas de oxigenación semiaaeración (SA) y oxigenación intermitente (IA), la cual demostró como influía directamente que la semiaeración aumentaba la eficiencia de utilización del nitrógeno y reduciendo agentes contaminantes expuestos por este sistema, la calidad de agua mejora gradualmente por tener una gran cantidad de oxigenación disuelta.

(Delaide et al., 2016) Analizaron cada uno de los sistemas presentados en un sistema acuaponico el DWC camas hidroponicas y PAFF box contenedor en un invernadero, lo cual consistían en identificar las ventajas y eficiencias de un sistema, agregándole la identificación de micro y macro nutrientes que ayudan a demostrar un mejor imagen y de la eficiencia del sistema.

(Zou et al., 2016) Estudiaron la relación de Ph respecto al nitrógeno presentado en los sistemas acuaponicos, donde las muestras reflejan que presentaban un ph ácido establecido en 6.0, que permitían una mejor eficiencia en la utilización de nitrógeno. Otros valores mayores entre 7 y 9 neutro y básico muestran un descenso en su porcentaje, estableciendo el actor de los sistemas acuaponicos para mantener un rango eficiente para la producción de este sistema.

(Ngo Thuy Diem, Konnerup, & Brix, 2016) Evaluaron la recirculación de un sistema acuapónico con el fin de identificar como contribuía la densidad de peces de acuerdo al cultivo que se seleccionaba, encontrando que los de baja población de peces y un alto grado de recirculación fueron los de mejores resultados, respecto a que permitían tener una excelente aireación y sobre todo un movimiento de agua que influía directamente sobre el sistema.

(Hu et al., 2015) Examinaron sobre dos tipos de cultivos exactamente el tomate y el pakchoi (acelga China) la absorción de nitrógeno por medio de las raíces, identificando que entre mayor es el área radicular mejor es dicha absorción, además de que la calidad de agua del tomate presentaba mejores características y demostrando una mejor actividad de las bacterias nitrificantes.

(Lam, Ma, Jusoh, & Ambak, 2015) Se identificó que los sistemas acuapónicos son estructuras óptimas en la eliminación de los residuos producidos por la población de peces, que este alberga. Este estudio identificó que los valores de eliminación fueron de un 83% de amoníaco-N, 87% de nitrito-N, 70% de nitrato-N, 60% del total fósforo, 88% de eliminación del total suspendida, 63% de la eliminación de sólidos de los 5 días de la demanda bioquímica de oxígeno que fue conducida.

(Love, Uhl, & Genello, 2015) El objetivo de este estudio fue describir las condiciones de operación, insumos (energía, agua y alimentos para peces) y salidas (cultivos comestibles y peces) y su relación de más de dos años para una operación de acuaponía a pequeña escala en Baltimore, Maryland, Estados Unidos. La comparación de las entradas a las salidas, eran más de pérdidas puesto que se requería una mayor cantidad de peces para producir un aumento de 1 kg. El aumento de siembra de la tilapia fue una pérdida neta, mientras que el aumento de cultivos fue una ganancia neta al comparar los precios de mercado de los costos de energía. La comprensión de la energía, el agua y la alimentación animal en los sistemas de acuaponía es esencial para informar a los planes de negocio de granja.

(Luo et al., 2014) Se realizó un experimento para conocer el crecimiento, actividad digestiva y la relación costo-beneficio de un cultivo de tilapia mejorada, acompañada por un sistema Biofloc, demostrando que se tuvo un incremento en el peso de un 22% en un tipo definido, obteniendo un buen desarrollo total de la ganancia, con respecto a la alimentación, y también se obtuvo una buena asimilación de nutrientes sin mayores rasgos en sus índices.

(Pungrasmi, Playchoom, & Powtongsook, 2013) Se implementó el uso de sustratos para la desnitrificación de los sistemas recirculantes, utilizando cuatro tipos de sustratos e identificando el de mayor relación acorde al objetivo inicial, estos cuatro sustratos que eran, tierra, arena, vermiculita y piedra pómez, muestra que la mejor condición se presentó fue con el sustrato de la piedra pómez ya que garantizó una eliminación mayor de nitrato en el agua, sin la acumulación de nitrito y amoníaco.

(Crab, Defoirdt, Bossier, & Verstraete, 2012) Se ha desarrollado nuevas tecnologías como complementos a los sistemas recirculantes, estas estructuras llamadas Biofloc son una tecnología con un método sostenible para controlar la calidad del agua, con el valor añadido de la producción proteica alimentar in situ. Donde su finalidad es mejorar la calidad del agua en la acuicultura mediante el equilibrio de carbono y nitrógeno en el sistema.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Sistemas de recirculación

Es la tecnología que permite el cultivo intensivo de peces. En el SRA, el ambiente es totalmente controlado, el agua circula a través del sistema, y solamente un pequeño porcentaje de agua es reemplazado diariamente. La temperatura, salinidad, pH, alcalinidad, composición química y el oxígeno son monitoreados y continuamente controlados. Los residuos sólidos son filtrados y removidos, se incorpora oxígeno para mantener concentraciones suficientes para la densidad de peces en cultivo, Y por último el efluente es tratado en biofiltro para la conversión biológica del nitrógeno amoniacal a nitrato.

El SRA es necesario cuando: - hay déficit de agua y aumenta la auto-contaminación. - cuando hay que tratar el agua (calentamiento, por ejemplo) Sistemas de Recirculación y Tratamiento de agua y el reciclaje representa una disminución del costo energético, es el caso de las salas de incubación y alevines. Un sistema de recirculación consiste en los siguientes componentes: una cierta cantidad de depósitos de agua para los peces, una unidad de tratamiento del agua, unas bombas y unas tuberías para el suministro de agua, así como para su retorno. El corazón del sistema es la unidad de tratamiento de agua. Diseñar y operar un SRA requiere de una sólida comprensión de las operaciones unitarias y procesos incluidos; la falla de cualquiera de estas operaciones puede ocasionar que falle la totalidad del sistema, usualmente resultan en la muerte de los peces en el proceso (Galli Merino & Sal, 2007).

2.2. Taxonomía y Genética

Los peces que comúnmente se conocen como Tilapias pertenecen a la familia Cichlidae, las tilapias han sido agrupadas en cuatro géneros de la Tribu Tilapiini, dicha tribu es originaria de África y cuenta con alrededor de cien especies, algunas de las cuales han sido recientemente descubiertas. Esta situación, aunada a la diferencia de criterios en cuanto a su posición taxonómica, han dificultado la determinación de las especies, lo que ha ocasionado confusiones en cuanto a su identidad, así como el manejo de las diferentes cruzas que se han realizado con propósitos comerciales. Manual de Producción de Tilapia con Especificaciones de Calidad e Inocuidad 11.

Dentro de sus áreas originales de distribución, las Tilapias han colonizado hábitats diversos, pues es un pez de aguas cálidas, dulces, salobres o salinas que puede adaptarse a aguas con baja concentración de oxígeno, por lo que también es común que habiten en aguas de poca corriente (lenticas), permaneciendo en zonas poco profundas y cercanas a las orillas.

La tilapia se ha introducido en todo el mundo y se cría de manera generalizada en los trópicos y las zonas subtropicales. Aunque Asia domina la producción en la actualidad, se cría cada vez más en condiciones ambientalmente controladas en climas templados. Se encuentra naturalmente distribuida por América Central, sur del Caribe, sur de Norteamérica y el sudeste asiático y Medio Oriente y África.

En 1973, Trewavas basándose en los hábitos reproductivos y alimenticios, establece dos géneros distintos que son Tilapia y Sarotherodon. En 1982, la misma autora decide separar a la tribu Tilapiini en cuatro géneros: Tilapia, Sarotherodon, Oreochromis y Danakilia; con base en los estudios sobre la biología de la conducta y el desarrollo de las incubadoras bucales maternos, paternos y mixtos. Posteriormente, en 1983 dividió a esta misma tribu en seis géneros distintos: Tilapia, Tristamella, Danakilia, Sarotherodon, Oreochromis y otro género menos especializado que es Pelmatochromis, dicha especie retiene ciertas características que son primitivas en ciclidos.

2.3. Filtros Biológicos

La biofiltración cumple con dos objetivos en el sistema acuapónico. Ambos obtenidos a partir de un mismo proceso: la nitrificación. El primero, es el de transformar el nitrógeno amoniacal (NAT) excretado por los peces como desecho metabólico, en un compuesto menos tóxico para ellos y el segundo, la obtención de un compuesto asimilable por las plantas. Dichos procesos, son realizados por un grupo de bacterias que se alojan en los filtros biológicos (así como en cualquier superficie del sistema) obteniéndose como resultado final, nitratos (NO_3^-).

Este componente inorgánico es el menos tóxico nitrogenado (hasta 300 mg/l, DL50, según la especie) y constituye la forma de nitrógeno asimilada por las plantas (Bernal Melo, s/f). La fuente de nutrientes en los sistemas de acuaponía son los desechos metabólicos generados por los peces al alimentarse, ya que solo un 35 a 40 % del alimento consumido es asimilado y transformado en carne, mientras que el resto (60-65 %) se excreta hacia la columna de agua). Estos desechos a su vez son transformados por las bacterias presentes en los filtros biológicos. Así la cantidad de nutrientes que un sistema genere, estará directamente relacionada con la cantidad de alimento que ingieran los peces. En general, la cantidad de plantas que pueda sostener un sistema acuapónico, estará supeditada a la cantidad de alimento que los peces presentes, ingieran. Por su parte, cada sistema tendrá una capacidad determinada para filtrar biológicamente los desechos metabólicos y esta capacidad de filtración será la que impondrá la cantidad de alimento que pueda ofrecerse como máximo a los peces (Caló, Nacional, & Cenadac, 2011).

2.4. Energía solar

La energía solar es la fuente principal de vida en el planeta: dirige los ciclos biofísicos, geofísicos y químicos que mantienen la vida en la Tierra, los ciclos del oxígeno, del agua, del carbono y del clima. El sol, nos suministra alimentos mediante la fotosíntesis y como es la energía del sol la que induce el movimiento del viento, del agua y el crecimiento de las plantas, la energía solar es el origen de

la mayoría de las fuentes de energía renovables (la energía mareomotriz, energía de la biomasa, la energía hidroeléctrica, la energía eólica y de la energía solar). La energía solar absorbida por la Tierra en un año es equivalente a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo y 10 mil veces superior al consumo actual.

La actividad solar influye en la generación de muchos fenómenos en nuestro planeta (las manchas solares están relacionadas con alteraciones climáticas terrestres); el incremento de actividad solar provoca alteraciones del campo magnético terrestre, las ráfagas o llamaradas solares son responsables de las tormentas geomagnéticas las cuales producen apagones en plantas eléctricas, interferencia en la comunicación vía satélite y aparición del fenómeno luminoso o aurora boreal o austral, depende del hemisferio terrestre donde se presente el fenómeno. Otra forma de utilizar la energía solar es como fuente de sustento en otras clases de energía las cuales son aprovechables para el hombre.

La radiación solar incidente en la Tierra puede aprovecharse activamente, a través de la implementación de dispositivos ópticos o de otro tipo. Es un tipo de energía renovable y limpia, lo que se conoce como energía verde. Básicamente, recogiendo de forma adecuada la radiación solar, podemos obtener calor y electricidad. El calor se logra mediante los captadores o colectores térmicos, y la electricidad, a través de los llamados módulos o celdas fotovoltaicas. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí, ni en cuanto a su tecnología ni en su aplicación.

Las “células solares” dispuestas en paneles solares, ya producían electricidad en los primeros satélites espaciales. Actualmente se perfilan como la solución definitiva al problema de la electrificación rural, con clara ventaja sobre otras alternativas. La energía solar puede ser perfectamente complementada con otras energías convencionales, para evitar la necesidad de grandes y costosos sistemas de acumulación. Así, una casa bien aislada puede disponer de agua caliente y calefacción solar, con el apoyo de un sistema convencional a gas o eléctrico que únicamente funcionaría en los periodos sin sol (Arenas & Zapata, 2011).

