



**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

**TESIS DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO AGROPECUARIO**

TEMA

SISTEMA ACUAPÓNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE
LECHUGA (*Lactuca sativa*) Y TILAPIA (*Oreochromis
niloticus*), SANTA ANA - 2020

AUTOR

JOHAN EDUARDO MARTÍNEZ BURGOS

TUTOR

Blgo. VÍCTOR ALCÍVAR ROSADO

SANTA ANA - MANABÍ - ECUADOR

2020

**LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR
APRUEBAN EL INFORME DEL TRABAJO DE GRADO
SOBRE EL TEMA:**

SISTEMA ACUAPÓNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*Lactuca sativa*) Y TILAPIA (*Oreochromis niloticus*), SANTA ANA-2020, del egresado **MARTÍNEZ BURGOS JOHAN EDUARDO**, luego de haber sido analizado por los señores miembros del Tribunal de Grado, en cumplimiento de lo que establece la ley se da por aprobada la sustentación, acción que le hace acreedor al título de Ingeniero Agropecuario.

Manta, 25 de noviembre de 2020.

Miembros Del Tribunal Calificador.

Ing. Horley Cañarte García

Ing. Valter Mero Rosado

Blgo. Carlos Chinga Panta

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Blgo. Víctor Alcívar Rosado certifica haber tutorado la tesis **SISTEMA ACUAPÓNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*Lactuca sativa*) Y TILAPIA (*Oreochromis niloticus*), SANTA ANA-2020**, la cual ha sido desarrollada por **MARTÍNEZ BURGOS JOHAN EDUARDO** egresado de la carrera de Ingeniería Agropecuaria, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario de acuerdo al reglamento para la elaboración de la tesis de grado del tercer nivel, de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Manta, 25 de noviembre de 2020.

Blgo. Víctor Alcívar Rosado
TUTOR PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE TESIS

Yo, **MARTÍNEZ BURGOS JOHAN EDUARDO**, con C.I: **131359177-6** egresado de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ciencias Agropecuarias, carrera Ingeniería Agropecuaria, libre y voluntariamente declaro que la responsabilidad de las ideas, doctrinas, resultados y conclusiones obtenidas de la presente tesis titulada **SISTEMA ACUAPÓNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*Lactuca sativa*) Y TILAPIA (*Oreochromis niloticus*), SANTA ANA-2020**, me corresponde exclusivamente y la propiedad intelectual de la misma pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Manta, 25 de noviembre de 2020.

Martínez Burgos Johan Eduardo

C.I: 131359177-6

DEDICATORIA DEL ESTUDIANTE

El presente trabajo investigativo lo dedico con todo mi afecto y devoción a Dios por ser mi guía, mi base y el pilar fundamental de lucha en todo momento.

A mis señores padres por su amor, conocimientos, paciencia, motivación, trabajo, soporte y sacrificio durante todo este proceso de vida estudiantil conllevado.

A mis familiares en general por su cariño, apoyo, comprensión, respaldo y colaboración infinita a pesar de las adversidades con tal de verme triunfar.

A mis ángeles en el cielo Esmeralda, José y Rosa por sus enseñanzas brindadas, valores y si incondicional forma de aprecio, motivos por los cuales siempre serán mi motor para ser un gran profesional y más que toda una maravillosa persona.

AGRADECIMIENTO DEL ESTUDIANTE

Mi agradecimiento pleno a Dios, porque gracias a su voluntad he logrado conseguir a base de sacrificio y dedicación todos mis anhelos y metas propuestas, sintiéndome bendecido en cada instante de mi vida porque me honra al permitirme sentir su presencia.

A mis padres por su maravilloso amor y obrar hacia conmigo, demostrándome que la vida es un aprendizaje continuo, en donde todo sacrificio tiene su grandiosa recompensa, ya que, en la vida no existe imposibles si de por medio está tu esfuerzo y tus valores.

A mis familiares, novia y amistades cercanas que se han convertido en parte de mi familia, por su ayuda y soporte brindado de manera absoluta, permitiéndome apreciar lo bendecido que he sido en esta vida al tenerlos presentes conmigo.

A mi querida ULEAM por brindarme y abrirme las puertas a la educación y a cada uno de mis docentes por sus extraordinarios conocimientos y consejos brindados a lo largo de esta maravillosa carrera estudiantil.

Por último, a todas aquellas personas que he logrado conocer en el transcurso de estos años de estudio, ya que, con sus palabras y recomendaciones me han permitido aprender, crecer y vivir experiencias inigualables como persona, generando en mí gratos recuerdos.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
III. JUSTIFICACIÓN	6
IV. MARCO TEÓRICO	8
4.1 Historia de la acuaponía	8
4.2. Crecimiento global de la acuaponía.....	9
4.3. La acuaponía en la región	11
4.4. Generalidades de la acuaponía	12
4.5. Elementos de un sistema acuapónico	13
4.5.1. Componentes biológicos	13
4.5.2. Componente acuícola: Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	15
4.5.2.1. Taxonomía	15
4.5.2.2. Morfología del pez.....	16
4.5.2.3. Ciclo biológico	16
4.5.2.4. Especies.....	17
4.5.2.5. Alimentación.....	18
4.5.2.6. Condiciones para el cultivo de tilapia	19
4.5.3. Componente hidropónico: Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.).....	21
4.5.3.1. Taxonomía	21
4.5.3.2. Características morfológicas	22
4.5.3.3. Ciclo productivo de la lechuga	22
4.5.3.4. Variedades	23
4.5.3.5. Requerimientos nutricionales	24
4.5.3.6. Condiciones para el cultivo de lechuga.....	26
4.5.4. Unidades de cultivo para peces.....	26
4.5.5. Aireación.....	27
4.5.6. Recirculación	27
4.5.7. Filtración	28
4.5.7.1. Filtración mecánica	28

4.5.7.2. Filtración biológica	29
4.5.8. Técnicas hidropónicas	29
4.5.8.1. Sustrato sólido inerte.....	29
4.5.8.2. Película Nutritiva (NFT)	30
4.5.8.3. Raíz flotante	30
4.5.9. Calidad de agua para un sistema acuapónico.....	30
4.5.9.1. Oxígeno disuelto (OD).....	31
4.5.9.2. Potencial de hidrogeno (pH).....	32
4.5.9.3. Temperatura.....	32
4.5.9.4. Amoniacó (NH ₃).....	32
4.5.9.5. Nitrito (NO ₂ -)	33
4.5.9.6. Nitratos (NO ₃ -).....	33
V. HIPÓTESIS.....	34
VI. OBJETIVOS.....	34
6.1. Objetivo general.....	34
6.2. Objetivos específicos	34
VII. METODOLOGÍA	34
7.1. Ubicación	34
7.2. Duración.....	35
7.3. Tipo de investigación	35
7.4. Material experimental.....	35
7.4.1. Factor en estudio	35
7.4.2. Tratamientos.....	35
7.5. Delineamiento experimental	36
7.6. Esquema de análisis de varianza	36
7.7. Pruebas funcionales	36
7.8. Características de la Unidad Experimental	36
7.9. Variables a medir	36
7.9.1. Cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>).....	36
7.9.1.1. Altura de planta	36
7.9.1.2. Número de hojas.....	37

7.9.1.3. Peso de planta	37
7.9.2. Cultivo de tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	37
7.9.2.1. Longitud del pez.....	37
7.9.2.2. Peso del pez	37
7.9.2.3. Incremento de peso del pez	38
7.10. Manejo del ensayo.....	38
7.10.1. Diseño y planificación de la estructura general del sistema acuapónico	38
7.10.2. Construcción del invernadero	38
7.10.3. Montaje del sistema acuapónico	39
7.10.4. Pruebas al sistema	42
7.10.5. Inoculación de bacterias del biofiltro.....	43
7.10.6. Semillero.....	43
7.10.7. Introducción de tilapias al sistema.....	43
7.10.8. Trasplante de plántulas al sistema	44
7.10.9. Medición de organismos vivos (plantas-peces)	45
7.10.9.1. Plantas.....	45
7.10.9.2. Peces.....	46
7.10.10. Cosecha de cultivos	46
7.10.11. Limpieza y desmontaje del sistema acuapónico	47
VIII. RESULTADOS	47
8.1. Cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	47
8.1.1. Altura (cm) en la planta a los 30 días	47
8.1.2. Altura (cm) en la planta a los 45 días	48
8.1.3. Incremento de altura (cm) en la planta a los 30 días.....	48
8.1.4. Incremento de altura (cm) en la planta a los 45 días.....	48
8.1.5. Número de hojas de las plantas de lechuga a los 30 días.....	49
8.1.6. Número de hojas de las plantas de lechuga a los 45 días.....	49
8.1.7. Ganancia número de hojas de las plantas de lechuga a los 30 días.....	49
8.1.8. Ganancia número de hojas de las plantas de lechuga a los 45 días.....	50

8.1.9. Peso (g) promedio de planta a los 45 días	51
8.1.10. Peso (g) total de planta por tratamiento a los 45 días	51
8.2. Cultivo de tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	52
8.2.1. Longitud promedio (cm) del pez a los 60 días	52
8.2.2. Incremento en longitud (cm) del pez a los 60 días	52
8.2.3. Peso promedio (g) del pez a los 60 días	53
8.2.4. Incremento del peso (g) del pez a los 60 días	53
8.2.5. Peso total (g) del pez por tratamiento.....	53
IX. DISCUSIÓN.....	54
X. CONCLUSIONES	58
XI. RECOMENDACIONES.....	59
XII. BIBLIOGRAFÍA.....	60
XIII. ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Etapas del ciclo biológico de la tilapia. Fuente: (Cantor 2007; Agrotendencia 2020)	16
Tabla 2. Alimentación requerida según la fase del cultivo de tilapia. Fuente: (Mazo 2013)	19
Tabla 3. Requerimientos nutricionales para el cultivo de tilapia. Fuente: (Bhujel Ram 2002).....	19
Tabla 4. Parámetros ideales para el desarrollo del cultivo de tilapia. Fuente: (Cantor 2007)	20
Tabla 5. Distribución poblacional de tilapia dentro de un cultivo semi intensivo. Fuente: (INCOPESCA 2014).....	21
Tabla 6. Características del ciclo productivo de la lechuga. Fuente: (INIA 2017)	22
Tabla 7. Parámetros ideales para el desarrollo del cultivo de lechuga hidropónica. Fuente: (Hydro Environment 2020; Gilsanz 2007)	26
Tabla 8. Rangos generales de tolerancia de calidad de agua para peces, plantas y bacterias nitrificantes dentro de un sistema acuapónico. Fuente: (Agrotendencia 2020).....	31
Tabla 9. Descripción de los tratamientos.....	35
Tabla 10. Análisis de varianza	36
Tabla 11. Descripción de ecuaciones para determinar el incremento de peso en el pez.....	38
Tabla 12. Altura de la lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	48
Tabla 13. Número de hojas de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>).....	50
Tabla 14. Peso de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>).....	51
Tabla 15. Incremento en la longitud de tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	52
Tabla 16. Incremento del peso en tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de actividades para el manejo del ensayo	70
Anexo 2. Croquis de campo y distribución de los tratamientos	71
Anexo 3. Estructura general del sistema acuapónico.....	72
Anexo 4. Cultivo acuícola de tilapia.....	73
Anexo 5. Cultivo hidropónico de lechuga	74
Anexo 6. Equipos e implementos para evaluar la calidad de agua del sistema	75
Anexo 7. Calidad de agua del sistema	76
Anexo 8. Análisis de varianza de las variables en estudio	77

RESUMEN DEL TRABAJO

La presente investigación se realizó desde septiembre de 2019 a febrero de 2020 en la Finca Experimental del Conocimiento y Tecnología Lodana, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ubicada en la parroquia Lodana, cantón Santa Ana, provincia de Manabí, entre las coordenadas: Latitud: 1°18'33" Sur, Longitud: 80°38'52" Oeste y una altitud: 47 ms.n.m. Se planteó el objetivo de evaluar un sistema acuapónico con recirculación de agua para la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*). El factor en estudio fue la densidad poblacional de tilapia más la densidad poblacional de lechuga en una proporción de 1:2, es decir, por cada pez en el sistema se colocaron dos plantas, siendo los tratamientos: 8 peces + 16 lechugas (T1:P8L16), 10 peces + 20 lechugas (T2:P10L20) y 12 peces + 24 lechugas (T3:P12L24) por metro cúbico de agua. Se empleó un Diseño Completamente al Azar (D.C.A.) con 24 repeticiones. El sistema acuapónico implementado es eficiente para la producción de los componentes vegetal y acuícola obteniendo valores promedios en la producción de biomasa de 3 Kg de lechuga y 2 Kg de tilapia, en 45 y 60 días, respectivamente. Dentro de la investigación el tratamiento 2 (P10L20) obtuvo los mejores promedios para la producción de lechuga obteniéndose en: altura de planta a los 30 días (18,1 cm) y 45 días (30,07 cm); incremento de altura de planta a los 30 días (10,58 cm; 58,45%) y 45 días (22,54 cm; 74,99%); número de hojas por planta a los 30 (12,04 hojas) y 45 días (17,98 hojas); ganancia de número de hojas por planta a los 30 (8,04 hojas; 66,78%) y 45 días (13,98 hojas; 77,75%); y peso promedio de planta a los 45 días (129,67 g). En la tilapia existe diferencia estadística en las variables (peso y longitud), en donde el tratamiento 1 (P8L16) presentó promedios superiores en: longitud del pez a los 60 días (24,23 cm); incremento en longitud del pez a los 60 días (7,10 cm; 29,26%) y peso promedio del pez a los 60 días (175,2 g). En la variable incremento del peso del pez a los 60 días no hay diferencias estadísticas, pero el tratamiento 1 (P8L16) tiene el promedio más alto (78,58 g; 44,85%). El tratamiento 3 (P12L24) tiene los valores más bajos de manera individual tanto en peces

como en plantas; no obstante, es el más eficiente en producción de biomasa, presentando 2 Kg. de peso total de los peces por metro cúbico (60 días), y 3 Kg, peso total de planta por tratamiento a la cosecha (45 días).

SUMMARY

This research was carried out from September 2019 to February 2020 at the Experimental Farm of Knowledge and Technology Lodana, of the Faculty of Agricultural Sciences of the Laica Eloy Alfaro de Manabí University, located in the Lodana parish, Santa Ana canton, province of Manabí, between the coordinates: Latitude: 1018'33 " South, Longitude: 80038'52 " West and an altitude: 47 MAMSL. The objective was to evaluate an aquaponic system with recirculation of water for the production of tilapia (*Oreochromis niloticus*) and lettuce (*Lactuca sativa*). The factor under study was the population density of tilapia plus the population density of lettuce in a ratio of 1: 2, that is, for each fish in the system two plants were placed, the treatments being: 8 fish plus 16 lettuces (T1: P8L16), 10 fish plus 20 lettuces (T2: P10L20) and 12 fish plus 24 lettuces (T3: P12L24) per cubic meter of water. A Random Complete Design (D.C.A.) with 24 repetitions was used. The aquaponic system implemented is efficient for the production of the vegetable and aquaculture components, obtaining average values in the biomass production of 3 Kg of lettuce and 2 Kg of tilapia, in 45 and 60 days, respectively. Within the investigation, treatment 2 (P10L20) obtained the best averages for lettuce production, being obtained in: plant height at 30 days (18.1 cm) and 45 days (30.07 cm); plant height increase at 30 days (10.58 cm; 58.45%) and 45 days (22.54 cm; 74.99%); number of leaves per plant at 30 (12.04 leaves) and 45 days (17.98 leaves); increase in the number of leaves per plant at 30 (8.04 leaves; 66.78%) and 45 days (13.98 leaves; 77.75%); and average plant weight at 45 days (129.67 g). In tilapia there is a statistical difference in the variables (weight and length), where treatment 1 (P8L16) presented higher averages in: fish length at 60 days (24.23 cm); increase in fish length at 60 days (7.10 cm; 29.26%) and average fish weight at 60 days (175.2 g). There are no statistical differences in the variable, fish weight increase at 60 days, but treatment 1 (P8L16) has the highest average (78.58 g; 44.85%). Treatment 3 (P12L24) has the lowest values individually in both fish and plants; However, it is the most efficient in biomass production, presenting 2 kg of total fish weight per cubic meter (60 days), and 3 kg, total plant weight per treatment at harvest (45 days).

I. INTRODUCCIÓN

Enfrentarse a los retos de una población mundial creciente, la competición por recursos imprescindibles y limitados como el agua, la tierra, los alimentos y la energía, así como las prácticas agrícolas no sostenibles que contribuyen al cambio climático y agravan aún más la situación, son varias de las problemáticas que a día de hoy permite resolver en parte la acuaponía (AquaHoy 2014).

La acuaponía es una técnica que integra la acuicultura (producción, crecimiento y comercialización de organismos acuáticos, animales o vegetales, de aguas dulces, salobres o saladas), en conjunto con la hidroponía (producción de plantas sin el uso del suelo, por medio de la utilización de soluciones acuosas nutritivas, con o sin el apoyo de diversos materiales inertes) dentro de un sistema de recirculación del agua, en donde los desechos metabólicos generados por los peces y los restos de alimentos, son utilizados por los vegetales (plantas) y transformados en materia orgánica vegetal (Rakocy 2012).

Esta técnica de producción de alimentos se ha convertido toda una tendencia durante la última década, ya que es un ejemplo de los sistemas de recirculación denominados en general como agro-acuicultura integrada (AAI), en donde se combinan nuevas tecnologías y buenas prácticas agrícolas para reducir la “huella hídrica” de la agricultura y hacer un uso inteligente y eficiente de los recursos naturales (FAO 2018).

Con estos conceptos y definiciones introductorias se puede entonces definir a la acuaponía como una gran herramienta productiva que permite el aprovechamiento de las áreas, un uso más eficiente del agua y sobre incluye enfoques de economía circular y acuicultura multitrófica (Palm *et al.* 2018).

El presente trabajo investigativo tiene como finalidad montar un sistema de producción de cultivos a partir del uso de la técnica de la acuaponía, integrando los cultivos de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en diversas densidades dentro de un medioambiente simbiótico, permitiendo demostrar así, que este tipo de técnica es viable para la producción de alimentos

orgánicos y de calidad tanto de origen animal como vegetal en zonas rurales y urbanas con limitaciones en la disponibilidad de recursos.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El rápido crecimiento de la población mundial con mayores demandas de comida y agua, provoca mayores influencias del hombre sobre el suelo, tanto a través de la expansión y de la intensificación de actividades agrícolas, como por el crecimiento del número y tamaño de áreas pobladas e infraestructuras asociadas. El mundo cuenta con cada vez menos hectáreas para la producción sostenible de alimentos, lo cual se constituye en una seria amenaza para la seguridad alimentaria del planeta (Pla Sentis 2015).

Con una población mundial que se proyecta supere los 9.700 millones de habitantes en 2050, la seguridad alimentaria actual y futura del planeta dependerá de la capacidad para aumentar los rendimientos y la calidad de los alimentos utilizando los recursos que se tengan disponible (FAO 2017).

Durante las últimas décadas la proporción de tierra utilizada para la agricultura ha aumentado en la mayoría de las regiones del mundo, un gráfico de Our World in Data muestra esta realidad ofreciendo un desglose de la superficie terrestre global a día de hoy: pudiendo apreciarse que, el 10% del mundo está cubierto por glaciares, y otro 19% es tierra estéril, formada por desiertos, salinas secas, playas, dunas de arena y rocas expuestas. Del resto, la mitad de toda la tierra habitable se usa o está destinada para la agricultura (Ritchie y Roser 2019).

Los suelos son fundamentales para la vida en la tierra, pero las presiones humanas sobre este recurso están llegando a límites críticos. Una mayor pérdida de suelos productivos incrementará la volatilidad de precios de los alimentos y potencialmente causará que millones de personas vivan en la pobreza y hambruna extrema (FAO 2015).

En conjunto con la tierra, el recurso agua es esencial para la producción agrícola y la seguridad alimentaria del mundo, es el elemento vital de los ecosistemas, incluyendo bosques, lagos y pantanos. La seguridad alimentaria y nutricional de las generaciones presentes y futuras dependen del agua, sin embargo, los recursos de agua dulce en el mundo están disminuyendo a un ritmo alarmante, provocando una creciente escasez de agua, que es ahora uno de los principales

desafíos para el desarrollo sostenible, siendo un reto cada más relevante con la creciente población mundial, estándares de calidad de vida más altos, cambios en las dietas y la agudización del cambio climático (FAO 2017).

Este recurso hídrico que es esencial para la vida, es escaso en algunas partes del planeta actualmente; no solo en términos de hidratación y sanidad, sino para el desarrollo socioeconómico y energético, así como para la producción de alimentos. En relación a este último aspecto, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) afirma que el 70% de extracción mundial de agua está destinada a la producción agrícola, siendo este sector el mayor acaparador de este recurso tan importante (Antía 2019).

En consecuencia, la agricultura es el mayor productor de aguas residuales por volumen, a medida que se ha intensificado el uso de la tierra y el agua, los países han aumentado enormemente el uso de pesticidas sintéticos, fertilizantes, fungicidas y otros tipos insumos, si bien estos insumos han ayudado a impulsar la producción alimentaria, también han dado lugar a amenazas ambientales, así como a posibles problemas de salud humana. En donde los contaminantes agrícolas más preocupantes para la salud humana son los patógenos del ganado, plaguicidas, nitratos tanto en aguas subterráneas como superficiales, oligoelementos metálicos y los contaminantes emergentes (Mansur y Sadoff 2018).

Gracias a todo lo expuesto con anterioridad, se permite formular el siguiente planteamiento:

El actual sistema alimentario mundial amenaza no solo la salud de las personas sino también la del planeta, ya que, actividades relacionadas al sector productivo como es el caso de la agricultura están generando niveles insostenibles de contaminación y desechos. La postura de que en un futuro más que inmediato exista contaminación en niveles extremos, escasez de suelos fértiles, agua y alimentos para cubrir la demanda alimenticia y nutricional de generaciones presentes y futuras toma cada vez mucha más fuerza. Ante ello, todas estas posturas de problemáticas existentes deben ser consideradas como oportunidades en el medio actual y futuro, permitiendo así el estudio y

surgimiento de nuevas tecnologías y otros métodos de producción que puedan tratar de encontrar una forma diferente de hacer las cosas.

III. JUSTIFICACIÓN

Si bien el desarrollo de la agricultura constituye uno de los medios más importantes para poner fin a la pobreza extrema, impulsar la prosperidad para el crecimiento económico y alimentar a una población mundial en constante aumento, dicho sector también ha promovido de manera negativa y alarmante profundos efectos sobre el medio natural en general (BM 2019).

Ante esta realidad, no es difícil pensar que el reto del cambio en la agricultura es algo sumamente titánico, pero, para la consecución de este desafío productivo colosal, se deben de adoptar urgentemente medidas sostenibles vinculadas al desarrollo de políticas para un uso correcto y responsable de los recursos, que en conjunto con la implementación de mejores prácticas agrícolas y el desarrollo de nuevas tecnologías amigables con el medio ambiente se pueda incidir positiva y significativamente en los daños ocasionados (Suez 2018).

En este sentido las técnicas amigables con el ambiente son la alternativa más propicia y rentable para el productor actualmente. Siendo cada vez más las tendencias mundiales que buscan persuadir a los productores agropecuarios a invertir en tecnología emergente que apunte a transformar la forma en que los alimentos se cultivan y se transportan del campo a la mesa (GreenBiz 2019).

FAO (2019) apunta que, todos estos tipos técnicas y tendencias amigables con el medio ambiente tienen como objetivos estratégicos:

- Ayudar a eliminar el hambre, la inseguridad alimentaria y la malnutrición.
- Hacer que la agricultura, la actividad forestal y la pesca sean más productivas y sostenibles.
- Propiciar sistemas agrícolas y alimentarios inclusivos y eficientes.

Bajo este contexto los métodos tradicionales de producción de alimentos, como la agricultura convencional, ganadería y acuicultura, deben evolucionar el mundo del agro hasta ser realmente sostenibles, y apuntar hacia una economía circular, más local, ecológica, equitativa y justa socialmente (López 2019).

En la actualidad una de las técnicas para la producción de alimentos que permite una evolución en el mundo del agro es la acuaponía, ya que, este tipo de técnica se ha convertido en toda una tendencia durante las últimas décadas, gracias a una combinación de acuicultura (la cría de peces) e hidroponía (el cultivo de plantas en agua sin suelo) que permite reducir el consumo de agua hasta en un 90% en comparación con la agricultura tradicional. Esta es una muy buena noticia para el sector agrícola, ya que el mismo utiliza alrededor del 70% del agua dulce disponible a nivel mundial (Rosillón *et al.* 2018).