2.5. Acuaponía

La acuaponía es un sistema de producción de alimentos que incluye la incorporación de dos o más componentes —peces y vegetales o plantas—, en un diseño basado en la recirculación de agua. El principio básico radica en el aprovechamiento de la energía del sistema para utilizar diferentes formas por los componentes comerciales que desean producirse. Sólo una fracción del alimento para los peces —20 a 30%— [Church y Pond, 1982], se metaboliza e incorpora como tejido, mientras que el resto (excreción, alimento no consumido y diluido), se utiliza como nutriente para el crecimiento de las plantas; éstas pueden ser vegetales, frutas o flores [Rakocy, 1989]. Un componente extra que debe encontrarse en el sistema, está constituido por las colonias de bacterias nitrificantes en el sustrato de las plantas para realizar dos funciones: degradar los compuestos nitrogenados en su forma peligrosa para los peces (amonía y nitritos), y proveer de nutrientes a las plantas. La acuaponía presenta varias ventajas sobre los sistemas convencionales de producción de alimentos: reduce la cantidad de nitrógeno peligroso en las descargas, reduce la cantidad de agua por su reutilización, reduce los costos de operación por acarreo de agua, produce vegetales con un valor agregado porque pueden ser considerados como “productos orgánicos”, y elimina el uso de químicos como plaguicidas y fertilizantes [Diver, 2000]. (García Ulloa, León, Hernández, & Chavéz, 2005).

2.6. Hidroponía

La palabra hidroponía proviene del griego donde “hydros” significa agua, y “ponos” trabajo o labor; de aquí pues que hidroponía significa trabajo sobre agua. La hidroponía es la ciencia que trata del cultivo y crecimiento de plantas sin suelo ya sea en elementos inertes, tales como: lana de roca, aserrín, vermiculita, arena, fibra de coco, etc., o en la misma solución nutritiva. Existen actualmente varios sistemas de cultivos hidropónicos, principalmente en el cultivo de hortalizas, pero a grandes rasgos se subdividen en dos: los de cultivados en sustratos o suelo inerte, y lo de cultivados en solución nutritiva.

Sistemas de cultivo en suelo inerte. Comúnmente conocidos como cultivos en sustrato, son aquellos donde la plántula se coloca en un suelo inerte (sustrato) y es regada en su raíz con solución nutritiva. Existen varias formas de cultivo en sustrato, variando principalmente del tipo de suelo en donde se colocan las plantas.

Sistemas de cultivo en solución. El principal medio de cultivo como su nombre lo indica es la solución nutritiva, utilizándose principalmente para la producción de hortalizas tales como lechuga, col, acelga, berros, perejil, apio y para hierbas aromáticas como la mejorana, albahaca, hierbabuena, y menta. Ha sido probado con fresas, pepinos y tomates, presenta algunas dificultades con esta última hortaliza debido al peso de sus frutos, resultando impráctico en algunos casos. Al igual que el sistema de cultivo en sustrato, dependen de los recipientes en donde se coloca la solución nutritiva y si se recircula o no (Gutiérrez Reyes Oziel, 1957).

2.7. Efecto Venturi

El Tubo de Venturi es un dispositivo que origina una pérdida de presión al pasar por él un fluido. En esencia, éste es una tubería corta recta, o garganta, entre dos tramos cónicos. La presión varía en la proximidad de la sección estrecha; así, al colocar un manómetro o instrumento registrador en la garganta se puede medir la caída de presión y calcular el caudal instantáneo, o bien, uniéndola a un depósito carburante, se puede introducir este combustible en la corriente principal (imagen 1). Las dimensiones del Tubo de Venturi para medición de caudales, tal como las estableció Clemens Herschel, son por lo general las que indica la figura 1. La entrada es una tubería corta recta del mismo diámetro que la tubería a la cual va unida.

El cono de entrada, que forma el ángulo α_1 , conduce por una curva suave a la garganta de diámetro d_1 . Un largo cono divergente, que tiene un ángulo α_2 , restaura la presión y hace expansionar el fluido al pleno diámetro de la tubería. El diámetro de la garganta varía desde un tercio a tres cuartos del diámetro de la tubería (Ordóñez Arias José Alberto, 2005).

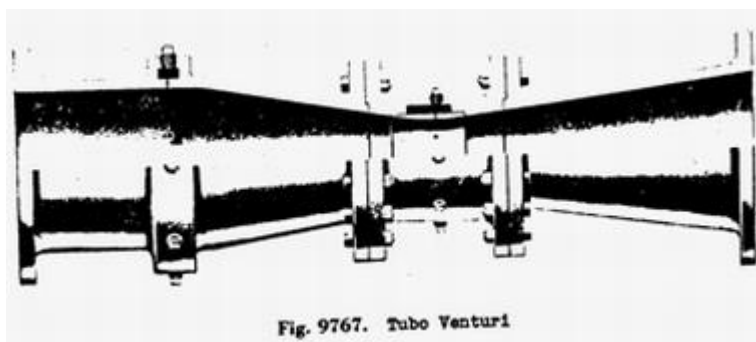


Imagen 1. Tubo Venturi (Ordóñez Arias José Alberto, 2005).

Este efecto se utiliza como referencia posibilidades de uso para la oxigenación haciendo la modificación de que los conductos que llevan el fluido en ciertos puntos presenten una alteración en su dirección con una tubería perpendicular que alimenta con el medio, para permitir el contacto con el medio y permitir el ingreso de oxígeno que a su vez este se diluye dentro del fluido para hacer una muestra más enriquecida de oxígeno.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

Se identificará los factores que hacen parte de la acuaponía, determinando los más factibles o necesarios para su implementación y funcionamiento de acuerdo a la necesidad que se va a presentar, para dicho proceso es necesario una recopilación de información que permita identificar inconvenientes y parámetros que se tomaron en cuenta, acertar con una validación dicha información. Conociendo estos parámetros se etiquetarán la relación cultivo acuoso y tipo de peces, para el entorno donde se desarrollará dicho ciclo que sea capaz de producir en acción conjunta o tiempo cercanos.

Para que se comporte como un sistema auto-sostenible en características físicas se tienen en cuenta e factores importantes como tiempo de vida del agua, estimar la cantidad y como debe ser el tratamiento de los residuos generado por la población de peces en el reservorio, conexión del agua del reservorio hacia las plantaciones y el tipo de base donde estarían ubicada dicha plantación, como solución a todos estos componentes se propone un diseño de sistema piloto a cierta escala, capaz de acogerme todas estos parámetros y que me permitirá obtener unos resultados necesarios para analizar y plantear bajo ciertas condiciones mencionadas anteriormente, unas alternativas para sistemas que contengan o relacionen gran parte de estas medidas cuantificadas.

Una fase del sistema re-circulante es el transporte fluido de un nivel inferior a uno que se encuentra a una altura distinta, es por ello que se hace de la necesidad de una bomba capaz de realizar dicha función, esta bomba tendrá la única diferencia que será alimentada por medio de energía solar como una adicción a esta alternativa ecológica, este proceso se realizara a través de celdas fotovoltaicas que serán capaces de obtener por medio de la radiación solar la cantidad de energía necesaria para el funcionamiento de la bomba, el fluido que se transporta contendrá residuos o materia orgánica liberadas por la población de peces en el estanque, para ello se cuenta con un tanque y filtro biológico que permita la degradación del amonio a un componente reducido nitrógeno que será

aprovechado por el cultivo hidropónico brindando nutrientes elementales para el desarrollo, su exposición será mediante tubería alimentando básicamente las raíces durante unos intervalos de tiempo disminuyendo el uso del recurso hídrico, este fluido retornara nuevamente al estanque con una leve caída para aumentar el oxígeno y ser beneficiario para los peces, otro sistema que hace parte, es el proceso de oxigenación, el cual permite la adición de oxígeno a la tubería del fluido con una tubería adicional perpendicular al flujo con una abertura mínima, diluyendo partículas de oxígeno al fluido entregado en el estanque.

3.1. Localización

Este diseño piloto se llevó a cabo en el condominio las riberas de las mercedes localizado en el kilómetro 3 de la vía Chipaya del municipio de Jamundí del departamento del Valle del Cauca (Colombia), localizado en la parte baja-media de la cordillera occidental.

Cuenta con un clima variado en las cuales las tardes pueden llegar a temperaturas de 32° y en las noches a 23°c, está rodeado con casas de campo y un reservorio que abastece en necesidad hídrica al condominio en caso de necesidades sanitarias mas no de consumo. Su suelo cuenta con un nivel freático medio, debido a su cercanía al rio Jamundí, hecho que también genera escorrentías de gran tirante cuando este aumenta su caudal.

3.2. Selección y clasificación de la información sobre el sistema acuapónico

Teniendo en cuenta la gran cantidad de variables involucradas en cada uno de los procesos, se realizó una detallada revisión bibliográfica, la cual se ha constatado en el anteproyecto de esta investigación, se revisó la necesidad de hacer un seguimiento lineal para tener un conocimiento acorde a este sistema.

Con el fin de permitir un manejo adecuado y esperando a tener los mejores resultados, poder compartir la idea, se decide el estudio de cada sistema independientemente, para luego involucrar al sistema lo mejor de cada uno, las principales variables que se encontraban mostraban un medio riesgoso para el tipo de cultivo agrícola y el riesgo de depender de un filtro biológico son hechos

que nos permite proponer un posible estudio a futuro de estos principales parámetros.

3.2.1. Identificación de variables en sistema acuapónico

Uno de los principales ejercicios para un buen desarrollo de este sistema es identificar los principales agentes directos e indirectos que facilite adecuar las condiciones siendo esto una característica física y de medición la cual pueda ser de apoyo para garantizar el sostenimiento del sistema.

• Condiciones en el estanque

Principal factor en el desarrollo del sistema acuapónico, debido a ser el reservorio del recurso hídrico como re-circulante y primer actor participe en el desarrollo de los microorganismos que interactúan con los residuos de los peces, (alimento, heces, residuos orgánicos: dependiendo del entorno si se encuentra expuesto o encerrado), es por esto que la garantía de un buen proceso se encamina en sus buenas condiciones.

• Principales características

- ✓ Ubicación, capacidad, profundidad y contextura: de acuerdo a lo anterior, la ubicación del estanque prevalece, contar con las condiciones a la cual se va a encontrar expuesto, debido a percances a futuro, ya sean especies arbóreas, flujos de agua (nivel freático), pendientes, proximidades de ríos o quebradas ante un incremento de su cauce, que a corto o largo plazo puedan deteriorar o en peor de los casos ser afectados en su estructura. La capacidad del estanque es un factor cuantitativo, puesto que es una variable que nos permite identificar el volumen que se desea producir, teniendo en cuenta la especie de pez que se desea cultivar y su profundidad como bien benefactor que influye en la regulación de la temperatura. Su contextura nos permite condicionar el medio de interacción, puesto que hay diversidad de materiales que nos ofrecen resultados a mediano y largo plazo para el crecimiento de peces, además de un adecuado de mantenimiento ante su deterioro a periodos tan extensos de uso.

- ✓ Niveles de OD, PH, turbiedad y temperatura: La oxigenación como variable es un factor de gran relevancia debido a su proporción en el crecimiento de un pez, en relación a que una buena oxigenación permite una mejor actividad en su entorno, los niveles de PH influyen directamente en la piel y parte de sus branquias para sus procesos de digestión. En el caso de la turbiedad es otro de los parámetros que participa, puesto que nos mantiene una calidez de agua a temperatura ambiente que depende de su profundidad, y que en los peces influyen directamente en su absorción, para su crecimiento.
- ✓ Sistema de drenaje: A pesar de ser un sistema de recirculación el agua que ha cumplido un ciclo determinante en la población que aloja plantas y peces debe ser removida, estos tiempos están estimados a cada 6 meses para mantener un manejo adecuado de crecimiento de microorganismos, que realizan su función en filtros evitando la sobrecarga de este medio y permitiendo una mejor descomposición del principal factor residuos de los peces como lo es el amonio.