Detallando aún más el beneficio de la reducción del consumo de agua para la producción de alimentos, los sistemas acuapónicos ofrecen una serie de ventajas sobre aquellos sistemas de recirculación en los que solo se producen peces. Ya que aquí, se reducen sustancialmente la tasa de recambio de agua diario y su descarte hacia el ambiente; mientras que en un sistema de recirculación tradicional se trabaja con un recambio de agua del 5 al 10% diario para evitar la acumulación de desechos metabólicos, en el acuapónico, por el contrario, la mayoría trabaja solo con un recambio de agua diario entre el 1 y 3% (McMurtry *et al.* 1997).

Otras ventajas que describe TICbeat (2020) sobre los sistemas acuapónicos aparte de la conservación del recurso hídrico por medio de la constante reutilización del agua, son la producción de alimentos sin afectaciones ni deterioros a ecosistemas como el suelo y los cuerpos de agua, eliminación del uso de químicos como plaguicidas y fertilizantes, la reducción de costos de operación por acarreo de agua, energía, transporte y por último la reducción de patógenos que frecuentemente plagan los sistemas de producción de la acuicultura en el medio actual.

Para finalizar López (2019) recalca que, la acuaponía es una de las técnicas sustentables más interesantes que podemos encontrar en el medio productivo, ya que es un sistema que perfecciona con el conocimiento y la tecnología actual, tradiciones ancestrales de pueblos y comunidades, que supieron producir alimentos y recursos diversos de forma integrada y en armonía con la naturaleza.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1. Historia de la acuaponía

La acuaponía es un término que deriva de la fusión de dos palabras, “ACUA” de acuacultura y “PONIA” de hidroponía (Van der Auwermeulen 2007).

Los principios de la acuaponía se han aplicado desde tiempos antiguos, aunque todavía existe mucho debate sobre cuando se inició esta técnica. Varias investigaciones detallan que tuvo origen en Xochimilco - México, hace más de 2.500 años, remontándose a antiguas sociedades como los Aztecas, en donde se realizaba la crianza de peces junto a las cosechas de maíz, zapallo y otras plantas, en islas agrícolas artificiales conocidas como “chinampas” las cuales eran construidas como pantanos y lagos. Los canales navegables que rodeaban estas islas fueron utilizados para la crianza de los peces, en donde los desechos de estos eran recogidos del fondo de los canales y utilizados como fertilizantes para sus cultivos (Rakocy 2012).

Otras investigaciones remontan las raíces de la acuaponía en la antigua China y Tailandia, en donde se acostumbraba cultivar arroz en campos inundados en combinación con peces, siendo este es otro de los sistemas referidos como acuaponía temprana. Este tipo de sistema se extendió a muchas regiones de Asia, y se utilizaba para complementar la alimentación de las aldeas agrícolas (Molina 2012).

Las primeras publicaciones de investigaciones relacionadas a la acuaponía se remontan a la década de los 70s, en donde se demostró que los desechos generados por los peces podrían ser útiles para el cultivo de plantas en sistemas hidropónicos (Lewis 1978).

Desde los años 90s, se ha venido popularizando el uso masivo y comercial de las técnicas de acuaponía mediante la enseñanza en los centros de aprendizaje agropecuarios, en escuelas técnicas y universidades alrededor del mundo, llegando a crear incluso revistas y magazines especializados en promover el estado del arte de la acuaponía, incluyendo conocimiento sobre procedimientos,

uso de equipos y técnicas especializadas para mejorar la producción y promover la investigación en esta rama (Rakocy 1999).

4.2. Crecimiento global de la acuaponía

La acuaponía no cuenta todavía con ninguna institución que permita dar cifras sobre su estado y evolución. Los organismos mundiales que ofrecen más detalles, como la FAO, no la separan de la acuicultura en sus estadísticas, y dan a entender que los huertos acuapónicos se limitan a proyectos de investigación en universidades y a algunos modelos comerciales de desigual tamaño en Latinoamérica y el mundo (Ruoco 2016).

Ante la realidad que se manifiesta, es necesario detallar que a nivel mundial se encuentran diversos proyectos acuapónicos que han contribuido con el crecimiento y expansión de este tipo de sistema de producción de alimentos.

Uno de estos proyectos acuapónicos pioneros en el mundo ocurrió en el estado de Minnesota, EE.UU., en la última parte de 2015, Urban Organics, empresa dedicada a la producción de alimentos orgánicos en la ciudad de St. Paul llamó la atención de la gigante global de tecnología acuífera Pentair, declarando en conjunto una gran colaboración en donde gran parte de sus esfuerzos pasaba por apoyar e impulsar un nuevo sector, el que producirá alimentos saludables tanto para países en desarrollo, zonas con climas áridos y centros urbanos con espacio reducido (Fernández 2016).

Por otra parte, Fernández describe que el proyecto tiene una capacidad para producir 125 toneladas de pez/año (salmón o trucha) y 180 toneladas/año de cultivos de albahaca, menta, acelga, lechuga y berros orgánicos en una superficie de 26.500 m² situadas en un edificio en pleno St. Paul.

Dentro de los Estados Unidos en la región Coulee de Wisconsin se encuentra otro de los proyectos acuapónicos reconocidos a escala mundial Superior Fresh, que es la granja acuapónica más grande del mundo (Ipac 2017).

Superior Fresh se encuentra ubicada en una propiedad de restauración nativa de 800 acres, operando una granja acuapónica de última generación líder en la

industria que se especializa en verduras de hoja orgánica, salmón del Atlántico y trucha Steelhead, sus sistemas de producción proporcionan los productos más frescos y saludables durante todo el año, al tiempo que practican la conservación del agua ecológicamente racional con cero descargas, esta instalación certificada por SQF (Safe Quality Food) produce casi 3 millones de libras de alimentos seguros, limpios y orgánicos cada año (Superior fresh 2019).

Bajo esta misma línea de proyectos acuapónicos ahora en el continente europeo encontramos el proyecto Innovative Aquaponics for Professional Application (INAPRO) el cual se encuentra financiado por la Unión Europea y que cuenta con 18 socios de 8 países diferentes. El proyecto, modelará, construirá y evaluará 4 instalaciones de demostración (cada una de 500 m²), dichas instalaciones serán ubicadas en Waren (Alemania), Murcia (España), Rumbek-Beitem (Bélgica), y Shouguang (China) (CORDIS 2017).

Al mismo tiempo la fuente en mención detalla que este proyecto desarrollado por la UE tiene como objetivos el optimizar la gestión de los alimentos y el agua para contribuir a la seguridad alimentaria global, también el de promover nuevas técnicas de acuaponía que ofrecen la posibilidad de reducir costos a los productores, además de oportunidades comerciales para pymes de alta tecnología y ventajas medioambientales para todos.

Por último, siguiendo esta tendencia de proyectos acuapónicos reconocidos a escala mundial en China en el lago Taihu se encuentra el proyecto de humedales flotantes de acuaponía más grande del mundo, el cual es un ambicioso proyecto que pone en marcha más de 4 hectáreas, en donde el uso de las nuevas tecnologías en combinación con el bambú que es usado en las tradicionales construcciones chinas, permite un tratamiento eficaz de humedales flotantes (AquaHoy 2014).

El concepto del proyecto fue adaptado de los ecosistemas de humedales maduros, ya que ellos frecuentemente desarrollan humedales flotantes los mismos que procesan nutrientes y atrapan contaminantes. Este proyecto acuapónico forma parte de la nueva ola de proyectos que implica la utilización de productos de la biomémesis de la naturaleza, utilizando biomateriales que

pueden remediar y restaurar el equilibrio de la naturaleza con procesos no tóxicos y sostenibles (AquaBiofilter 2014).

No cabe duda que cada uno de los proyectos acuapónicos que han sido mencionados con anterioridad han aportado al crecimiento, desarrollo y expansión de este tipo de técnica a nivel mundial.

4.3. La acuaponía en la región

Continuando con la línea de enfoque de la acuaponía ahora en el continente americano, los usos prioritarios que la FAO prevé para la acuaponía en la región pasa por su presencia en las aulas, en la cual dicha organización recalca que la introducción de la acuaponía en centros de educación, centros de investigación y centros de producción pueden ayudar sustancialmente al estudio de especialidades como la biología, la botánica, la física, la química, la ética, la cocina y los estudios medioambientales. Dicho organismo también contempla el uso humanitario de la acuaponía, sin embargo, advierte que los proyectos acuapónicos deben desarrollarse atendiendo a las características y necesidades locales de cada país de la región (FAO 2014).

Aunque el sector acuapónico no cuente con alguna institución especializada que permita dar cifras reales sobre su estado y evolución, en el territorio americano el prólogo del tema es liderado por Estados Unidos y Canadá en primera línea, demás países de la región como México, Nicaragua, Colombia, Argentina, Perú y Chile están realizando los primeros esfuerzos por su implementación de forma eficiente y acorde a las necesidades económicas de la región (Colorado y Ospina 2019).

Si bien se trata de una forma de producción de cultivos originado en culturas milenarias, en la región esta actividad está ganando atención como un sistema bio-integrado de producción de alimentos, pero aún sigue siendo considerado como un proceso productivo incipiente dentro de la misma (Goretta 2015).

Por último, siguiendo con este enfoque del sector acuapónico dentro del continente, en Ecuador la implementación de este tipo de técnica para la producción de alimentos es limitada, ya que la misma se encuentra orientada en

estudios de proyectos investigativos a pequeña escala, en diversos centros de aprendizaje y universidades del país, coexistiendo así con la realidad de la acuaponía en el continente.

4.4. Generalidades de la acuaponía

La acuaponía es el sistema de producción de alimentos que contempla la integración de la acuicultura y la hidroponía dentro de un mismo sistema. Sin embargo, la acuaponía como técnica de producción de alimentos no se conforma de tan solo peces y plantas, sino que también existen microorganismos que interactúan y cumplen con funciones importantes dentro del sistema permitiendo su éxito, en otras palabras, el principio básico para el correcto funcionamiento de un sistema acuapónico está relacionado directamente con el ciclo del nitrógeno (León 2010).

Por lo tanto, ¿Qué es el ciclo del nitrógeno?

Se define como ciclo del nitrógeno al proceso conllevado dentro de un sistema acuapónico para su correcto funcionamiento. Este ciclo empieza cuando los peces son nutridos con alimento balanceado, el cual contiene básicamente proteínas y minerales. El pez toma dicho alimento y convierte el nitrógeno de las proteínas en un desecho conocido como “nitrógeno amoniacal” el cual es tóxico a bajas concentraciones para los organismos acuáticos. Tanto el nitrógeno amoniacal como otros desechos que se generan en el cultivo de los peces, son transformados en nitritos y posteriormente éstos a nitratos, por medio de la acción bacteriana de *Nitrosomas* spp. y *Nitrobacter* spp., respectivamente. Gran parte del nitrato resultante es proporcionado a las plantas como nutrientes, siendo la principal forma química en la cual éstas incorporan nitrógeno en sus células para ser utilizado en la síntesis de proteínas, lo que se traduce en crecimiento (Roldán y Ramírez 2008).

En términos generales este sistema de producción trata de generar un ecosistema 100% productivo por medio de la biorremediación de efluentes, con la cual se busca la consecución de producciones más sanas, vigorosas y de mejor sabor, tanto de peces como de vegetales, al tiempo que, se reducen las

frecuencias de renovación del agua, la eliminación de residuos hacia el ambiente y la utilización de espacios, agua y energía (Agrotendencia 2020).

La acuaponía sugiere así una alternativa de producción agropecuaria orgánica, sana y segura dirigida al desarrollo sostenible que favorece la seguridad alimentaria tanto de zonas urbanas como rurales (Albarrán y Cardoso 2018).

Por consiguiente, Martínez (2013) señala que la estandarización de los procesos productivos implementados en la acuaponía ha permitido que actualmente en el mundo se desarrollen dos escalas diferentes de acuaponía:

1. De menor escala, casera o de traspatio (autoconsumo): Este tipo de escala se caracteriza por que su instalación puede darse en pequeños espacios, su producción es algo limitada pero constante a lo largo del año, la construcción es sencilla y pueden utilizarse hasta contenedores de reciclaje.
2. De mayor escala (comercial): Este tipo de escala en cambio requiere de una mayor inversión en cuanto a infraestructura, su instalación puede darse en pequeñas y grandes áreas, es necesaria mano de obra calificada, se requiere de la aplicación de controles, insumos y tecnología y su producción es constante y ascendente.

Por otra parte, la estandarización de los procesos productivos conllevados por organizaciones que implementan las técnicas de acuaponía tanto para autoconsumo como para uso comercial han permitido lograr niveles de penetración importantes en los mercados mundiales, mediante la optimización de los métodos de producción, los rendimientos de los cultivos, y la rentabilidad optimizada de la acuaponía en menor y mayor escala (Love *et al.* 2015).

4.5. Elementos de un sistema acuapónico

4.5.1. Componentes biológicos

Las especies que pueden ser cultivadas en sistemas de acuaponía tanto en plantas como en peces son variadas. No obstante, la combinación de ambas

(peces y plantas) deberán ser seleccionadas con atención a la hora de realizar la operación (Carreras 2013).

Agrotendencia (2020) manifiesta que, para la elección del cultivo acuícola dentro de los sistemas acuapónicos es recomendable la selección de organismos que toleren altas densidades aprovechando el espacio, que tengan cierta resistencia a enfermedades comunes en organismos acuáticos. Además de ello, debe tratarse de organismos que presenten un buen crecimiento, que soporten cambios de temperaturas y posean cierta tolerancia a compuestos nitrogenados.

De acuerdo con estudios realizados por Love *et al.* (2015), las especies acuáticas que frecuentemente son utilizadas dentro de los sistemas acuapónicos son: tilapia (69%), peces ornamentales (43%), bagre (25%), otros animales acuáticos (18%), perca (16%), bluegill (15%), trucha (10%), y bajo (7%).

Siendo la tilapia (*Oreochromis niloticus*) el pez más utilizado dentro la acuaponía.

En lo que respecta a sistemas acuapónicos son varios los cultivos que han sido desarrollados exitosamente. Sin embargo, el objetivo de este tipo de sistema es cultivar una clase de vegetal que genere el mayor nivel de ingresos posible tanto por unidad de área como por unidad de tiempo (Bakiu y Shehu 2014).

Por lo tanto, para la producción de plantas o vegetales dentro de los sistemas acuapónicos su selección será de vital importancia, debido a que este rubro representa aproximadamente entre el 66 y el 90% de las ganancias obtenidas dentro de este tipo de sistema, según algunas referencias (Rakocy *et al.* 2004; Somerville *et al.* 2014), estos valores se deben entre otros factores al rápido crecimiento del componente vegetal respecto del animal.

En este sentido los cultivos de plantas denominadas “de hojas” como lechuga (*Lactuca sativa*), albahaca (*Ocimum basilicum*), espinaca (*Spinacea oleracea*) son los más aptos, ya que presentan bajos requerimientos nutricionales, lo que repercute en una menor carga de peces. Ante a ello, estos tipos de cultivos son extremadamente apropiados para establecer sistemas acuapónicos sencillos, ya que permiten un manejo de siembras y cosechas en períodos cortos. Mientras que hortalizas como tomate (*Solanum lycopersicum*), pimiento (*Capsicum sp.*),

pepino (*Cucumis sativus*) que requieren de mayores suministros nutrimentales, necesitaran de sistemas acuapónicos más complejos que logren mantener una mayor carga de peces y que generen los nutrientes necesarios (Muñoz 2012).

4.5.2. Componente acuícola: Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

La tilapia es un pez teleósteo, del orden *Perciforme* perteneciente a la familia *Cichlidae* originario de África, que habita la mayor parte de las regiones tropicales del mundo, donde las condiciones son favorables para su reproducción y crecimiento (El-Sayed 2006).

La tilapia en comparación con otros peces, posee extraordinarias cualidades para el cultivo, como: crecimiento acelerado, tolerancia a altas densidades, adaptación a cautiverio, aceptación de una amplia gama de alimentos, alta resistencia a enfermedades, soporta condiciones ambientales adversas, tolera bajas concentraciones de oxígeno y puede ser manipulado genéticamente. Esta especie además cuenta con algunos atributos para el mercado, como: carne blanca de buena calidad, buen sabor, poca espina, buena talla y precio accesible, lo que le confiere una buena preferencia y demanda comercial en la acuicultura mundial (Corantioquia 2016).

4.5.2.1. Taxonomía

Cantor (2007) describe la siguiente clasificación taxonómica de la tilapia:

Reino: *Animal*

Phylum: *Chordata*

Subphylum: *Vertebrata*

Superclase: *Gnathostomata*

Serie: *Pisces*

Clase: *Actinopterygii*

Orden: *Perciformes*

Suborden: *Percoidei*

Familia: *Cichlidae* (Cíclidos)

Subfamilia: *Pseudocrenilabrinae*

Género: *Oreochromis*

Especie: *Oreochromis niloticus*

Nombre común: Tilapia Negra (Tilapia del Nilo)

4.5.2.2. Morfología del pez

Las tilapias son un tipo de especie que presentan un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal. El cuerpo es generalmente comprimido y discoidal, raramente alargado. La boca es protáctil, generalmente ancha, a menudo bordeada por labios gruesos; las mandíbulas presentan dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos (Saavedra 2006).

Así mismo Saavedra menciona que para su locomoción poseen aletas pares e impares. Las aletas pares las constituyen las pectorales y las ventrales; las impares están constituidas por las aletas dorsales, la caudal y la anal. La parte anterior de la aleta dorsal y anal es corta, consta de varias espinas y la parte terminal de radios suaves, disponiendo sus aletas dorsales en forma de cresta.

Para finalizar apunta que este tipo de pez tiene una aleta caudal que es redonda, trunca y raramente cortada, como en todos los peces, esta aleta le sirve para mantener el equilibrio del cuerpo durante la natación y al lanzarse en el agua.

4.5.2.3. Ciclo biológico

Es fundamental el conocimiento del ciclo biológico de las tilapias para poder tener un buen control sobre este tipo de especie. Por lo tanto, se deben considerar y describir las siguientes etapas:

Tabla 1. Etapas del ciclo biológico de la tilapia. Fuente: (Cantor 2007; Agrotendencia 2020)

Etapas	Estadío	Talla (cm)	Peso (gr)	Tiempo (días)
1	Huevo Es el producto de la fecundación de los gametos masculinos y femeninos. Una vez realizada la fecundación comienza el desarrollo embrionario.	0.2 - 0.3	0.01	3 - 8

2	<p style="text-align: center;">Alevín</p> <p>Es la etapa del desarrollo subsecuente al embrión y a la eclosión. En este punto su sobrevivencia es a base de nutrientes y proteínas contenidas en el saco vitelino.</p>	0.5 - 1.0	0.10 - 0.12	10 – 15
3	<p style="text-align: center;">Cría</p> <p>Se les llama cría cuando los peces han absorbido el saco vitelino y comienzan a aceptar alimento balanceado.</p>	3 - 7	0.5 - 4.7	15 – 30
4	<p style="text-align: center;">Juvenil</p> <p>Esta etapa puede ocurrir en un lapso de 2 meses de edad, a medida que esto ocurre es mayor la exigencia nutritiva, se van diferenciando y se asemejan más a los adultos.</p>	7 – 10	10 – 50	45 – 60
5	<p style="text-align: center;">Adulto</p> <p>Es la última etapa de su desarrollo y se cumple en un lapso de 3 meses y medio de edad.</p>	10 - 18	70 – 100	70 – 90

4.5.2.4. Especies

Como grupo las tilapias representan uno de los peces más ampliamente producidos en el mundo (Cantor 2007). En donde las especies de tilapias más cultivadas de acuerdo a Bioaquafloc (2018) son:

- *Oreochromis niloticus*: También llamada tilapia plateada o del Nilo, es originaria del norte de África e Israel. Se la encuentra en cuerpos de agua lacustres charcas y ríos. Esta especie es capaz de alcanzar un tamaño mayor que sus parientes lo que la hacen una especie muy atractiva para su cultivo.
- *Oreochromis aureus*: Esta especie es conocida como tilapia azul (Blue tilapia). Es la especie más pequeña de las que comúnmente se cultivan, pero la más colorida. Es muy resistente a elevados niveles de salinidad y a un amplio rango de temperatura.
- *Oreochromis mossambicus*: Habita en charcas, canales de ríos y lagunas de África del Este. De menor tamaño que *O. niloticus*, se diferencia por un hocico

más robusto y alargado. De hábitos principalmente diurnos, se alimenta de algas insectos, crustáceos y otros peces.

Así como también un híbrido de esta especie:

- *Oreochromis sp.*: Este híbrido de tilapia fue producido por primera vez a fines de la década de 1960, en un cruce entre una variedad anaranjada de *O. mossambicus* y *O. niloticus*.

4.5.2.5. Alimentación

La tilapia es un pez omnívoro, que en su estado natural consume algas, bentos, insectos, frutas y en casos de escases de comida puede filtrar zooplancton. Sin embargo, cuando este pez es cultivado con fines comerciales, estas fuentes de alimento no son las más aptas, por lo que es necesario suplementar las necesidades nutricionales con alimento balanceado de alta calidad (PRONACA 2019).

En general, el método de alimentación utilizado para el cultivo de tilapia va a depender siempre del sistema de cultivo adoptado, el tamaño de la granja/estanque y la disponibilidad y costo de la mano de obra. Como en acuicultura el alimento representa entre el 50 y el 60% de los costos de producción, es importante tener el conocimiento idóneo de la nutrición y del manejo alimentario de este tipo de pez (FAO 2020).

PRONACA de igual manera menciona que un alimento balanceado, como su nombre lo indica, contiene un nivel de nutrientes que cubre las necesidades alimenticias del pez. En este punto un aspecto muy importante al momento de elegir el tipo de alimento para el cultivo de tilapia, además del nivel de proteína y su digestibilidad, es el adecuado diámetro de partícula, ya que este debe ir acorde al tamaño de la boca del pez. De esta manera se asegura un correcto consumo del alimento, menor desgaste energético y por ende mayor aprovechamiento de la inversión.

Por último, PRONACA señala que, para complementar una correcta administración de alimento al pez, también es necesario considerar las

condiciones propias del medio (temperatura y oxígeno disuelto), salud del animal, requerimientos nutrimentales de acuerdo a la fase o estadio del pez, número organismos y peso.

Tabla 2. Alimentación requerida según la fase del cultivo de tilapia. Fuente: (Mazo 2013)

Fase del pez	Cantidad de alimento	Raciones al día
Pre-cría	10 - 12% de biomasa	8
Levante	3 - 6% de biomasa	4 y 6
Engorde	1,2 - 3% de biomasa	2 y 4

Tabla 3. Requerimientos nutricionales para el cultivo de tilapia. Fuente: (Bhujel Ram 2002)

Nutrientes esenciales	Estadios	Requerimiento dietario
Proteína	Alevino/juvenil	45 - 60 / 35 - 45 %
	Engorde	25 - 35 %
	Reproductor	25 - 35 %
Carbohidratos	Alevino/juvenil	< 25 %
	Engorde	25 - 30 %
	Reproductor	No conocido
Proteína: Relación energética	Alevino/juvenil	120 / 110 mg/kg
	Engorde	103 mg/kg
	Reproductor	No conocido
Lípidos: Totales	Alevino	5 - 8 %
	Adulto	8 - 10 %
Ω-6 EFA	Todos los estadios	0,5 - 1,0 %
Ω-3 EFA	Todos los estadios	0,5 - 1,0 %

4.5.2.6. Condiciones para el cultivo de tilapia

Aunque la tilapia es un pez que se caracteriza por poder tolerar condiciones no favorables que otras especies no soportarían, como es el caso de concentraciones de hasta 0.10 ppm de oxígeno disuelto en el agua, temperaturas mínimas de 20°C y concentraciones máximas de 2.0 ppm de amoníaco (Lovell 1989). Es necesario detallar los parámetros ideales para su desarrollo:

Tabla 4. Parámetros ideales para el desarrollo del cultivo de tilapia. Fuente: (Cantor 2007)