- **Condiciones de Filtro**

Los sistemas re-circulantes están ligados a un proceso muy definido que viene siendo ejecutado por el filtro, puesto que su participación es fundamental en la transición de condiciones de presentadas en el flujo como lo es el amonio a agentes reducidos como son los nitrógenos que son aprovechadas por las plantas, su tiempo de vida es determinado por parámetros que garanticen su reproducción y fácil desarrollo de crecimiento para garantizar un trabajo óptimo. Entre estos parámetros se encuentran, la baja intensidad de radiación, medio soporte para su desarrollo de microorganismo, ya sea grava, arena, entre otros y una buena oxigenación que estimule a mantener un intervalo de población capaz de absorber los aspectos mencionados anteriormente.

- ***Sistema de conducción de agua para cultivo acuapónico***

Al ser un sistema autónomo de un caudal de flujo constante y no poseer soporte tipo suelo para el desarrollo de las raíces, los parámetros que se deben de tener en cuenta, son las necesidades hídricas del tipo de cultivo que se va a trabajar, debido a que es una condición mínima que se debe garantizar para su desarrollo. En cambio un uso constante o excesivo de agua por medio de la tubería daría como resultado la afectación de las raíces, generando un síntoma de pudrición o deterioro de la raíz obteniendo una poca absorción de las plantas en los nutrientes alojados en el flujo, al no mantener un flujo constante la variables que se emplean en un sistema de riego, no son lo más recomendables en este caso, en cambio a esto se plantea el uso de ecuaciones de tipo de flujo a media tubería o agua residual intercambiando tipo de variables donde se detalla la importancia en el manejo del fluido.

- ***Sistema de oxigenación***

Los procesos de recirculación al no contar con un flujo constante de agua su estancamiento o movilidad baja altera sus características físicas de oxígeno por ser absorbido por todos los organismos presentes en todo el sistema. Para mejorar esta condición hay diferentes alternativas que se puedan emplear para enriquecer las condiciones, una de las mejores alternativas presentadas, es el efecto Venturi, puesto que al contener un método sencillo de ingreso de oxígeno dentro de la superficie de fluido adhiere partículas de oxígeno dentro del fluido, además de ser un mecanismo de bajo recurso económico y gran eficiencia de por su inyección casi inmediata en el recurso agua, gracias a un bombeo en tiempos determinados donde nos permite remover todo el material sedimentado y permite su enriquecimiento de oxígeno.

3.3. Interpretación de análisis

Debido a ser un método experimental la interpretación que se aplica basándose respecto a los resultados y a las diferentes variabilidades que se encuentran en su desarrollo, puesto que son factores que aportan en el enriquecimiento de la

experiencia y el conocimiento que se ha adquirido con la ayuda de los antecedentes académicos e implementándolo a la práctica.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Selección biológica para conformar el sistema acuapónico.

Las condiciones para el desarrollo viable, a escala piloto, del sistema acuapónico se enfocan en seleccionar los cultivos y cubrir las necesidades para su normal desarrollo.

Cultivo de peces

Para la selección de los peces, gracias al conocimiento adquirido por diferentes medios, se selecciona la tilapia, un tipo de pez que contiene diferentes variables a favor en sistemas confinados y que lo hace un cultivo fuerte capaz de adaptarse a cambios imprevistos, además, sus requerimientos nutricionales no son tan exigentes y la profundidad recomendada no es muy necesaria (Quindio, 1992), la cual se adapta muy bien la estanque con el que se cuenta, la temperatura del medio es variable durante el día pues, por ubicarse tan cerca de las faldas de montañas, sus días se tornan calurosos pero sus noches pueden llegar a ser frías con relación al descenso que se puede encontrar en 4-3° C, el nivel de oxígeno disuelto que alcanzan a percibir esta por un rango de 5 -9 mg-l (Saavedra, 2006), lo cual es un parámetro que se relaciona con el entorno expuesto ya que sus niveles varían de acuerdo a los microorganismos presentes y la cantidad de luz en el momento.

Tabla 1. Comparación de requerimientos biológicos (Saavedra, 2006).

Requerimientos biológicos para peces	Condiciones del estanque
<u>Temperatura</u> : los rangos óptimos de temperatura oscilan entre 20-30 °C	<u>Temperatura</u> : variaba entre 21- 31 °C. Siendo la mayor temperatura en un máximo de 1 hora.
<u>Oxígeno Disuelto</u> : soporta bajas concentraciones, pero lo más conveniente son valores mayores de 2 o 3 mg/l.	<u>Oxígeno Disuelto</u> : Por medio de una muestra se encontraba valores de 6-6.8 mg/l.
<u>pH</u> : los valores óptimos de ph son entre 7 y 8.	<u>pH</u> : .se logró manejar en a 6-7
<u>Turbidez</u> : se deben mantener 30 centímetros de visibilidad	<u>Turbidez</u> : se realizó la observación a 38 cm de visibilidad
<u>Altitud</u> : 850 a 2,000 msnm	<u>Altitud</u> : 1100 msnm

- Temperatura: los rangos de temperatura a los que se encontró expuesto el cultivo de peces son de 21-31 c. Obteniendo que el menor valor se encontraba en las noches y en algunos casos en precipitación durante el día, el mayor valor de temperatura se dio en tiempo determinados durante el día, debido a que era un terreno con gran nubosidad y su temperatura variaba durante el día, su medición fue por medio de un termómetro, el cual se utilizaba durante la muestra solamente.
- Oxígeno Disuelto: la carga de oxígeno disuelto necesario para el desarrollo de los peces, y el metabolismo es de 6- 7 ppm, las condiciones del estanque fueron de 6.7 ppm el cual se generó por dos medios, la caída de agua por la tubería hidropónica al final de su trayecto y el otro a través de una bomba que contenía un sistema cerrado de tubería dentro del estanque, este se obtenía a través de muestras in situ por medio de una pastilla DQO el cual identifica por medio del color y en comparación a una presentación de muestra se definía la aproximación.
- pH: los valores de pH se establecían con un papel el cual se introducía y se tornaba de acuerdo a la acidez o básico que se encuentra en el estanque, el cual se revisa a una tabla de colores que nos indica cuantitativamente el grado de pH,

es importante mantener un rango, puesto que puede inducir a los peces a enfermedades, este parámetro se mantuvo entre 6-7.

- Turbidez: se realiza una prueba por medio de la visualización donde se profundiza un objeto en el estanque y alterno se observa la altura de profundidad a la cual fue introducido, debido a que a un grado de turbidez mayor el pez deja de alimentarse y limita su crecimiento.

- Altitud: se realiza de acuerdo a revisión GPS de la zona.

- Luz o Luminosidad: Es un factor necesario para el desarrollo del pez puesto que son esenciales para sus aletas y el movimiento dentro del estanque, principal factor para la actividad de metabolismo en el diario vivir del pez y dependía de la cantidad de luz que se proyectaba en el día.

Para saber la cantidad de peces en el estanque, se basó sobre material bibliográfico, en el cual se establece una relación de 4 peces por m² (Quindio, 1992),(Saavedra, 2006), donde de acuerdo a la cantidad de área se propone un desarrollo de las mejores condiciones en oxígeno y crecimiento.

Uno de los principales temores en la producción es que se puedan presentar enfermedades dentro del cultivo, es por esto que el desarrollo del cultivo se logra realizar de acuerdo a diferentes recomendaciones bibliográficas, minimizando este tipo de sucesos, obteniendo una producción casi del 85% para un total de 187 peces, y descartando los peces que no llegaron al peso promedio de la población durante el tiempo regular. A pesar de las recomendaciones y las condiciones más deseables posibles, se encontraron picos de diferencia que generaron algunos retrasos y en otros casos la muerte.

Para conocer en parte las condiciones o enfermedades que puede presentar nuestro estanque, es por medio de la observación, puesto que los principales factores son reconocidos por su forma de movimiento o por su composición física (Saavedra, 2006). En nuestro caso se realizaba por cada semana dos puntos de toma de datos donde de acuerdo al desplazamiento y al lugar de mayor recurrencia del estanque, se identifica las condiciones biológicas de calidad de

agua y además la toma de peces aleatorio, para conocer posibles hallazgos de percances fitosanitarios que alteren a nuestra población, en primer caso se encontró que ante las condiciones iniciales y de un manejo preventivo en el traslado de los alevinos su reubicación en el nuevo estanque presentaron una mala adaptación al estanque, produciendo la muerte de 8 peces que comenzaron verse lentos hasta su descenso a través de las semanas, de acuerdo a la consulta realizada referente a este hecho lo que se logra identificar es que en algunos casos las condiciones ideales y la cantidad de microorganismo presentes en el estanque no se encuentran precisamente las mejores o parecidas del que procedían y por ello la carga de dinamismo afectaron poco a poco su desarrollo, mientras la adaptación de los demás se dieron paulatinamente.

Para el segundo caso que se encontró, la población de peces se desplazaba a la superficie superior del cuerpo de agua, con lo cual se identificó que a partir de la octava semana las condiciones de OD se encontraban descendiendo (FAO, 2011), mostrando que la forma de oxigenación por medio de caída no era tan optima y precisando una salida urgente y necesaria para evitar la muerte de los peces, después de este hallazgo las soluciones fueron variables pero no demostraban una respuesta al problema donde por día se encontraban entre dos a un pez muerto, mostrando al final del proceso la muerte de 5 peces durante la semana 10, pero optimizando el proceso de oxigenación. Después de este proceso se realizó investigaciones sobre este suceso consultando y remitiéndose a referencias, donde se podría encontrar ligado a que también el tipo de alimentación, los horarios y las cantidades necesarias para el crecimiento de la tilapia son factores predominantes al estar expuestos a un entorno tan diverso de organismos consumidores de oxígeno (Quindio, 1992).

El desarrollo del sistema acuapónico se determinó un proceso de dirección del estanque a los cultivos hidropónicos ubicando como principal actor la cantidad de agua recolectada y siendo este el factor más influyente durante el sistema, dichos parámetros que se alojan en nuestro cuerpo de agua son el oxígeno disuelto, la turbiedad, el nivel de PH y la temperatura , puesto que son condiciones que se

conocieron en un principio con la revisión bibliográfica donde sus índices influían de mayor forma en el crecimiento y desarrollo de los peces (FAO, 2011), manteniendo las condiciones a una temperatura ambiente que oscilaba en el medio entre 21°-31°, intervalo aceptado por los peces seleccionados, su temperatura permite que se realice una actividad de nado con más frecuencia estableciendo un gasto de energía que influye gran parte en la grasa que se pueda acumular en el pez durante su digestión (Saavedra, 2006), en el caso de la turbiedad son agentes microbiológicos que se encuentran expuestos en el medio acuoso y que pueda prestar una infección en ojos u otro tipo de percances de salud en la piel de nuestros peces, además de no permitir el ingreso a la radiación solar que es un principal factor de actividad para la variación del oxígeno presente en el estanque (FAO, 2011), en el caso del nivel de PH es un parámetro selectivo que puede variar con otros aspectos, puesto que su nivel de importancia es debido a su interacción con los diferentes procesos microorganismo de plancton y fotosíntesis de materia orgánica que se generan por derivación de agentes descomponedores.