Parámetros	Rangos ideales
Oxígeno Disuelto (OD)	3 a 10 mg/l
Ozono	0 a 0.005 mg/l
Temperatura	24 a 28 °C
PH	6.5 a 9.0
Dureza (Alcalinidad: CaCO ₃)	10 a 500 mg/l
Magnesio (Mg)	0 a 36 mg/l
Manganeso (Mn)	0 a 0.01 mg/l
Calcio	5 a 160 mg/l
Dióxido de Carbono (CO ₂)	0 a 2.0 mg/l
Amonio Total	Hasta 2.0 mg/l
Amonio (NH ₃ : no ionizado)	0 a 0.05 mg/l
Nitritos (NO ₂)	0 a 0.1 mg/l
Fosfatos (PO ₄)	0.5 a 1.5 mg/l
Fósforo Total	0.01 a 3.0 mg/l
Fósforo soluble	0 a 10 mg/l
Sulfuro de Hidrógeno o Ac. Sulhídrico (H ₂ S)	0 a 0.003 mg/l
Acido Cianhídrico (HCN)	0 a 0.1 mg/l
Gas Metano (CH ₄)	0 a 0.15 mg/l
Cadmio en aguas duras	0 a 0.003 mg/l
Cadmio en aguas blandas	0 a 0.004 mg/l
Cloro	0 a 0.003 mg/l
Cobre en aguas duras	0 a 0.03 mg/l
Cobre en aguas blandas	0 a 0.006 mg/l
Cromo (Cr)	0 a 0.03 mg/l
Hierro (Fe)	0 a 0.015 mg/l
Mercurio (Hg)	0 a 0.0002 mg/l
Níquel (Ni)	0 a 0.02 mg/l
Plomo (Pb)	0 0.03 mg/l
Turbidez (Disco Secchi)	30 a 40 cm
Sólidos Disueltos	0 a 30 mg/l
Sulfatos (SO ₄)	0 a 500 mg/l

Valores en mg/l = ppm

Otro de los puntos claves dentro de las condiciones para el desarrollo del cultivo de tilapia tiene que ver con la utilización de densidades adecuadas, ya que aquí, una relación acorde de número peces por m² o m³ permitirá garantizar la obtención de excelentes resultados. Bajo este contexto, dentro de un sistema

acuícola los peces crecen más rápido cuando tienen mucho espacio y mayor cantidad de agua disponible (INCOPECA 2014).

Asimismo, INCOPECA detalla que para un cultivo semi intensivo de tilapia en estanques con volúmenes de agua que van desde los 1.000 litros los cuales son frecuentemente utilizados para sistemas de acuaponía la densidad poblacional va a variar de acuerdo a las diversas fases en que se encuentra el pez. Bajo este contexto se manifiesta lo siguiente:

Tabla 5. Distribución poblacional de tilapia dentro de un cultivo semi intensivo. Fuente: (INCOPECA 2014)

Fase	Numero de organismos / m3	Peso gr
Pre-cría	15 alevines / m3	1 gr
Engorde 1	8 peces / m3	80 – 100 gr
Engorde 2	5 peces / m3	225 – 250 gr

4.5.3. Componente hidropónico: Lechuga (*Lactuca sativa* L.)

La lechuga es una planta herbácea que puede ser cultivada durante todo el año, en lugares templados, subtropicales, al aire libre o bajo invernaderos, en suelo o en forma hidropónica (INIA 2017).

El origen de la lechuga como tal no está muy claro; sin embargo, como cultivo domesticado y cultivado por el hombre, se tiene como probable origen la costa sur y sureste del Mar Mediterráneo, desde Egipto hasta Asia menor (Davis *et al.* 2002; Biamonte *et al.*1984).

Así mismo Davis *et al.* (2002) manifiesta que este cultivo desde su domesticación a partir de especies silvestres, se ha convertido a lo largo de la historia en una de las hortalizas más importante del grupo de los vegetales de hojas que se comen crudos, siendo considerado incluso como un cultivo cosmopolita.

4.5.3.1. Taxonomía

INIA (2017) detalla la siguiente clasificación taxonómica de la lechuga:

División: Magnoliophyta

Clase: Manoliopsida

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Subfamilia: Cichorioideae

Tribu: Lactuceae

Género: *Lactuca*

Especie: *Lactuca sativa* L.

4.5.3.2. Características morfológicas

La lechuga es un cultivo hortícola que de acuerdo a SINAVIMO (2017); InfoAgro (2010) posee las siguientes características morfológicas:

- **Raíz:** La raíz de la lechuga no llega a sobrepasar los 25 cm. de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones.
- **Hojas:** Las hojas por su forma son lanceoladas, oblongas o redondeadas, las cuales se encuentran dispuestas en roseta, desplegadas en principio; en algunos casos siguen así durante todo su desarrollo y en otros se acogollan más tarde. El borde de los limbos puede ser lisos, ondulados, aserrados, dentados o lobulados, lo cual depende de la variedad.
- **Tallo:** En la etapa vegetativa el tallo es corto (1 a 3 cm), cilíndrico y sin ramificaciones; en la fase de floración éste se ramifica y alarga, pudiendo alcanzar una altura de hasta 1,2 m.
- **Flores:** Las flores son capítulos florales amarillos dispuestos en racimos o corimbos y están compuestos por alrededor de 10 a 25 floretes.
- **Semilla:** Las semillas (frutos) son aquenios, de colores variables del blanco al marrón oscuro, casi negro, achatado y pequeño, las cuales están provistas de un vilano plumoso.

4.5.3.3. Ciclo productivo de la lechuga

La lechuga es una planta que se caracteriza por poseer un ciclo vegetativo de entre 3 a 4 meses en general. Ante ello, se describen las siguientes particularidades:

Tabla 6. Características del ciclo productivo de la lechuga. Fuente: (INIA 2017)

Tiempo	Etapas
--------	--------

(días)	
5 días	Germinación La semilla tarda aproximadamente 5 días en emerger.
7-14 Días	Formación Vegetativa La estructura vegetativa joven se denomina plántula. Esta se desarrolla durante 1-2 semanas después de la germinación.
45 días	Formación De La Cabeza Corresponde al estado de roseta, en este periodo se cosecha y es considerada planta adulta.
48-75 Días	Atornillado En este proceso ocurre el crecimiento vegetativo adicional y se presenta 30 días después de la formación de cabeza.
60-90 Días	Floración Este proceso se da 2 a 3 meses después de la germinación y perdura de 3 a 4 semanas. Cuando esta hortaliza florece, la planta puede alcanzar 1 metro de altura.
71-113 Días	Formación De Semilla Este proceso inicia 11-13 días después de la formación de la cabeza floral de la planta.

4.5.3.4. Variedades

La lechuga presenta una gran diversidad, dado principalmente por los diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento de las plantas. Esto ha llevado a diversos autores a distinguir variedades botánicas en la especie, existiendo varias que son importantes como cultivos hortícolas en distintas regiones del mundo (INIA 2017).

Actualmente en el mundo existen unas 578 especies de lechuga descritas que abarcan unas 20.000 variedades distintas, de las cuales muy pocas se cultivan comercialmente. De todas esas especies descritas hoy en día solo 120 se encuentran aceptadas botánicamente (Olmo 2018).

Por lo especificado con anterioridad InfoAgro (2010); SINAVIMO (2017) manifiestan los siguientes detalles sobre las principales variedades de lechuga, las mismas que encuentran clasificadas en los siguientes grupos botánicos:

- ***Lactuca sativa var. longifolia***: Dentro de este grupo se encuentra la lechuga Romana y la Baby. Estas lechugas no forman un verdadero cogollo, las hojas son oblongas, con bordes enteros y nervio central ancho.

- ***Lactuca sativa var. capitata***: En este grupo encontramos la lechuga Batavia, Mantecosa y la Iceberg. Estas se caracterizan por formar un cogollo apretado y denso de hojas semejante a la col.
- ***Lactuca sativa var. inybasea***: Este grupo incluye lechugas como Simpson, Lollo Rossa, Red Salad Vol. y Escarola. Son lechugas que poseen las hojas sueltas y dispersas.

4.5.3.5. Requerimientos nutricionales

Candarle (2016) apunta que para el crecimiento máximo del componente vegetal dentro un sistema acuapónico, es necesario de que los elementos esenciales para su desarrollo se encuentren balanceados correctamente. Estos elementos pueden dividirse de manera general en: macro nutrientes (necesarios en cantidades relativamente grandes), y en micronutrientes (necesarios en cantidades relativas mínimas). Los macronutrientes, incluyen el carbono (C), Oxígeno (O), Hidrógeno (H), Nitrógeno (N), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Fósforo (P) y Azufre (S). Mientras que los micronutrientes por su parte, incluyen el Cloro (Cl), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Boro (B), Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Molibdeno (Mo).

Por otra parte, Candarle detalla que, para el proceso básico de fotosíntesis, los vegetales utilizan el carbono (C) disponible en el dióxido de carbono atmosférico (CO₂), el oxígeno e hidrógeno del agua (H₂O), sumado a la energía proveniente de la luz, que capturan a través de sus hojas o láminas foliares. Todos los demás nutrientes, llamados en general, sales inorgánicas deben ser absorbidos de la misma agua de cultivo.

Las similitudes de factores físicos y químicos del agua durante las actividades de la hidroponía y acuicultura de recirculación, principalmente en lo referido a las cantidades de los macronutrientes, es sin duda la base del nacimiento de la acuaponía. La acumulación de nutrientes disueltos en el agua de los SRA, se aproxima a las concentraciones encontradas en soluciones hidropónicas (Rakocy *et al.* 1993).

Es por ello que dentro de un sistema de acuaponía las interacciones alimento-pece y residuos-plantas son de vital importancia para la consecución de los requerimientos nutricionales del mismo. En este sentido, el alimento del pez juega un papel importante, ya que del 100% del alimento suministrado solo entre un 20 a 30% se metaboliza e incorpora como tejido muscular (Church y Pond 1982), mientras que el 60 a 70% restante es alimento diluido y excreción, aquí esta materia orgánica existente es fundamental para el sistema, ya que es utilizada por medio de acción bacteriana como una fuente rica en nutrientes para el cultivo de plantas (Rakocy *et al.* 1992).

Bajo este contexto para los sistemas de acuaponía los cultivos de peces y microorganismos cumplen con la función primordial de poder brindar al componente vegetal los elementos suficientes para su desarrollo, todo esto por medio de la acumulación de materia orgánica (Buschmann 2001).

En este punto Rakocy *et al.* (1992) señalan que para asegurar el cumplimiento de las necesidades nutrimentales del cultivo vegetal en un sistema de acuaponía las densidades poblacionales con las que se trabaje, el tipo de alimento, el porcentaje de proteína y las especies a cultivar juegan un papel significativo para garantizar el éxito en la relación pez-planta en esta clase de sistema.

Para finalizar los autores antes mencionados apuntan que en esta dependencia es necesario manejar una buena relación entre el número de plantas y la cantidad de peces; ya que como mínimo se recomienda tener 1 pez por cada 1.9 - 2.0 plantas, procurando asegurar de esta manera se otorgue 2.4 gr de alimento por cada planta dentro del sistema.

Otra referencia de la relación pez-planta para sistemas de acuaponía es la que detalla Somerville *et al.* (2014):

- Para 1 m² de cultivos de hojas (lechugas, acelgas, espinacas, etc.) se necesita de 40 - 50 gramos de alimento/día.
- Para 1 m² de cultivos de frutos (tomate, pepino, fresa, etc.) se necesita de 50 - 80 gramos de alimento/día.

4.5.3.6. Condiciones para el cultivo de lechuga

Es bien sabido que la consideración de unas óptimas condiciones influirá en el crecimiento y desarrollo del cualquier tipo de cultivo hidropónico y la lechuga no es la excepción. Por medio de lo antes mencionado es necesario el conocimiento de los siguientes parámetros:

Tabla 7. Parámetros ideales para el desarrollo del cultivo de lechuga hidropónica. Fuente: (Hydro Environment 2020; Gilsanz 2007)

Parámetros	Descripción
Temperatura	15 a 18 °C óptima, máxima de 24 °C y mínima de 7 °C.
Humedad	60 - 80%
pH	5.5 a 7.0
Conductividad eléctrica	1.3 mS a 3 mS o de 750 a 1500 ppm.

4.5.4. Unidades de cultivo para peces

Las unidades de cultivo de los peces son indispensables dentro todo sistema acuapónico. Este componente debe ser seleccionado cuidadosamente debido a su incidencia, ya que representa aproximadamente un 20% del costo total de la unidad acuapónica (Somerville *et al.* 2014).