Respecto al sistema hidropónico, el primer factor influyente se consideró el sistema de riego, ya que al estar expuestas las raíces en un medio retenedor de agua. La utilización de un tirante que garantizara las necesidades hídricas del cultivo sin permitir el asentamiento de residuos y nutrientes. La necesidad de un tiempo de transporte y evitar el arrastre de raíces por fuerte caudal, entre otros (Carrasco & Izquierdo, 1996). Uno de las principales recomendaciones es el hundimiento de la raíz por riego, puesto que se puede enfrentar enfermedades de pudrimiento de la planta y localización de bacterias que pueden afectar a nuestro cultivo, además de una propagación en todo el sistema (Carrasco & Izquierdo, 1996). El mantenimiento preventivo como uso principal es no albergar otro tipo de parásitos o agentes que absorban el nutriente entregado en el sistema por medio de la inspección de color en plantas y hasta en la tubería, realizando mantenimientos de estanque durante 6 meses y de acuerdo al modelo de degradación de heces. Por otra parte, la turbiedad del estanque es un factor fundamental para distinguir el tiempo necesario para dicho control. Los nutrientes

entregados están relacionados de acuerdo al filtro seleccionado, puesto que su papel en este sistema es degradar la cantidad de amonio encontrado por la exposición de residuos de las heces de los peces, aunque hay una cantidad de materiales de su composición que nos admite la selección de nutrientes que se entreguen al cultivo teniendo en cuenta a los requerimientos expuestos en el terreno y a la variabilidad de clima que se puedan enfrentar por el crecimiento bacteriano (Pungrasmi, Playchoom, & Powtongsook, 2013).

Cultivo de Plantas

El producto vegetal seleccionado fue la lechuga (*láctica sativa*), por sus características de alta productividad y rápido crecimiento en sistemas hidropónicos señalados en las referencias bibliográficas. En el caso del cultivo hidropónico las condiciones ambientales se establecen en un sistema diferente, ya que, al no contener suelo, los nutrientes se deben obtener por medio del fluido que va a estar en flujo durante la tubería, al ser una condición única se deben tener en cuenta algunos parámetros biológicos para sustituir este recurso suelo que es importante en la obtención de la agricultura.

- pH: Variable necesaria para el desarrollo de la hortaliza por ser una planta donde su cuerpo es totalmente hoja la necesidad de mantener el nivel de pH garantiza una hoja fuerte, de buen color y de buen sabor, para el consumo humano, los rango establecidos para este cultivo esta entre 5- 6, el cual por medio de nuestro cultivo garantizamos el nivel no excediera a 7 como mayor y nivel menor a 6 para una condición ideal teniendo en cuenta la calidad de agua que llega al almacenamiento y los factores de degradación de alimentos por parte de peces y materia orgánica presente dentro del estanque(Ngo Thuy Diem et al., 2016).

- Riego: Por ser una planta compuesta de hoja su complemento vital es el agua, el cual se garantiza por medio de un riego sincronizado cada tres horas, el cual es entregado con una velocidad de 1.9 m/s para evitar sedimentos y con tirante de 3 cm por tubo para garantizar la obtención de nutrientes por raíz, la selección de tirante se realizó de acuerdo a ecuación hidráulicas que permitieran un flujo permanente a las condiciones deseada (Carrasco & Izquierdo, 1996).

- Temperatura: Es una hortaliza familiarizada con la temperatura de 26 a 31 °C y a temperaturas mayores, pero minimizando su crecimiento, las condiciones brindadas en el entorno variaban de 28 a 31°C, las cuales estaban ubicadas para recibir radiación solar sobre ciertos tiempos en la trayectoria del sol.
- Nutrientes: La lechuga como una hortaliza rápida de crecimiento, es de requerimientos nutricionales en nitrógeno, fosforo, potasio y magnesio, una cantidad de estos eran dosificados por el desarrollo microbiológico presentado en el filtro de almacenamiento donde el amonio principal compuesto químico encontrado en las heces de los peces a través de un proceso de degradación llegaban a la planta en nitrógeno por bacterias como las Nitrosomonas y Nitrobacter (Zou et al., 2016).

Para el caso de necesidad de agua del cultivo se calcula el Kc, siendo una referencia importante, con esta variable se estima el volumen necesario para el trabajo del filtro, cumpliendo con la entrega necesaria de carga de nitrógeno y demás nutrientes esperados dentro del fluido. El principal inconveniente que se encontraba era la limitación de espacio, debido a que el estanque ya se encontraba construido y para una mejor eficiencia se estimaba la ejecución cerca a este (imagen 2), es por esto que la cantidad de plantas se estima de acuerdo con 5 tuberías de 6 metros con 3" pulgadas para una mejor aireación y desarrollo radicular, respetando además el desarrollo normal de la planta durante su producción, para un total de 150 (Carrasco & Izquierdo, 1996).

La lechuga (láctica sativa), es muy perceptible a los cambios que se puedan presentar en su medio, por lo cual son reflejados en su contorno físico, ya que por ser mayormente compuesta por hojas, su decoloración, decaimiento o en otros casos inestabilidad, pronuncian una situación de alerta ante un posible suceso que pueda estar presentando (Carrasco & Izquierdo, 1996). En nuestro caso la problemática se presentó en altas temperaturas alcanzadas durante intervalo de tiempo no mayor de dos horas donde el sol disminuyo el follaje de la lechuga por su radiación, lo cual fue necesario crear un especie de cubierta el cual redujera la cantidad de radiación directa recibida por el cultivo, por otra parte al inicio del

desarrollo del módulo se encontró decoloración con deficiencia en nutriente como nitrógeno y fosforo, debido al poco tiempo de la generación de los microorganismos del filtro no hubo una aceptable en la reducción de amonio ubicado dentro del tanque de almacenamiento.

Tabla 2. Condiciones recomendables para un manejo óptimo de un sistema acuapónico.

Requerimientos biológicos	Definición cuantitativa, unidades	Método de medición	Observación
<i>OD (Oxígeno disuelto)</i>	6 ppm	Método pastilla DQO	Cantidad de oxígeno disuelto, que pueda reaccionar con agentes oxidantes, su evaluación es por medio de una cartilla.
<i>pH</i>	6,5-7,5	Papel pH	Papel que torna un color y de acuerdo al color se revisa una cartilla y se evalúa en qué condiciones está.
<i>Temperatura</i>	21-31°C	Termómetro	Al no contener gran profundidad se estima con la temperatura que se encuentra en el ambiente.
<i>Turbiedad</i>	Medio	Visual	Se establece de acuerdo a una forma experimental de ingresar la mano o un objeto y revisar respecto la altura su visibilidad.
<i>Tirante</i>	Se recomienda a la mitad del diámetro de la tubería	Calculado	Selección de método de tubería semi-llena con componentes de acuerdo al sistema.



Imagen 2. Condiciones iniciales del estanque.

Entre una de las variantes que más se pronunciaron durante el desarrollo del cultivo fue la alta temperatura, que, durante ciertos intervalos de tiempo, se presentaba la elevación de un grado de temperatura en el día, donde se hace mayor en el punto mediodía del trayecto del sol alterando un poco el tono de las lechugas en algunos casos las que se encontraban en la parte superior del diseño. Por otra parte la sedimentación como otra problemática de estos sistemas, no se encontró problemas de estancamiento o crecimiento de materia orgánica en bordes u uniones del sistema, puesto que basándose en la referencia de sistemas acuapónicos referenciados en el parte final de este documento (Carrasco & Izquierdo, 1996), la recomendación de velocidad del flujo de riego no debe estar por debajo de 0.3m/s, siendo este el principal generador de crecimiento de estos microorganismos dentro del sistema, por parte de los peces las decoloraciones y mortandad de unos peces deduce a la relación con el intercambio de un estanque en condiciones relativamente nuevas que afectan a los peces que cuentan con un sistema normal de crecimiento, las decoloraciones era por el OD (oxígeno disuelto) que no se encontraban en una medida estándar para los peces lo cual se decide actuar aumentando el ciclo de oxígeno (FAO, 2011), este hecho se presentó a que la alimentación que no alcanzaba a ser consumida aumentaba el crecimiento de microorganismos que en el cuerpo de agua se alimentaba del oxígeno disminuyendo este componente (Saavedra, 2006), además aceptando que la caída contemplada inicialmente no brindaba la cantidad de oxígeno que se necesitaba en el estanque.

Ciclo de vida, recirculación y automatización

El prototipo modular es necesario soportar la recirculación, mantener la eficiencia y lograr un bajo consumo de recursos, por ende se quiere aplicar modalidades que minimicen la necesidad de una ocupación diaria para el sistema, para solucionar este problema se plantea soportar un tanque, donde se cumplen las actividades necesarias para soportar el ciclo de vida del módulo, por esto el sistema cuenta

con un tanque de 2000 litros, de los cuales 1500 litros son ocupados de agua y la otra cantidad es el espacio disponible para un filtro, dicho llenado se realiza con niveles de mínimo y máximo tomando en cuenta la altura del filtro que está a un metro de la base del tanque, la bomba de 0.5 hp está conectada a un emisor con señal conectada a un flotador introducido dentro del estanque la cual permite cerrar dicho flujo del estanque al almacenamiento al estar a la altura seleccionada como llena. Dentro del sistema de almacenamiento ocurre el proceso biológico el cual tiene un tiempo estimado de 3 horas las cuales son cubiertas como reposo del líquido dentro con el filtro (Pungrasmi et al., 2013), en este momento la llave que cuenta el sistema hidropónico se encuentra cerrada, después de un tiempo establecido con un “Timer” su apertura permite por medio de gravedad en un tubo de 3/4 de tubería PVC manejar un fluido de riego para el cultivo hidropónico con un tirante de 3 cm y que con las pendientes pertinentes ocurre un transporte de llenado en cada tubería hidropónica hasta ser entregado al estanque con una caída de 15 cm la cual se realiza como un método de ayuda en la oxigenación.

Tabla 3. Condiciones de riego.

ITEM	VALOR
Caudal (l/min) x Tubería	69.3
Tirante (m) x Tubería	0,03
Velocidad (m/s) x Tubería	0.89
Pendiente x Tubería	2%
Volumen de tanque (litros)	2000
Volumen utilizado en tanque (litros)	1500
Volumen ocupado por filtro biológico (litros)	500
Tiempo de llenado tanque min	22
Bomba monofásica 110-220v hp	0.5

Para el método de oxigenación se cuenta un sistema separado el cual tiene un sistema alrededor del estanque con respiraderos en sus uniones, el cual entra con funcionalidad media hora antes de cada proceso de llenado del tanque, con el fin de utilizar la mayor carga de remoción de los sedimentos entregados por los peces y con la finalidad de bombear agua con carga de oxígeno que ayude al proceso

biológico del filtro, este sistema cuenta igual con un timer y está conectada a una motobomba a parte de 1 hp.

Estos sistema están automatizados por medio de niveles de llenado en el tanque y tiempo de bombeos en ambos casos, la utilización de alimentación energética para la bomba es por medio de paneles solares que en total dan una cobertura para los requerimientos del sistema y para una mayor optimización del tiempo se construyeron de acuerdo a los puntos más altos y de mayor punto de radiación de trayectoria solar y con los ángulos establecidos como recomendación, las necesidades de la bomba son de 0.5hp y de 350 kW las cuales están suplidas con los paneles, la descripción de este sistema se encuentra desarrollado en otro ítem del trabajo.

4.2. Características del módulo y tamaño de escala

Estanque

Composición: material concreto con impermeabilizante para evitar infiltraciones, esta constituidos de piedras grandes que trabajan como conexiones entre el concreto-malla y ayuda a minimizar el consumo de concreto en grandes cantidades, además cuenta con un sistema de drenaje ante posible rebose cuando se presente precipitaciones de una gran tirante o inundaciones (Quindío, 1992).

Tabla 4. Dimensiones del estanque y cantidad de área/volumen.

Detalle Estanque	Valor	Unidad
Ancho	6,75	m
Longitud	7,4	m
Profundidad	0,5	m
Área	49,95	m ²
Volumen	24,975	m ³

Proceso de almacenamiento y filtro biológico

Este proceso cuenta con una bomba monofásica de 0.5 hp, conectada directamente a un sistema energético de paneles solares para su alimentación y batería para su almacenamiento, su entrada es de 1" por una 1" de salida, cuenta

con un unión universal luego de una válvula de cheque que permite la retención en caso de apague del sistema sin que el retorno del fluido dañe los alabes de la bomba, un adaptador macho 1" la cual conecta con un hembra de 1" dentro del tanque de almacenamiento, la capacidad del tanque es de 2000 Lt. de material PVC, la capacidad utilizada para el riego va a hacer de 1500 litros mientras que la otra cantidad se utiliza en el filtro biológico el cual está compuesto de tubería PVC de 1/2 como esqueleto soporte y una malla con amarras plásticas para sostener la malla, el material de agregación para el filtro es de tubería PVC y Conduit sobrantes de toda la operación de trabajo para ser reutilización del material.

Soporte hidropónico

Para el modelo hidropónico se propuso un sistema de tubería de 3" de diámetro con perforaciones de 10 cm con un espaciamiento de 20 cm, la cual permite un espacio de crecimiento radicular y cuenta con la disponibilidad de manejar aireación dentro de la tubería (Carrasco & Izquierdo, 1996), los terminales serán removibles para futuros mantenimientos con tapa terminal de igual diámetro y cinta teflón. En cada extremo esta perforado en la parte inferior para introducir un manguera de 1/2 " de micro aspersor, y que en cada tapa también se encuentra una manguera de 3/4 " ante posibles rebose de flujo dentro del tubo, esta tubería tiene un tendido en caída zigzag con pendientes de 2% para evitar sedimentación y un flujo uniforme durante todo el trayecto, el tiempo de llenado por tubo es de 2,30 minutos y por sistema un equivalente 16 minutos con velocidad de 0,9 m/s, cada perforación cuenta con un soporte de sustrato que permite el desarrollo de la planta lechuga en crecimiento, al final termina en un codo de 45 de 3" con buje reductor de 1 1/2" para ser evacuado al estanque por caída.

Es un módulo escalable porque las condiciones o parámetros biológicos, dependen directamente del volumen vegetal y animal presente en el proyecto, sus condiciones en producciones mayores en parte de la tubería hidropónica pierden su función principal al depender de un sistema de tubería como medio de soporte, específicamente en el sistema hidropónico utilizado (NFT), el cual aumentaría los costos y estaría en contra del aprovechamiento de la reducción de espacios, en el

caso del estanque se ve una influencia directa en la absorción de oxígeno y la capacidad alimentaria, siendo estos parámetros las condiciones importantes que garantizan un buen resultado, siempre y cuando permitiendo una área capaz de desplazar al tipo de pez de producción.

Es replicable porque la utilización de los sedimentos que se presentan en el estanque se mantienen en un margen estable que garantiza que al finalizar una cosecha se pueda comenzar nuevamente sin necesidad de una desagüe o recambio, los sedimentos son menores y la oxigenación se optimizó a tal punto que los microorganismos presentes en el cuerpo generan una buena adecuación a las nuevas especies de cultivo, en el caso del cultivo hidropónico su fácil acceso de mantenimiento permite un uso controlado de evitar taponamiento y limpieza de restos de raíces del cultivo anterior, en el caso del filtro la solidificación de la colonia bacteriana permite un mejor rendimiento de filtro y minimiza el tiempo de conversión de las condiciones de amonio a nitrógeno en un menor tiempo y un cambio continuo del desarrollo de los microorganismos, todos estos factores hacen de este prototipo capaz de implementar en otros lugares, teniendo en cuenta que los factores de modificación se encuentran asociados al entorno de terreno y siendo este con el mismo tipo de cultivo tratado en el proyecto.

La producción capaz de dar el módulo depende de las condiciones puesto que al hacer un acompañamiento se encuentra que los peces dependen de factores de alimentación y oxígeno como vital importancia para su desarrollo, mientras que el espacio se puede adecuar si se brinda dichas características mencionadas anteriormente hasta no exceder su población de densidad de siembra de 4 por m², en el caso del cultivo se ve relacionado que por cada planta de la alimentación de los peces ya que la carga nutricional garantiza un buen desarrollo del cultivo (Caló, Nacional, & Cenadac, 2011), respecto al espacio si se encuentra limitado puesto que la estructura como tal ante su crecimiento no permite la aplicación de mayor plantación, y además de el volumen de riego no debe exceder el volumen mínimo necesario para la profundidad del estanque. Basado en esto y a la experiencia se obtuvieron 185 peces de pesos variables entre 460 a 480 gr con

una buena aceptación donde en el mercado su demanda está por el valor de \$5.000 los 500 gramos, donde se logran obtener un pago de \$869.500 pesos moneda colombiana.

Por parte del cultivo lechuga se estableció el precio \$6.000 los 11.000 gramos, los cuales en total se obtuvo a un promedio de 600 gr la unidad, teniendo un valor a favor de \$49.090 como precio final y un total de producción por todo el módulo de \$918.590 retornando una parte de la inversión inicial del proyecto, estos costos se elevan por el proceso de aprovechamiento fotovoltaico, siendo una parte elevada a la inversión inicial pero que a un periodo mayor a 5 años genera ganancia netas al propietario, todo esto realizado en un tiempo de no mayor a 4 meses por etapa de producción.

Para la estructura de soporte del cultivo hidropónico se utilizó ángulos de 1/8 x 1 “ de pulgada, proyectándose como una estructura practica que permita la posibilidad de ampliarse o trasladarse a otros espacios según lo vea conveniente el propietario del terreno, se estableció una altura de 1.70 mts para el punto más alto de la tubería hidropónica con el fin de ser fácil la recolección de cosecha y mantenimiento, y a 15 cm el punto más bajo con respecto al suelo para ofrecer una caída al estanque que permita la oxigenación a través de diferencia de alturas.

Tabla 5. Características de la tubería hidropónica del cultivo.

TUBERÍA SANITARIA HIDROPONÍA		
<i>Diámetro (pulgadas)</i>	<i>Longitud (metros)</i>	<i>Peso por tubería (kg)</i>
3 "	6	7.5
<i>No. De plantas por tubería</i>	<i>Peso total por tubería (kg)</i>	<i>No. Tubos total en sistema</i>
30	174	5

Este proyecto está realizado bajo condiciones establecidas con el estanque, el cual cuenta con un volumen de 24.97 m³ y con pendientes pronunciadas en sus bordes, de contextura en concreto mezcladas con piedras de gran tamaño que permitían un diseño rudimentario y a la vez funcional para la solidificación del estanque (imagen 3), por el estar ubicado cerca a linderos del jardín la

disponibilidad de espacio se encontraba limitada ante la posible ubicación del sistema hidropónico.



Imagen 3. Llenado del estanque para adaptación.

La disponibilidad y recorrido del sol durante el día era factor influyente en dos espacios, uno era el de la alimentación de fotosíntesis establecidas para las plantas-peces y el otro para los paneles solares, además de recibir el aporte de recomendación del propietario en crear un sistema estético agradable para la vista, se decide ubicar a un costado izquierdo tomando de referencia la entrada principal de la casa, la disponibilidad de un sistema eléctrico para las conexiones fueron establecidas en un rango cercano a la casa para disminuir el cableado correspondiente al sistema del panel solar, de igual manera contaba con un sistema de drenaje el cual será utilizado las veces que se necesiten hacer recambios, mientras se establece como un sistema re-circulante.

Para este tipo de sistema, el mantenimiento y la vigencia son la prioridad por ser un módulo sostenible, es por eso que es necesario conocer bien los tipos de especie que se manejan, en el caso de los peces, la tilapia como un pez adaptable se hace gratificante para cualquier tipo de terreno y más a una ubicación de variaciones de temperatura muy notoria, debido a sus características físicas, su desarrollo durante su crecimiento digestivo es regulable, lo cual minimiza el

mantenimiento intensivo, la profundidad del estanque permite un manejo adecuado de residuos sedimentados, y de la relación con los microorganismos presentes en el estanque disminuye la generación de capas de materias orgánicas que afectan directamente la vida útil del agua, el beneficio generado por la mojarra se refleja en tres tipos de variables su alimentación, turbiedad y el oxígeno que es de vital importancia, puesto que su proceso de desarrollo a diferencia de otros peces puede tardar en 4 meses a un pez con buen peso y la medida suficiente para ser comercializado, el uso excesivo de alimentación no nos refleja un resultado de mayor utilidad, puesto que se puede generar un pez con alto grado de grasas o en otro caso un alto índice de generación de microorganismos degradadores de dicho elemento.

El proceso se comienza con una cantidad de alevinos (220 peces), estos alevinos deben tener una medida de 10-12 cm para establecer una mejor adaptabilidad y respecto a las recomendaciones que ya se encuentren definidos sexualmente machos, por su rápido desarrollo de pesaje y por no descender su masa muscular como lo hace la hembra en su periodo de gestación. Después de las primeras semanas, el pez coge consistencia si su alimentación es balanceada y el desplazamiento dentro del estanque es activo sin mayores inconvenientes, el desarrollo de su relación con el material orgánico del estanque es aceptable ya que se disminuye gracias al sistema de oxigenación y bombeo para la alimentación del filtro biológico, el ciclo termina cuando a observación se logra detectar un tamaño acorde al tiempo y se procede al pesaje, en estos 4 meses, se es recomendable no disminuir el nivel de agua, así como también no desechar el agua, puesto que se encuentra actualmente con unas características óptimas para otro proceso de cultivo.

En el proceso del filtro biológico (imagen 4), se desarrolló después de haberse comprobado el sellamiento del ciclo de agua dentro del sistema, el estanque es llenado con material orgánico de leve degradación como lo es el estiércol de vaca en bajas cargas (Quindio, 1992), con el fin de comenzar el proceso de generación de bacterias. La carga biológica sedimenta dentro del estanque el cual es absorbido

por la bomba y trasladado a al filtro, donde por gravedad atraviesan un tipo de angeo que retiene partículas de gran tamaño, luego de esto residen en una cantidad de grava mediana segundo agente retenedor de sólidos, para un mejor tratamiento de estos residuos, finalizando en un material PVC donde alberga bacterias que permiten su fijación y permitiendo la degradación de amonio a un proceso más complejo de nitrógeno, este proceso conlleva un tiempo no mayor a un mes y dependiendo de las cargas disueltas e incitadas puede llegar a menos tiempo entre 2.5 semanas a 3 semanas (Pungrasmi et al., 2013). Para este ciclo entre mayor sea el tiempo de desarrollo mejor es el proceso de conversión, su tiempo de vida está estimado en 24 semanas donde se comienzan a degradar.

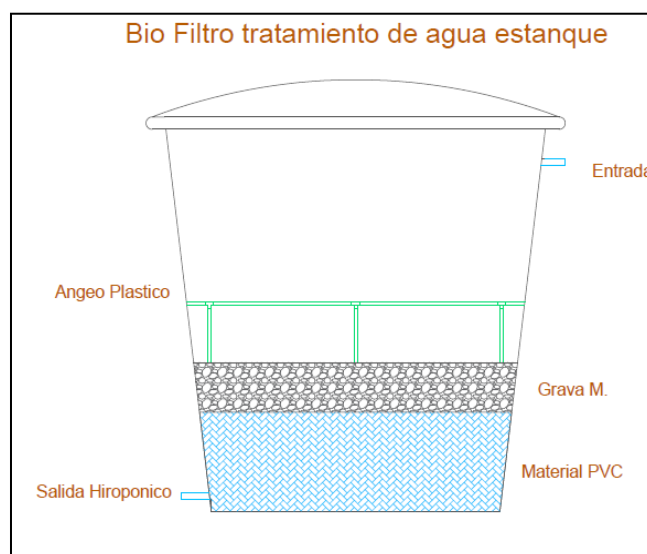


Imagen 4. Diseño de Bio-filtro para estanque.