Este elemento es el espacio en donde se desarrollará la mitad del sistema, cumpliendo con la función de alojamiento de los peces u otros organismos acuáticos a criar. Dicho componente requiere de un tamaño apropiado con unas dimensiones que deben ser proporcionales al número y el tamaño de los peces para su adecuado crecimiento y movimiento (INTAGRI 2017).

Hay varios aspectos importantes para la selección de las unidades de cultivo de los peces como la forma, el material y el color. Pudiendo ser estas peceras de vidrio o acrílicas, barriles plásticos, tanques plásticos o piletas de concreto, con fondos planos o cónicos para su facilidad al momento de la limpieza y su volumen puede variar desde pocos litros a varios metros cúbicos (Jiménez 2020).

Para el caso de la acuaponía no es recomendable el uso de tanques de metal, ni estanques subterráneos, sino que se prefieren los materiales plásticos por su

facilidad para adecuaciones, durabilidad y mantenimiento. En este punto es esencial que el reservorio escogido no haya sido utilizado previamente para el transporte de sustancias tóxicas, ya que éstas pueden seguir disolviéndose en el agua y comprometer la salud de los peces y el crecimiento de las plantas (Colagrosso 2014).

En cuanto a la coloración de estas unidades Candarle (2016) detalla que los colores claros son los más recomendados, ya que colaboran en el contraste destinado a la visualización y control general de los peces (comportamiento, sólidos, restos de alimento), pero deberá de considerarse la incidencia de la luz y el efecto de proliferación algal dentro del sistema.

4.5.5. Aireación

Jiménez (2020) especifica que los peces necesitan de la presencia de oxígeno disuelto en el agua para su sobrevivencia y desarrollo. De igual manera las raíces de las plantas, ya que estas se ven beneficiadas por la presencia de oxígeno disuelto en el agua del sistema, previniendo de esta manera la pudrición de sus raíces. En este punto la concentración mínima de oxígeno disuelto va a variar según la especie cultivada.

Hydro Environment (2020) detalla que se puede oxigenar un sistema al permitir la caída del agua recirculante en el contenedor de los peces, otra forma es colocando una bomba de oxigenación, la cual se recomienda cuando las caídas de agua no son suficiente debido a que la cantidad de peces y plantas es demasiada ocasionando una gran escases de oxígeno dentro del sistema. En este punto lo más recomendable es que todo sistema acuapónico tenga una bomba de aireación, la misma que deberá encontrarse funcionando las 24 horas, sin interrupciones.

4.5.6. Recirculación

El movimiento del agua es fundamental para mantener todos los organismos vivos, si el movimiento del agua se detiene, los efectos más inmediatos son una

variación de la temperatura, reducción de oxígeno y acumulación de desechos (Martínez 2019).

En este sentido los estudios de tasas de flujo de agua en sistemas acuapónicos son importantes debido a que se relaciona directamente con la disponibilidad de nutrientes para las plantas, un mayor flujo de agua evidencia mayor disponibilidad de nutrientes en las raíces de las plantas, mejorando la absorción directa de los nutrientes y las transformaciones producidas por las bacterias (Effendi *et al.* 2015).

El flujo de agua en los sistemas acuapónicos puede ser intermitente o continuo, el primero controlado mediante un sistema de temporización y el segundo de acuerdo al control de velocidad y capacidad de la bomba. Ciclos intermitentes de circulación y drenaje permiten suministrar nutrientes en la primera fase y oxigenar en la segunda (McMurtry *et al.* 1997). Por otra parte, en los sistemas de flujo continuo el tiempo de contacto del agua con la raíz es constante incrementando la posibilidad de absorción de compuestos, sin embargo, repercute en niveles más bajos de oxígeno. El flujo de agua depende físicamente de la capacidad de la bomba y su diseño se relaciona directamente con la capacidad de funcionamiento del filtro mecánico y filtro biológico (Hernández 2017).

4.5.7. Filtración

Un filtro es cualquier materia porosa, como el fieltro, el papel, la esponja, el carbón, arena, piedras menudas, etc., a través de la cual se hace pasar un líquido para clarificarlo de los materiales que lleva en suspensión (RAE 2019).

4.5.7.1. Filtración mecánica

Para Martínez (2019) en un sistema de acuaponía la filtración mecánica es posiblemente el aspecto más importante, ya que es la encargada de la separación y eliminación de los desechos sólidos y en suspensión de mayor tamaño que se genere en los tanques o peceras. Si estos sólidos permanecieran dentro lo más seguro es que en un corto plazo se interrumpiría el correcto

funcionamiento del sistema ya que la acumulación de desechos sólidos causa bloqueos en las bombas y en los componentes de las tuberías del sistema. Además, los desechos no filtrados son peligrosos debido a la descomposición de la materia orgánica, albergando bacterias que producen sulfuro de hidrógeno, que es un gas muy tóxico y letal para los peces.

4.5.7.2. Filtración biológica

La mayoría de los residuos acuáticos no pueden ser removidos por un filtro mecánico, debido a que estos se disuelven directamente en el agua y el tamaño de estas partículas es demasiado pequeño para ser eliminado mecánicamente. Es por ello que, la biofiltración es esencial en la acuaponía ya que el amoníaco y el nitrito que se producen son tóxicos incluso en bajas concentraciones, mientras que las plantas necesitan nitratos para crecer. Por lo tanto, la tarea de un biofiltro es proporcionar un hábitat para albergar bacterias nitrificadoras (*Nitrosomas* spp. y *Nitrobacter* spp.) que convierten el amonio (molécula presente en las excretas de los peces) en nitrito y luego este en nitrato lo cual es menos tóxico para los peces y más aprovechable para las plantas (FAO 2014; Diver 2000; Ramírez, *et al.* 2017).

4.5.8. Técnicas hidropónicas

El área hidropónica es el medio de producción de cultivos en el que las plantas completan su ciclo vegetativo sin la necesidad de emplear el suelo, suministrando la nutrición hídrica y la totalidad o parte de la nutrición mineral mediante una solución en la que van disueltos los diferentes nutrientes esenciales para su desarrollo (InfoAgro 2017).

Las técnicas de cultivos hidropónicos más utilizadas dentro del medio de la acuaponía son:

4.5.8.1. Sustrato sólido inerte

Para la técnica con sólido inerte la siembra es similar a la forma convencional, con la diferencia de que en lugar de tierra se emplea un “sustrato”. Este tipo de

técnica es una de las más populares para proyectos de pequeña escala por su bajo costo, manejo y simplicidad. Aquí el sustrato tiene la función de sostener las raíces de la planta, además de funcionar como filtro mecánico (para retener las partículas gruesas) y como filtro biológico (para la fijación bacteriana); estas unidades generalmente toman poco espacio y son utilizadas por pequeños agricultores (FAO 2015).

4.5.8.2. Película Nutritiva (NFT)

La técnica de NFT (Nutrient Film Technique o Técnica de Película de Nutrientes) es un tipo de técnica desarrollada para cultivos de plantas de tallo corto, debido a que las raíces se encuentran expuestas a una lámina de agua circulante con nutrientes, el fluido solo cubre la parte inferior de las raíces dejando al aire la parte superior, lo cual permite un buen suministro de oxígeno (Connolly y Trebic, 2010; Carrasco e Izquierdo 1996). La técnica de NFT dentro de la acuaponía, es una de las más difundidas, esto debido a que permite una instalación práctica y una amplia versatilidad a la hora del montaje en determinados espacios, además del poco uso de volumen de agua en comparación con otras técnicas (Soria 2012; INTAGRI 2017).

4.5.8.3. Raíz flotante

La técnica de raíz flotante es una de las técnicas hidropónicas que se utilizan habitualmente para estructuras acuapónicas con fines comerciales, ya que es uno de los sistemas más simples y de menor costo que se pueden encontrar en el medio. Esta técnica es ideal para cultivos específicos de bajo tamaño, en donde las raíces están sumergidas en el agua permitiendo eficientizar la disponibilidad de nutrientes y reduciendo la competencia entre plantas (Caló 2011).

4.5.9. Calidad de agua para un sistema acuapónico

El agua es el principal factor a considerar al momento de pensar en iniciar un sistema de acuaponía, debido a que es el medio en el cual conviven: peces y bacterias y del cual las plantas obtienen sus nutrientes. Ante ello, el agua a

utilizar debe tener la calidad suficiente como para mantener adecuadamente a las tres comunidades existentes dentro del sistema acuapónico (Hydro Environment 2020).

Por otra parte, Agrotendencia (2020) detalla que los parámetros de calidad de agua más importantes en los sistemas acuapónico son: temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), amonio, nitrito y nitrato, en donde cada organismo del sistema tiene un rango de tolerancia específico a cada uno de estos parámetros:

Tabla 8. Rangos generales de tolerancia de calidad de agua para peces, plantas y bacterias nitrificantes dentro de un sistema acuapónico. Fuente: (Agrotendencia 2020)

Tipo de organismo	Temperatura (°C)	pH	Amonio (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Oxígeno Disuelto
Peces de aguas cálidas	22 - 32	6 - 8.5	< 3	< 1	< 400	4 - 6
Peces de aguas frías	10 - 18	6 - 8.5	< 1	< 0.1	< 400	6 - 8
Plantas	16 - 30	5.5 – 7.5	< 3	< 1	-	> 3
Bacterias nitrificantes	14 - 34	6 – 8.5	< 3	< 1	-	4 - 8

4.5.9.1. Oxígeno disuelto (OD)

En el 2016, Candarle indica que el oxígeno es el parámetro químico que incide en forma determinante sobre la calidad del agua, dado que, en su ausencia es cuando más rápidos y drásticos efectos se producen (los peces pueden morir en cuestión de horas), así como también a bajas concentraciones, puede disminuir considerablemente el proceso de nitrificación, no llegando a completarse. El garantizar concentraciones altas de oxígeno en el sistema, es vital para los peces, los vegetales y también de manera especial para los distintos grupos de bacterias presentes en el sistema; que lo utilizan en los procesos claves (oxidación de los compuestos nitrogenados y en descomposición de la materia orgánica). Por lo tanto, es recomendable mantener dicho parámetro, siempre en concentraciones superiores a 3 mg/l; siendo deseable 5mg/l, o más.

4.5.9.2. Potencial de hidrogeno (pH)

El pH del agua tiene un impacto importante en todos los aspectos de la acuaponía, especialmente en las plantas y bacterias, ya que aquí, rangos de pH que oscilen entre 6.0-7.0 mantendrá las bacterias funcionando a una alta capacidad, de la misma manera que permitirá a las plantas el pleno de acceso a todos los micro y macronutrientes esenciales para su desarrollo. En lo que respecta a los peces utilizados dentro la acuaponía la mayoría de estos toleran rangos específicos de pH de entre 6.0-8.5 (Carruthers 2015).

4.5.9.3. Temperatura

La temperatura del agua afecta a todos los aspectos de los sistemas acuapónicos, debido a que tiene un efecto sobre el OD, así como sobre la toxicidad del amoníaco y la absorción de calcio en las plantas. Por lo tanto, es recomendable que todo sistema acuapónico de manera general presente un rango óptimo de temperatura que oscile entre 18 a 30 °C (Bustamante, 2015).

4.5.9.4. Amoníaco (NH₃)

Los niveles altos de amoníaco son extremadamente tóxicos para los peces, valores menores a 1 parte por millón (ppm), o miligramo por litro (mg/l), comprometen la sobrevivencia de muchas especies e incrementa el estrés en muchas otras; dependiendo del tiempo de exposición. Inclusive, concentraciones más bajas desde 0,02 a 0,07 ppm, han demostrado reducir el crecimiento y provocar daños en los tejidos branquiales de los peces (Masser, et al. 1999).

Carruthers (2015) manifiesta que dentro de los sistemas acuapónicos otro de los organismos que se ve afectado por la presencia de altos niveles de amoníaco son las bacterias nitrificantes. Esto debido a que el amoníaco puede utilizarse como agente antibacteriano, ya que aquí, niveles superiores de amoníaco a 4 mg/l provoca una inhibición y reducción drástica de la eficacia de este tipo de bacterias.