En el caso del cultivo hidropónico (imagen 5 y 6), se debe tener en cuenta que al no tener un suelo como soporte se debe garantizar una planta establecida con al menos cinco hojas en su tallo para que a observación sea una planta estable para el trasplante, primero se realiza en un tipo de sustrato la condición ideal para la germinación donde mantienen hidratando y a un grado de iluminación alta que estimule su pronto crecimiento, el tiempo otorgado para este es de 12 a 15 días, el proceso de traslado se realiza de acuerdo a las perforaciones de la tubería teniendo en cuenta que su ingreso a cada uno debe respetar un espacio dentro del tubo para su desarrollo radicular que en el caso de la lechuga es de gran

volumen, es de vital importancia estar realizando el mantenimiento de la tubería, puesto que pueden haber residuos que se puedan enredar con las raíces y su debida extracción para no dejar contenidos de raíces en estado de composición dentro del sistema hidropónico (Carrasco & Izquierdo, 1996), después de los 40 días las pantas muestran un tallo de gran grosor y de baja altura es donde se comienza a fortalecer su composición, después de los 65 días las plantas muestran un desarrollo de las hojas expuestas a gran abertura, frondosa y a la espera de una posible florecimiento, en este caos lo más recomendable es estar pendiente de no permitir este proceso, puesto que su sabor podría a presentar agrio o afectar el cultivo siendo germinado con todo y perdiendo la cosecha.



Imagen 5. Tubería sanitaria con perforaciones para ubicación del cultivo hidropónico.

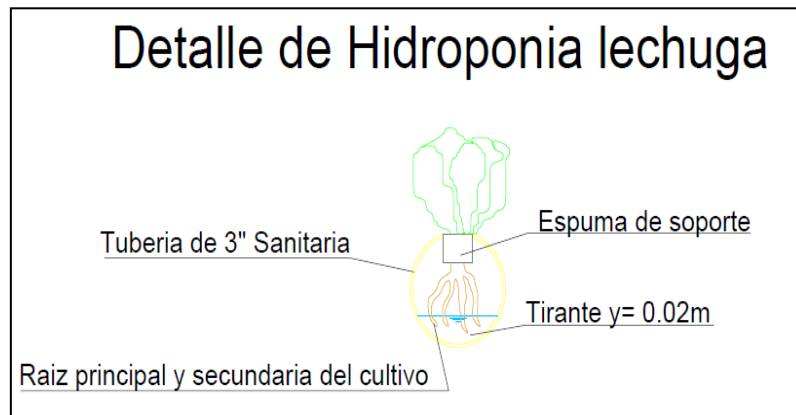


Imagen 6. Diseño frontal del desarrollo radicular y obtención de nutrientes por planta.

En el caso de la estructura de soporte (imagen 7) se estableció ángulos de $1/8 \times 1"$ a disponibilidad de poder aumentar en caso que el propietario lo desee en la carga de cultivo, recordamos que el número de plantas se calcula de acuerdo a las relación de espacio que se encuentra dispuesto a trabajar, el tirante de flujo en cada tubo es de 0.0289m lo cual permite visualmente ocupar una cuarta parte del diámetro de la tubería influyendo la aireación dentro de esta (Carrasco & Izquierdo, 1996), que permitiría un flujo uniforme y no afectaría en ningún momento la salida por las perforaciones superiores (imagen 8).

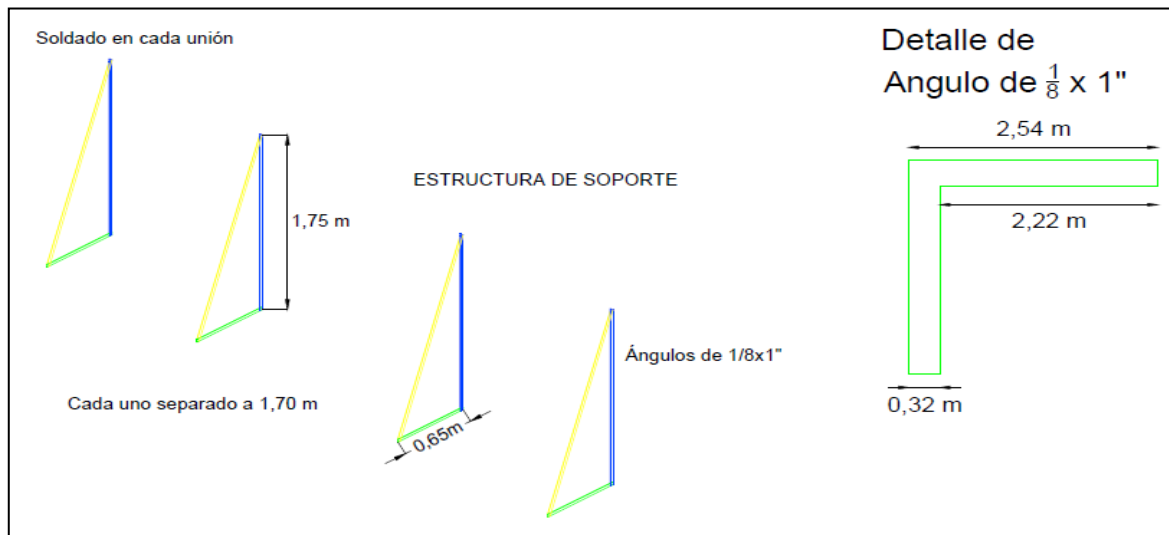


Imagen 7. Detalle de material de soporte como estructura.



Imagen 8. Sistema hidropónico con pendientes de flujo.

En el caso del estanque (Imagen 9) se preparó una semana antes de la ubicación de los peces y se dejó reposar por un tiempo lo cual generó microorganismos que después en una mínima reducción fueron introducidos dentro del estanque para crear los agentes bacterianos degradadores del amonio (Quindio, 1992).

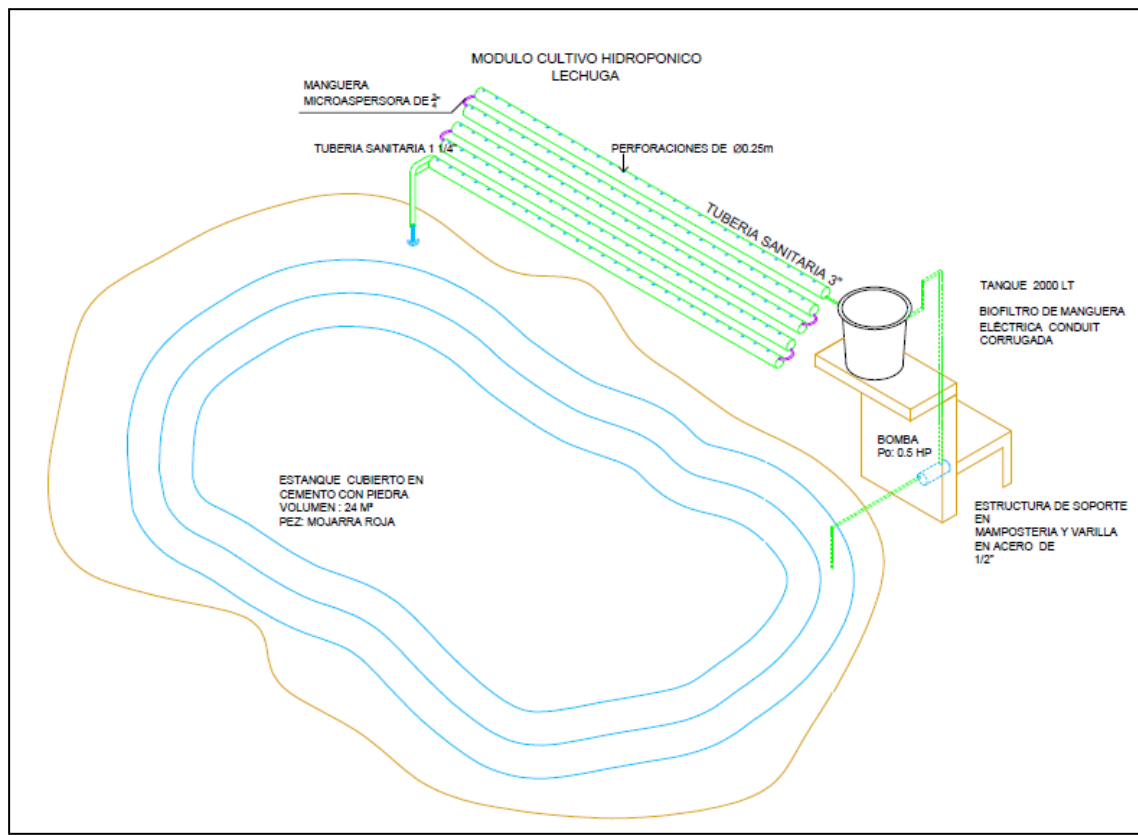


Imagen 9. Diseño isométrico del sistema acuapónico.

En el caso de la oxigenación se instalaron tubería alrededor del estanque con salida al medio para aumentar considerablemente la mezcla de oxígeno para el estanque, este proceso se realiza siempre una media hora antes para remover parte de la materia orgánica del lago, respecto a los paneles y la ubicación de la bomba se adecuo un cuarto pequeño donde se albergan y evitan el contacto con el medio externo ante un posible daño, la alimentación eléctrica es guiada por tubería Conduit a un punto externo de la casa donde recopila la información de los tiempos de riego y se ubican además los dispositivos que me permiten convertir la energía solar en energía para las bombas. La cantidad de peces fue seleccionada de acuerdo al volumen (imagen 10) y un margen de error en el cual se aceptaba el riesgo de mortandad de un 5% por posible diagnóstico de estanque nuevo el cual resulto verídico encontrando afectación en su tamaño de crecimiento, la población inicial es de 220 peces mojarra roja, se encontraron que los índices de

enfermedad son mínimos y en cambio se han encontrado inconvenientes de oxigenación, intentando solucionar sobre la marcha.

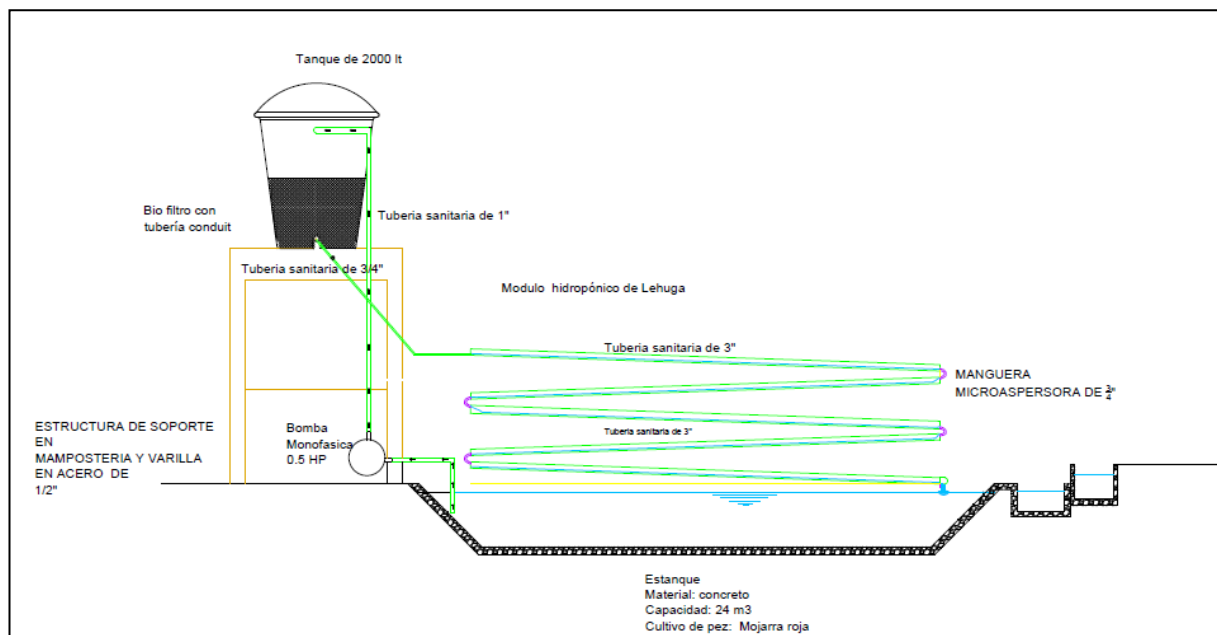


Imagen 10. Diseño frontal del sistema detallado.

Sistema fotovoltaico

Al inicio del proyecto se estableció momentáneamente el uso de la energía normal para el uso de prueba de fugas, después se implementó el sistema fotovoltaico como forma eficiente de acoplamiento a este módulo, el cual primero se evaluó los consumos generados por el sistema que en este caso son dos motobombas cada una de un caballaje diferente y lo cual se relaciona en tabla siguiente:

Tabla 6. Consumo diario sistema de riego módulo acuapónico.

Sistema del ciclo de panel solar fotovoltaico aislado			
Modelo acuapónico			
Ítem	Consumo (W)	Hora/día	Consumo Total Hora/día
Bomba de 0.5 Hp	370	1.67	617.9
Bomba de 1 Hp	750	2	1500
Total	1120	3.67	2117.9 ≈ 2200

Para el proyecto se estableció el tipo de panel que se podía encontrar en el mercado y se ajustaría más a la condición (imagen 11), con este se realizaron los cálculos basados en el cuadro de especificación de dicho panel.



Imagen 11. Especificaciones de tipo de panel.

De acuerdo a lo anterior se empieza a realizar los cálculos pertinentes que demuestra en total el tipo de sistema que se maneja para el proyecto.

Tabla 7. Especificaciones de variables para cálculo de sistema fotovoltaico.

Energía total a generar		
Factor de seguridad (y)	Energía generada (Egen)	Energía extra (Eextra)
10%	60%	3 días
Se escoge de acuerdo a la necesidad que va a enfrentar el sistema como medio de garantía.	Es la energía presupuestada que se va a utilizar descartando las pérdidas encontradas en todo el sistema.	Son los días contabilizados de nubosidad donde se plantea en caso de que no haya permanencia de sol durante intervalo de 15 días.

Para conocer el proceso de selección de sistema fotovoltaico procedemos con las siguientes formulas:

Eficiencia total n_t

$n_b = \text{Eficiencia de las baterias (80\%)}$

$n_c = \text{Eficiencia inversor (85\%)}$

$n_r = \text{Eficiencia regulador (95\%)}$

$n_x = \text{Eficiencia por otras perdidas (95\%)}$

$$n_t = n_b * n_c * n_r * n_x$$

$$E_{gen} = \frac{E_{carga_{total}}}{n_t}$$

$$3584,81 = \frac{2200 \text{ Wh/dia}}{0.6137}$$

E_{gen}: Es la energía que se genera a partir de la selección de los componentes que estarán en flujo durante el día de consumo.

$\lambda_{extra} = 20\%$ porcentaje de dia nublados en 15 dias.

$$E_{extra} = \lambda_{extra} * E_{gen}$$

$$716,96 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}} = 0.2 * \frac{3584,81 \text{ Wh}}{\text{dia}}$$

E_{extra}: Es la energía que se estima cuando los periodos de nubosidad se encuentran por un tiempo prolongado, en este caso es por días.

$$E_{gen_{total}} = \gamma * (E_{gen} + E_{extra})$$

$$4731,95 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}} = 1.1 * (3584.81 + 716,96)$$

Energía diaria proporcionada por un panel

Es la energía estimada que nos brinda el panel seleccionado durante el día.

$Wp_{(T)} = \text{Pico mas alto alcanzado por el panel seleccionado en este caso } 240W$

$HSP = \text{radiacion dependiendo de la ubicacion por dia } (\frac{4 \text{ horas}}{\text{dia}})$

$Vnp = \text{Maximo poder de voltaje característica del panel } (30.4V)$

$VP = 12V \text{ recomendacion de trabajo por reguladores}$

$$E_{panel} = Wp_{(T)} * HSP * (\frac{Vnp}{VP})$$

$$2432 \frac{Wh}{dia} = 240W * 4 \text{ horas}/dia * (\frac{30.4V}{12V})$$

Cantidad de paneles

Es para indicar cuantos paneles nos pueden albergar el consumo que se está presentando.

$$\text{Numero de paneles} = Np = E_{gen_{total}}/E_{panel}$$

$$1.94 \approx 2 = 4731,95 \frac{Wh}{dia} / 2432 \frac{Wh}{dia}$$

Dimensionamiento de regulador de carga

Consiste en conocer la capacidad soportada para manejar el amperaje que nos genera el sistema fotovoltaico.

$\% \text{ seguridad} = 25\%$

$\text{Numero de paneles en paralelo } Npp = 1$

$I_{cc} = 8.37 A \text{ condicion de panel a un cortocircuito}$

$$I_{regulador} = (\% \text{seguridad}) * (Npp) * (I_{cc})$$

$$11.46 A = (25\%) * (1) * (8.37A)$$

Panel Solar Batería Regulador Carga Regulador

Especificación:

- Salida de voltaje del sistema: trabajo de auto 12V/24V
- Corriente nominal: 10A/20A/30A
- Modo de control: modo de depuración de pulso PWM

Calculo de inversor

Se selecciona de acuerdo al consumo generado y capaz de sostener una unidad de arranque como en nuestro caso las motobombas, se selecciona un Sinusoidal, por ser de mayor rendimiento y para poder sostener la funcionalidad de las bombas.

$$S_{inversor} = Seguridad * \frac{P_{carga}}{Eficiencia}$$

$$1750 = 1.25 * \frac{1120 \frac{Wh}{dia}}{0.8}$$

Se selecciona el **Inversor 2000w 24v Onda Pura Energía Solar**

Especificaciones del equipo:

- Capacidad de 2000W/24V
- Pico de Arranque 4000W
- Onda Sinusoidal Pura
- 24V/110V
- Frecuencia. 60Hz
- Protección de corto circuito, sobrecargas, descargas, temperatura y más.

Capacidad de Batería

Nos indica la cantidad de disponibilidad de recibir y sostener durante los periodos de nubosidad o cuando se encuentre intermitente el flujo de energía.

$$E_{carga_{total}} = 2200 \text{ wh/dia}$$

$$(D_{aut} + 1) = \text{Dias de austeridad} + 1 = 3 \text{ dias} * 1 = 4 \text{ dias}$$

V_{nom} = Tension en que se va trabajar se recomienda de 24V mayor eficiencia

PD_{max} = Eficiencia de profundidad de descarga = 0.8

n_{BD} = Eficiencia de conversion de energia quimica = 0.9

n_{inv} = Eficiencia del inversor = 0.85

$$C_{bateria} = \frac{((E_{carga_{total}}) * ((D_{aut} + 1)))}{(V_{nom} * PD_{max} * n_{BD} * n_{inv})}$$

$$149.78Ah = \frac{((2200Wh/dia) * ((3dias + 1)))}{(24V * 0.8 * 0.9 * 0.85)}$$

2 baterías De Gel Panel Solar A 12 Voltios De 150 Ah

- 6 celdas, 12 voltios, M6 M Terminal de Recepción
- Vida útil 4-6 años
- Las placas positivas - rejilla de plomo puro utilizando un único proceso de fabricación.

De acuerdo a todos los cálculos se seleccionó las mejores opciones para nuestro sistema siempre creando una holgura no muy grande para no aumentar gastos, pero si para crear un módulo sostenible y capaz ante una situación de fluctuación o sobrecarga nos sostenga los elementos que están funcionando.

Reúso del agua

El agua es el agente encargado del desarrollo de los cultivos, su conservación y perfecto estado son condiciones esenciales en el ciclo de vida del sistema, para ello es necesario hacer mediciones donde nos indique las condiciones en las que se encuentra y se pueda postergar aún más el tiempo de uso de este recurso. A pesar de su apariencia física, se encuentra diferentes aspectos microbiológicos, físicos y químicos que con el tiempo se va reduciendo por su alta actividad durante este proceso, debido a todo esto se reconoce que como un desgaste normal del recurso, se propone que a los 8 meses como un tiempo necesario para la renovación de agua de un estanque, esto enfocado que de acuerdo al tiempo de

dos producciones, varia de estas se deben acondicionar con diferentes agentes externos para su estabilización, además de esto se debe tener un mantenimiento acorde a tiempos de desarrollo de las actividades, donde se realice un monitoreo que disminuya la carga orgánica del estanque, la limpieza del filtro cada cambio de producción o retoma, y la vigilancia de sedimentos en el sistema hidropónico, que no permita el crecimiento de microorganismos o puedan alterar a posteriores cultivos, este mantenimiento se realiza después primera producción o durante el desarrollo del sistema, de acuerdo a la cantidad materia orgánica que se pueda encontrar en el estanque, el cual se procede al ingreso con botas, logrando remover el material del fondo, con el fin de ser bombeado y sedimentado en el filtro para luego ser degradado. En el caso del filtro se recomienda de la primera producción el cual se desarticula del sistema, extrayendo la malla de separación de residuos y lavándose exteriormente, despojando el material aferrado a este, para la otra parte del filtro se realiza un lavado a chorro que pueda circular el material PVC utilizado el cual elimina todo rasgo de microorganismo siendo eliminado, todo el material lavado en la parte inferior del tanque, para el caso puntual del sistema hidropónico, su diseño y fácil instalación hace sencillo el proceso de mantenimiento, retirando los tapones prueba de cada tubería y utilizando un fluido presurizado con detergente que elimine posibles microorganismos albergados, este paso se realiza por cada uno de los tubos, y se empalma todo el sistema.

Fundamentalmente el sistema se encuentra a merced de una carga balanceada donde la cantidad de peces por su capacidad de metabolismo genera el número necesario de nutrientes para las plantas, el proceso de trasfondo es la generación de estos nutrientes puesto que los sedimentos y demás agregados dentro del cuerpo de agua, son componentes que alteran las características de esta misma, es así que entra un proceso químico de biofiltración donde entran a actuar bacterias Nitrosomonas, principales degradadoras de materia orgánica a nitritos, su rendimiento es estable dependiendo las unidades de cultivo del filtro y a la capacidad de oxígeno que están en su medio, las bacterias Nitrobacter son principales descomponedores del nitrito para transformarlo en nitrógeno en una

cantidad aceptable para ser absorbidas por el cultivo (Caló, Nacional, & Cenadac, 2011) .Después de ser absorbidos, las raíces retienen en un porcentaje mayor de nutrientes del tirante de flujo, permitiendo llegar al estanque una excelente mezcla de oxígeno con agua .La sedimentación que se presenta en el fondo de estanque es reducida por el método de oxigenación, teniendo en cuenta el manejo de la población necesaria para el entorno de microorganismos que interactúan como factores de complemento en el desarrollo de su crecimiento ya sea por metabolización y por posibles enfermedades (Buzby & Lin, 2014) .