4.5.9.5. Nitrito (NO₂-)

Por otra parte, en el 2015, Carruthers detalla que los nitritos son tóxicos para los peces al igual que el amoníaco. Niveles altos de NO₂- pueden conducir a problemas relacionados con estrés, enfermedades y en el peor de los casos incurrir a la muerte de los peces. Por ello tanto amoníaco como nitritos son 100 veces más venenosos que los nitratos y deben manejarse en niveles cercanos a 0, o como máximo 0,25-1 mg/l.

4.5.9.6. Nitratos (NO₃-)

Los nitratos son el producto final del proceso de nitrificación y es la forma nitrogenada menos tóxica para los peces. En este punto cabe recalcar que, los nitratos pueden llegar a ser tóxicos tanto para peces como para plantas solo en concentraciones muy altas, mayores a 300-500 mg/l, valores que nunca llegarán a concentrarse debido al recambio de agua diario y a una apropiada densidad de vegetales en el sistema. Por esta razón se recomienda mantener niveles de nitrato entre 5-150 mg/l (Masser, *et al.* 1999; Candarle 2016).

V. HIPÓTESIS

Ha: El establecimiento de un sistema acuapónico con recirculación de agua favorece la producción de lechuga y tilapia.

VI. OBJETIVOS

6.1. Objetivo general

- Evaluar un sistema acuapónico para la producción de tilapia y lechuga.

6.2. Objetivos específicos

- Establecer un sistema acuapónico para la producción de tilapia y lechuga.
- Determinar el mejor tratamiento para la producción de lechuga.
- Identificar el mejor tratamiento para la producción de tilapia en estado adulto.

VII. METODOLOGÍA

7.1. Ubicación

La presente investigación se desarrolló dentro de los predios de la Finca Experimental del Conocimiento y Tecnología Lodana, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ubicada en la parroquia Lodana, del cantón Santa Ana, provincia de Manabí, en una superficie plana entre las coordenadas: Latitud: 1°18'33" Sur, Longitud: 80°38'52" Oeste y Altitud: 47 ms.n.m. (Dices.net 2019).

El cantón Santa Ana posee un clima tropical húmedo con las estaciones de invierno y verano bien diferenciadas; la temperatura promedio anual es de 26°C, en donde la temperatura máxima absoluta ha llegado a 37°C y la mínima a 14°C. Por otra parte, dicho cantón cuenta con una precipitación anual que oscila entre 500 y 1300 mm (SIN 2014).

7.2. Duración

La investigación se realizó durante los meses de octubre de 2019 a marzo de 2020 (duración de seis meses), contando con un sistema piloto que fue realizado en el cantón Manta, previo al desarrollo total de la investigación en el cantón Santa Ana y que se encuentra incluido dentro del periodo de tiempo antes detallado.

7.3. Tipo de investigación

Para el desarrollo del presente proyecto investigativo se empleó el método de investigación experimental debido a su enfoque científico y a la variedad de procesos y técnicas experimentales que fueron conllevadas para su respectiva ejecución.

7.4. Material experimental

Los materiales experimentales que fueron utilizados para el proyecto son:

- **Material vegetal:** Lechuga (*Lactuca sativa*).
- **Material acuícola:** Tilapia (*Oreochromis niloticus*).

7.4.1. Factor en estudio

- Densidad poblacional de tilapia por densidad poblacional de lechuga.

7.4.2. Tratamientos

Tabla 9. Descripción de los tratamientos

Tratamientos	Código de tratamiento	# de individuos / m3	
		Peces	Plantas

1	T8L16	8	16
2	T10L20	10	20
3	T12L24	12	24

7.5. Delineamiento experimental

Para el presente proyecto investigativo se empleó un Diseño Completamente al Azar (D.C.A); con 3 tratamientos y 24 repeticiones.

7.6. Esquema de análisis de varianza

Tabla 10. Análisis de varianza

ADEVA	
Fuente de variación	Grado de libertad
Total (t*r-1)	71
Tratamientos (t-1)	2
Repeticiones (r-1)	23
Error experimental (t-1) (r-1)	46

7.7. Pruebas funcionales

Las medias obtenidas de este proyecto investigativo fueron comparadas con la prueba de significación de Tukey al 0,05% de probabilidad.

7.8. Características de la unidad experimental

- Para el cultivo de lechuga la unidad experimental constó de 2 plantas.
- Para el cultivo de tilapia la unidad experimental constó de 1 pez.

7.9. Variables a medir

7.9.1. Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*)

7.9.1.1. Altura de planta

Para la medición de altura de planta se empleó una cinta métrica, en donde la primera toma de datos fue realizada a los 15 días después de la siembra del cultivo, posteriormente se realizó una segunda toma de datos a los 30 días, por

último, los datos correspondientes a la medición final fueron tomados a los 45 días momento exacto de la cosecha del cultivo de lechuga en el sistema.

7.9.1.2. Número de hojas

Para la toma de datos de esta variable se procedió a contar el número de hojas de las plantas a los 15 días después de su siembra, posterior a ello se realizó un segundo conteo correspondiente a los 30 días del cultivo y un tercer conteo del número de hojas a los 45 días momento exacto de la cosecha del cultivo de lechuga en el sistema.

7.9.1.3. Peso de planta

Para esta toma de datos se necesitó de la utilización de una balanza digital, por medio de la cual, se procedió en el día 45 momento justo de la cosecha del cultivo al pesado individual de cada una de las plantas de lechuga del sistema.

7.9.2. Cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*)

7.9.2.1. Longitud del pez

Para la medición de la variable de longitud del pez fue necesario de la utilización de una cinta métrica, registrándose los primeros datos de esta variable al inicio del funcionamiento del sistema (ingreso al tanque), en cuanto a los datos correspondientes a una segunda medición, estos fueron tomados en la culminación del proyecto es decir a los 60 días.

7.9.2.2. Peso del pez

Para la toma de datos de la variable de peso del pez se necesitó del uso de una balanza digital, registrándose los primeros datos de esta variable al inicio del funcionamiento del sistema (ingreso al tanque), en cuanto a los datos correspondientes a una segunda medición, estos fueron tomados al momento de la finalización del proyecto es decir a los 60 días.

7.9.2.3. Incremento de peso del pez

Las ecuaciones utilizadas para determinar el incremento de peso del pez fueron las siguientes:

Tabla 11. Descripción de ecuaciones para determinar el incremento de peso en el pez

Ecuación 1	incremento de peso (g) =	$P_f - P_i$
Ecuación 2	incremento de peso (%) =	$\frac{P_f - P_i}{P_f} \times 100$

7.10. Manejo del ensayo

7.10.1. Diseño y planificación de la estructura general del sistema acuapónico

Este es el punto de partida de todo proyecto acuapónico, ya que aquí es donde se desarrolla la visualización general del proyecto. Este aspecto juega un papel importante para la planificación en cuanto a la toma de decisiones, ya que abarca puntos esenciales como el diseño, ubicación, estructura, componentes, funcionamiento, cultivos y demás elementos para ser utilizados dentro del sistema.

Por medio de lo detallado con anterioridad el diseño general y la planificación del del presente proyecto investigativo fue desarrollado y presentado a la fecha de 16/12/2019.

7.10.2. Construcción del invernadero

Para la construcción del invernadero del proyecto se utilizó un terreno con unas dimensiones de 400m² dentro de la Finca Experimental del Conocimiento y Tecnología Lodana.

La realización de todo el proceso empezó a la fecha de 04/01/2020 con la limpieza y desmalezado total del área a utilizarse. Posterior a ello se procedió a desempeñar actividades como el encuadre y nivelación de dicho terreno, actividades importantes al momento de realizar el montaje del sistema.

Una vez concluidas dichas actividades se inició la construcción como tal del invernadero utilizando materiales como:

- caña guadúa
- tornillos
- piola gruesa
- ligas
- sarán

7.10.3. Montaje del sistema acuapónico

Este proyecto acuapónico parte de la idea de ser un proyecto amigable con el medio natural, en donde su diseño estructural pasa por ser 100% funcional aprovechando estructuras, materiales y recursos de manera óptima.

Antes de empezar con el montaje estructural es completamente necesario y de vital importancia conocer a la perfección el proceso de funcionamiento a conllevar dentro del sistema acuapónico.

Por consiguiente, la operacionalización de este proyecto acuapónico consistía en la ubicación del cultivo acuícola en tanques 1m³. Con un circuito de agua cerrado que sigue un flujo de recirculación continua, inicia su proceso con la salida de agua desde los tanques, pasando por un primer filtro de malla interior que permite dirigir el agua con un menor grado de residuos hacia a un biofiltro todo esto por medio tuberías de agua y del funcionamiento de una bomba de agua de 0.37 KW de potencia y caudal de 2.4 m³/hora, una vez que el agua ingresa al biofiltro este cumple con los procesos de disolución y convertimiento por medio de acción bacteriana de los residuos en nutrientes, todo este proceso conllevado dentro del biofiltro permite que el agua ahora dirigida hacia el cultivo hidropónico sea óptima para la nutrición de las plantas, en este punto, el componente vegetal muy aparte de su nutrición cumple con la función de actuar como filtro natural permitiendo un retorno del agua a los tanques con peces de una forma limpia.

Es así que, para llevar a cabo todo el montaje de la estructura del sistema acuapónico y cumplir con el proceso de operacionalización antes detallado se necesitó de la implementación de 3 secciones individuales dentro del invernadero, cada una de estas secciones fueron montadas a partir de la fecha de 08/01/2020 y contaban con los siguientes materiales:

- 3 tanques plásticos de 1000 litros (unidades para el cultivo acuícola)
- 3 pallets (bases para las unidades del cultivo acuícola)
- 9 soportes elaborados (bases para las unidades del cultivo hidropónico)
- 1 tanque de 200 litros (unidad de biofiltro)
- 1 bomba de agua de 0.37 KW de potencia y caudal de 2.4 m³/hora (es el motor del sistema y permite un flujo de recirculación continua dentro de un circuito cerrado de agua)
- 3 motores de aire de 3.5 KW de potencia con doble salida de 3 l/min (que garantizan un nivel óptimo de oxigenación para el cultivo acuícola)
- 1 filtro (para la separación y eliminación de los desechos sólidos y en suspensión de mayor tamaño)
- 4 mallas (que cumplen al igual que el biofiltro la función de separación de residuos de mayor tamaño)
- 7 tubos de PVC de 4" de 2m, con sus respectivos orificios (medio de flujo de agua para la unidad hidropónica)
- 1 tubo de PVC de 4" de 1m, con sus respectivos orificios (medio de flujo de agua para la unidad hidropónica)
- 16 tapones de 4" (medio de flujo de agua para la unidad hidropónica)
- 15 codos de 2" (medio de flujo de agua para la unidad hidropónica)
- 20m de tubería de 1/2" (medio de flujo de agua para el circuito del sistema acuapónico)
- 3 tubos de silicón (para la unión y sellado de cada una de las tuberías del sistema acuapónico)
- 3 piedras difusoras grandes (para la distribución de oxígeno a toda la unidad acuícola)

- 5m de manguera de aireación (medio de flujo para el oxígeno dentro de las unidades acuícolas)
- 5m de manguera de agua (para el proceso de funcionamiento del biofiltro)
- 3 adaptadores de tuberías de 2" a 1/2" (para el flujo de agua dentro del sistema acuapónico)
- 7 llaves de 1/2" (para la regulación del flujo de agua en el sistema acuapónico)
- 5 uniones universales de 1/2" (conexiones de tuberías del sistema acuapónico)
- 6 T de 1/2" (conexiones de tuberías del sistema acuapónico)
- 7 codos de 1/2" (conexiones de tuberías del sistema acuapónico)
- 11 acoples pequeños de 1/2" (conexiones de tuberías del sistema acuapónico)
- 6 acoples grandes de 1/2" (conexiones de tuberías del sistema acuapónico)
- 15 cuñas de ajuste (para ajuste de bases de las unidades hidropónica)
- 3 teflones grandes (para las conexiones de tuberías del sistema acuapónico)
- 1 rollo de alambre (soporte y ajuste de la unidad hidropónica)

En lo que respecta al material eléctrico para el funcionamiento de este sistema los materiales utilizados fueron:

- 70m de cable de electricidad 12 (para el funcionamiento de las conexiones eléctricas del sistema acuapónico)
- Caja de breaker (para el funcionamiento de las conexiones eléctricas del sistema acuapónico)
- 4 breaker de luz (para el funcionamiento de las conexiones eléctricas del sistema acuapónico)
- 3 interruptores (para el funcionamiento de los componentes funcionales del sistema acuapónico)
- 8 toma corrientes (para el funcionamiento de los componentes funcionales del sistema acuapónico)

- 1 adaptador para 2 entradas (para el funcionamiento de los componentes funcionales del sistema acuapónico)
- 3 enchufes individuales (para el funcionamiento de los componentes funcionales del sistema acuapónico)

7.10.4. Pruebas al sistema

Para este punto fue necesario pruebas exhaustivas de todo el sistema en general a la fecha de 22/01/2020. Partiendo desde la estructura del invernadero para la obtención de un correcto ingreso de luz hacia el sistema. Posterior a ello, el siguiente punto a valorar tuvo que ver con todas las conexiones eléctricas, probando y verificando minuciosamente que no existan fallas en ninguna de las instalaciones realizadas. Una vez concluido estas revisiones, se continuo con las evaluaciones ahora en el apartado de las bombas tanto de aire como de agua, para establecer un correcto funcionamiento de estos elementos vitales dentro del sistema acuapónico.