Mientras que en el caso de los nutrientes, viene dado por la alimentación de los peces de ahí es el factor fundamental de nutrientes como actores integrales en el consumo y degradación por medio de su metabolismo que comienza a generar componentes que interactúan con los diferentes organismo que conviven en el estanque, pero que no logran llegar al sistema hidropónico, es allí donde el sistema de bombeo entra como componente el cual cumple la función de alimentar el tanque el cual comienza un proceso de generación de nutrientes como lo son la demanda química convertida gracias a bacterias del ciclo del nitrógeno y que componen el principal alimento, en el caso de las plantas interactúan con el flujo el cual disminuye disminuir las cantidades de nitrógeno que no son recomendables para peces, entregando una cantidad agua con un grado de oxigenación mayor, menor PH y de gran renovación para el sistema. Es así que los peces perciben unas condiciones ideales para su actividad en el agua, la cual garantiza un desarrollo normal del pez y permite acelerar sus condiciones de acuerdo a los parámetros biológicos mencionados anteriormente. Para el caso de las plantas su crecimiento es óptimo de una mayor eficacia puesto que reciben las cantidades necesarias de nutrientes y además permite obtener una lechuga fresca y de mayor grado de interacción con el medio ante su degradación(Carrasco & Izquierdo, 1996).

Entorno económico

Tabla 8. Costo total de proyecto e inicio de proyecto cuatrimestral.

COSTO TOTAL DE PROYECTO MOJARRA-LECHUGA \$ 9.676.500			
Costo inicial por cada nueva etapa	V/Unitario	Cantidad	Total
Alevinos	\$ 200	220	\$ 44.000
Alimento peces 4 meses	\$ 150.000	1	\$ 150.000
Paquete de vasos x 20 unidades	\$ 4.500	8	\$ 36.000
Cascarilla de arroz bulto	\$ 9.000	2	\$ 18.000
Total			\$ 248.000

Tabla 9. Ingreso cuatrimestral y mantenimiento.

Ingreso cuatrimestral	Egreso inicial por nuevo proyecto	Ingreso cuatrimestral	Mantenimiento bomba y sistema cada 8 meses
\$ 918.590	\$ 244.000	\$ 674.590	\$ 160.000

A pesar de contar con una gran inversión al inicio del proyecto debido a los dispositivos del sistema fotovoltaico y al elevado precio del dólar en que se adquirió el material, este módulo es capaz a un tiempo mayor de 5 años de originar ganancias netas a favor del propietario mostrando, una rentabilidad capaz de generar un monto para su mantenimiento y posibilidad de ocasionar más ingreso, en caso de aumentar la capacidad del estanque o del cultivo vegetal, en el caso específico de la mojarra es una salida económica que da garantía por su alta demanda , en el caso particular de la lechuga se encuentra que el mercado se maneja muy estable y depende de la producción de mayor cantidad para una alternativa económica, se puede estudiar el caso de ofrecer un producto vegetal más rentable o de mayor demanda.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados del modelo, podemos concluir que es adaptable a varios terrenos, ofreciendo alternativas de uso con diferentes especies, según las condiciones ambientales y de adaptabilidad.

En el caso específico del nitrógeno, como nutriente, es un requerimiento que incide en la selección del tipo de cultivo, según la dependencia de este.

El tamaño de escala satisface con las especificaciones del planteamiento, cumpliendo con su función principal de optimización de espacio y con la preservación del suelo. En la utilización de un mayor de terreno, se deben estudiar los costos, ya que a mayor extensión aumentaría las ramificaciones y la implementación de tuberías o el uso de otro sistema hidropónico alternativo que se relacione con la acuaponía.

Los cultivos vegetales que se seleccionan se deben tener en cuenta frutos o altura de la planta, el peso adicional al tallo y a la inestabilidad que se pueda presentar puede influir directamente en la producción vegetal, el desarrollo de crecimiento en el caso de otros cultivos se deberá implementar distintos tipos de abonos que puedan complementar la tasa nutricional para el cultivo, los requerimientos hídricos se estimaron enfocado en el cultivo de lechuga y a la radiación expuesta a la que se encuentra en campo.

En caso del manejo del filtro se muestra una amplia necesidad de optimizar la degradación, siendo una propuesta a futuro de eficiencia y optimización del sistema, pues es un agente principal para el manejo nutritivo del sistema en dirección estanque-cultivo vegetal. En el caso del estanque las condiciones ideales para garantizar un desarrollo con una población mayor, influye directamente el espacio, la oxigenación y alimentación, demostrando que sus índices estables dan como resultado una carne fresca, de buena apariencia y peso.

En el caso del sistema fotovoltaico al ser un módulo propuesto ante la variabilidad de alternativas como amigables al medio, los costos iniciales son muy elevados pero su viabilidad a un periodo mayor a 5 años, nos muestra que el diseño es capaz de sostenerse y de proveer al propietario ante un mantenimiento adecuado, una proyección a futuro de un negocio rentable, para el sostenimiento del diario vivir o económico ante la posibilidad de iniciar una idea económica, la idea principal es manejar un cultivo vegetal de mayor rentabilidad que pueda generar mayores ingresos.

Finalmente se encuentra que la producción de ambos cultivos son soluciones de gran rentabilidad, la diversidad de organismos con los que se trabajan, son motivaciones particulares para el desarrollo de la ingeniería puesto que cada uno de sus componentes, son un gran ejemplo de crear medios de eficiencia, es gratificante ver los resultados de un proyecto se remarquen y se pueda insistir en una idea de negocio, la viabilidad y la diversidad de escalamiento permite ser inspirador y alternar con espacios que probablemente ya han sido olvidados, por la particularidad limitaciones de espacios o de condiciones ambientales que no logren la finalidad que se requiera. El conocimiento de ambos modelos permite afianzar procesos que han sido separados y que incluso en la carrera de ingeniería agrícola no se han tocado como lo es la acuicultura. Somos un país agrícola el cual el enfoque es necesario como primer y fundamental sector de la economía, generar alternativas que solidifiquen el desarrollo del campo o que inspire al urbano a experimentar y conocer de sus capacidades, sería lo más vital con este trabajo de grado. Lo encontrado en cada parte de las experiencias permite crecer las ansias de conocer y de investigación que ayuden de trasfondo a crear un sistema sostenible y de diversidad en cultivos, agregándole el cuidado y un buen manejo de las condiciones ambientales que enfoquen la perdurabilidad de los recursos.

Es cautivante como el desarrollo de las tecnologías se puedan aprovechar optimizando muchos de los procesos que se ven difícil de alcanzar, que minimizan procedimientos que se puedan adaptar a las condiciones con la consigna de

mejorar y persistir en ideas que permita crecer al ser humano y entender la diversidad entornos que se rodea. La estructuración de este proyecto es la dualidad de conocer y de investigar, de identificar el recorrido largo que se ha hecho durante la carrera y de seguir creciendo, que es necesario ser inquieto en conocimiento. La diversidad a la que se experimentó permitió conocer un amplio campo olvidado de la acuicultura en partes del valle del cauca, de la posibilidad de crear medios para el desarrollo de cultivos de mayor riesgo y controlar las condiciones para garantizar su viabilidad, el conocimiento amplio que se aprendió con este sistema permite el poder seguir creciendo encontrando los mejores indicadores hasta establecer las condiciones ideales o en su defecto los más provechoso para su producción.

BIBLIOGRAFÍA

- Bosma, R. H., Lacambra, L., Landstra, Y., Perini, C., Poulie, J., Schwaner, M. J., & Yin, Y. (2017). The financial feasibility of producing fish and vegetables through aquaponics. *Aquacultural Engineering*, 78(July), 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.07.002>
- Buzby, K. M., & Lin, L. S. (2014). Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquacultural Engineering*, 63, 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.09.002>
- Caló, P. P., Nacional, C., & Cenadac, D. D. A.-. (2011). Introducción a la Acuaponia, 1–15.
- Carrasco, G., & Izquierdo, J. I. (1996). Manual técnico: La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de solución nutritiva recirculante (“NFT”). *Organizacion de Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación. Universidad de Talca*, 2–62.
- Delaide, B., Delhaye, G., Dermience, M., Gott, J., Soyeurt, H., & Jijakli, M. H. (2016). Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system. *Aquacultural Engineering*, 78(November 2016), 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.06.002>
- Fang, Y., Hu, Z., Zou, Y., Fan, J., Wang, Q., & Zhu, Z. (2017). Increasing economic and environmental benefits of media-based aquaponics through optimizing aeration pattern. *Journal of Cleaner Production*, 162, 1111–1117. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.158>
- FAO. (2011). Manual básico de sanidad piscícola. *Ministerio de Agricultura Y Ganadería. Viceministerio de Ganadería*, 1–52.
- García Ulloa, M., León, C., Hernández, F., & Chavéz, R. (2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponia. *Avances de Investigación Agropecuaria*, 9, 5. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gutiérrez Reyes Oziel. (1957). Automatización De Un Sistema Invernadero Con Hidroponia. *Disco vv-9/LD.(Contiene Cuatro Fragmentos de ...)*, 128. Retrieved from <http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/TesisMaestriaAvith2012.pdf>
- Ngo Thuy Diem, T., Konnerup, D., & Brix, H. (2016). Effects of recirculation rates on water quality and *Oreochromis niloticus* growth in aquaponic systems. *Aquacultural Engineering*, 78(May), 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.05.002>
- Ordóñez Arias José Alberto, T. N. D. A. (2005). medidores-flujo.
- Pungrasmi, W., Playchoom, C., & Powtongsook, S. (2013). Optimization and evaluation of a bottom substrate denitrification tank for nitrate removal from a recirculating aquaculture system. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 25(8), 1557–1564. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(12\)60248-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(12)60248-4)
- Quindio, C. A. R. del. (1992). *Cultivo de peces* (1st ed.). Armenia.
- Saavedra, M. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. *CIDEA. Nicaragua*, 24. Retrieved from [#0](http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Manejo+del+cultivo+de+tilapia)

- Wongkiew, S., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J. W., & Khanal, S. K. (2017). Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*, 76, 9–19.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.01.004>
- Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Xie, H., Guimbaud, C., & Fang, Y. (2016). Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. *Bioresource Technology*, 210(3), 81–87.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.12.079>
- Lam, S. S., Ma, N. L., Jusoh, A., & Ambak, M. A. (2015). Biological nutrient removal by recirculating aquaponics system: Optimization of the dimension ratio between the hydroponic & rearing tank components. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 102, 107–115.
<http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.03.012>
- Love, D. C., Uhl, M. S., & Genello, L. (2015). Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland, United States. *Aqua cultural Engineering*, 68, 19–27.
<http://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2015.07.003>
- Luo, G., Gao, Q., Wang, C., Liu, W., Sun, D., Li, L., & Tan, H. (2014). Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *Aquaculture*, 422–423, 1–7. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.11.023>
- Pungrasmi, W., Playchoom, C., & Powtongsook, S. (2013). Optimization and evaluation of a bottom subtracted nitrification tank for nitrate removal from a recirculating aquaculture system. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 25(8), 1557–1564.
[http://doi.org/10.1016/S1001-0742\(12\)60248-4](http://doi.org/10.1016/S1001-0742(12)60248-4)
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2012). Biofloctechonology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356–357, 351–356.
<http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>
- Arenas, D., & Zapata, H. (2011). Libro interactivo de energía solar y sus aplicaciones. Proyecto de fin de carrera en Técnico en Electricidad.
- Caló, P. P., Nacional, C., & Cenadac, D. D. A.-. (2011). Introducción a la Acuaponia, 1–15.
- Galli Merino, O., & Sal, F. M. (2007). Sistemas de Recirculación y Tratamiento de agua, 37.
- Hu, Z., Lee, J. W., Chandran, K., Kim, S., Brotto, A. C., & Khanal, S. K. (2015). Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bio-resource Technology*, 188, 92–98.
<http://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.013>
- Ordóñez Arias José Alberto, T. N. D. A. (2005). medidores-flujo.
- García Ulloa, M., León, C., Hernández, F., & Chavéz, R. (2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponia. *Avances de Investigación Agropecuaria*, 9, 5.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gutiérrez Reyes Oziel. (1957). Automatización De Un Sistema Invernadero Con Hidroponia. *Disco vv-9/LD. (Contiene Cuatro Fragmentos de ...)*, 128. Retrieved from <http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/TesisMaestriaAvith2012.pdf>