Con la correcta examinación de cada uno de estos componentes, se procedió a comprobar los trabajos realizados ahora en la estructura del sistema acuapónico, verificando en primer lugar el tanque destinado para la ubicación de los peces, luego de ello, se tuvo que constatar que exista un correcto funcionamiento de las llaves ubicadas en el sistema, comprobando que no existan obstrucciones ni fugas en ninguna de las tuberías y uniones de las estructuras para el circuito de flujo de agua. Luego de ello, el siguiente punto a evaluar tuvo que ver con los filtros tanto mecánico como biológicos constatando su correcto funcionamiento, para así asegurar un correcto equilibrio entre los componentes que forman parte del sistema.

Para finalizar con el apartado de las pruebas, la última área sometida a proceso de revisión es el área destinada para el cultivo hidropónico ya que aquí, se revisó en primer lugar el nivel de las bases de soporte la cuales deben tener una ligera inclinación de entre 1-2% para crear una velocidad idónea en el flujo interno del agua de 2l por minuto, luego de ello se constató el número de orificios y el distanciamiento establecido en 0,30 cm entre aberturas para la ubicación de las

plantas. Posterior a estas revisiones se verifico el nivel de la película de agua interna manejando una cobertura en un nivel aproximado de entre un 20 y 30%, el último aspecto a verificar en el apartado del área hidropónica tiene que ver con las uniones que conectan en esta área, ya que estas fueron selladas totalmente buscando evitar cualquier fuga o daño que pueda afectar el proceso de flujo interno del agua.

7.10.5. Inoculación de bacterias del biofiltro

Con respecto a este punto, para facilitar el tema que tiene que ver con la inoculación de bacterias nitrificantes dentro del biofiltro, fue necesario dejar el circuito completo del sistema en constante proceso de recirculación, sin la ubicación de peces y de plantas por un periodo aproximado de 8 días. Este proceso ejecutado a la fecha de 30/01/2020 y que se realizó en conjunto con la aplicación inicial de 25ml de Stability Seachem en los tanques de 200l de agua del biofiltro y que a posteriori fueron aplicados en el sexto día 12.5ml por los mismos 200l de agua, permitieron acelerar todo el proceso de proliferación y crecimiento bacteriano en el sistema.

7.10.6. Semillero

Para la siembra en el semillero del cultivo se utilizó un tipo de lechuga de crecimiento vegetativo rápido, *Lactuca sativa Butterhead*.

Dicha actividad se realizó a la fecha de 07/02/2020 utilizando 3 bandejas germinativas, cada una de ellas presentando una capacidad para 72 plantas, para el proceso de llenado de dichas bandejas se utilizó humus de lombriz enriquecido, que en conjunto con los cuidados y controles necesarios permitieron obtener plántulas listas para su trasplante en 15 días con un desarrollo promedio de entre 7-8 cm de longitud y 4 hojas verdaderas.

7.10.7. Introducción de tilapias al sistema

El presente proyecto investigativo inicio su funcionamiento operativo como tal a la fecha de 08/02/2020 con un ingreso de una población de 90 ejemplares de

tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) en estadio adulto con un peso promedio de 90 a 100 gr y una longitud promedio de 16 a 17 cm, características de un pez en fase de engorde.

Todas las tilapias del ensayo fueron sexadas manualmente haciendo uso de azul de metileno, además de ser aclimatadas durante un promedio de 15 días en tanques de 1m³ de agua, dichos reservorios contaban con a una temperatura promedio de 27 °C, con un pH de 7.10.

La alimentación suministrada a los peces desde su introducción al sistema hasta la finalización del mismo, se estableció de acuerdo a una frecuencia de suministro veces/día de 3 y respecto al 1,5% de la biomasa total. En donde, el alimento balanceado utilizado es un tipo de alimento completo que contó con un nivel de proteína del 32%, un nivel de grasa del 6%, un nivel de humedad del 12%, un nivel de fibra del 8% y un nivel de ceniza del 12% abarcando así las necesidades nutricionales de la fase pez.

Los 90 ejemplares de tilapia después de los 15 días de aclimatación y cuidado, se mantuvieron con vida y en óptimas condiciones, permitiendo así ser introducidas a las diversas unidades experimentales del sistema, siendo este proceso conllevado a la fecha de 24/02/2020, contando con los siguientes parámetros para su correcto funcionamiento:

- Temperatura promedio: 27 °C
- pH promedio: 7.10
- Oxígeno disuelto en el agua promedio: 6,5 mg/l

7.10.8. Trasplante de plántulas al sistema

La actividad de trasplante del cultivo al sistema acuapónico se realizó a la fecha de 24/02/2020 sin mayores complicaciones.

Aquí la distribución del cultivo hidropónico de lechuga estuvo relacionada directamente con la población de peces ubicados dentro de cada una de las unidades experimentales. Dicha relación plantas/peces giraba en torno a que, por cada pez utilizado se ubicaban 2 plantas lechugas dentro del sistema, esto

con la finalidad de procurar el mínimo de aporte nutrimentales que son requeridos para su producción.

Para el trasplante de la lechuga desde el semillero hacia el sistema hidropónico, como primera actividad a desempeñar es el lavado del sustrato adherido a las raíces del cultivo, posterior a ello se procede a colocar las plántulas de lechuga en un soporte de esponja, para así finalmente ser ubicadas dentro de su base y situarlas de manera correcta dentro del sistema.

7.10.9. Medición de organismos vivos (plantas-peces)

Para la medición de los organismos vivos del sistema como los son las plantas y los peces, se requirió de la utilización de instrumentos base como lo son: cinta métrica y balanza digital.

7.10.9.1. Plantas

En lo que respecta a las mediciones para el cultivo de lechuga, estas se realizaban utilizando una cinta métrica y una balanza digital en 3 periodos diferentes detallados de la siguiente manera:

Periodo 1: 15 días a la fecha de 24/02/2020 al momento de realizar el trasplante.

Periodo 2: 30 días a la fecha 10/03/2020.

Periodo 3: 45 días a la fecha 25/03/2020 al momento de realizar la cosecha.

Los procesos que fueron realizados para las mediciones en las plantas son los siguientes:

1. Retiro de plantas del sistema.
2. Reposo de lechugas en el área de medición.
3. Registro de medida de altura de planta mediante del uso de cinta métrica.
4. Observación y conteo manual del número de hojas por planta.
5. Pesado de plantas por medio de la utilización de balanza digital.

7.10.9.2. Peces

Continuando con las actividades de medición ahora en el cultivo de tilapia, estas se realizaban por medio del uso de una cinta métrica y balanza digital en dos períodos respectivamente:

Período 1: al inicio del ingreso al sistema a la fecha de 08/02/2020.

Período 2: al finalizar el proyecto, es decir a los 60 días 25/03/2020.

Los procesos desempeñados para las mediciones en los peces fueron las siguientes:

1. Vaciado del reservorio de alojamiento de los peces
2. Retiro de peces del sistema.
3. Ubicación de peces en reservorio de menor tamaño para su reposo en el área de medición.
4. Registro de longitud del pez mediante el uso de cinta métrica.
5. Pesado de peces por medio de la utilización de balanza digital.

Es necesario recalcar que para la ejecución de los procesos de mediciones antes detallados su ejecución debe de realizarse con el mayor cuidado y rapidez posible, tratando de evitar causar un nivel considerado de estrés hacia el pez.

7.10.10. Cosecha de cultivos

La cosecha de los cultivos del sistema se realizó a la fecha de 25/03/2020 una vez cumplido con los procesos de desarrollo propuestos, abarcando un periodo de 60 días para la obtención óptima de ambas producciones tanto de lechuga como de tilapia.

Para el proceso de cosecha del sistema, se empezó en primera instancia con el retiro del cultivo hidropónico, apartando de las bases cada una de las lechugas para así proceder a lavarlas y luego ubicarlas dentro de varios recipientes plásticos para su traslado.

Para el cultivo acuapónico en cambio, se necesitó del vaciado de las unidades experimentales, facilitando de esta manera el retiro de cada una de las tilapias

del sistema, para así proceder luego a ubicarlas en diversos recipientes plásticos para su posterior traslado.

7.10.11. Limpieza y desmontaje del sistema acuapónico

Una vez concluido con todos los procesos requeridos para la culminación del proyecto como tal, se procedió con las actividades de ordenamiento, limpieza y desmontaje del sistema, permitiendo de esta manera la recolección total de los materiales utilizados. Cabe manifestar que, todos estos materiales retirados del sistema son completamente desmontables, lo cual permite de una u otra manera una futura instalación en otra área, siendo esta una de las principales ventajas que nos ofrece el diseño del proyecto establecido.

VIII. RESULTADOS

8.1. Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*)

Para el cultivo de lechuga, posterior a los 15 días de su siembra en el semillero, teniendo una altura promedio de entre 7-8 cm y 4 hojas verdaderas se procedió a trasplantar en el sistema acuapónico en concordancia con la densidad establecida (1 pez/2 plantas en cada uno de los tratamientos).

8.1.1. Altura (cm) en la planta a los 30 días

El análisis de varianza para esta variable (Tabla 1), mostró diferencias significativas para los tratamientos compuestos por densidades poblacionales de tilapia y de lechuga; la prueba de Tukey al 5%, estableció tres rangos de significación.

Se observó el mayor promedio en el tratamiento 2 formado por 10 peces y 20 plantas de lechuga (P10L20), con un valor de 18,1 cm; mientras que el menor promedio lo presentó, el tratamiento 3 formado por 12 peces y 24 lechugas (P12L24), con un valor de 15,27 cm.

8.1.2. Altura (cm) en la planta a los 45 días

En esta variable el ANOVA (Tabla 1), estableció diferencias significativas para los tratamientos, presentando tres rangos de significación según la prueba de Tukey al 5%.

El mayor promedio lo presentó el tratamiento que constaba de 10 tilapias y 20 plantas de lechuga (P10L20), con un valor de 30,07 cm, el menor promedio lo mostró el tratamiento de mayor densidad de peces y plantas (P12L24), con un valor de 28,06 cm.

8.1.3. Incremento de altura (cm) en la planta a los 30 días

Esta variable analiza la diferencia obtenida entre la medición inicial a los 15 días y la tomada posteriormente a los 30 días de edad de la planta, datos que se observan en la Tabla 1. Para el incremento de altura en la planta a los 30 días el ANOVA (Tabla 1), estableció diferencias estadísticas en los tratamientos, presentando tres rangos de significación según la prueba de Tukey al 5%.

El mayor promedio lo presentó el tratamiento que constaba de 10 tilapias y 20 plantas de lechuga (P10L20), con un valor de 10,58 cm lo que representa el 58,45% en incremento de altura; mostrando el tratamiento de mayor densidad en los componentes biológicos del sistema (P12L24), el menor promedio, con un valor de 7,90 cm; es decir, el 51,74%.

8.1.4. Incremento de altura (cm) en la planta a los 45 días

En esta variable el ANOVA (Tabla 1), estableció diferencias significativas para los tratamientos, presentando dos rangos de significación según la prueba de Tukey al 5%.

El mayor promedio lo presentó el tratamiento 2 (P10L20), obteniendo un incremento del 74,99% y un valor de 22,54 cm, seguido de los tratamientos 1 (P8L16) y 3 (P12L24) que comparten rango, con promedios de 21,05 y 20,68 cm de incremento de altura, respectivamente.

Tabla 12. Altura de la lechuga (*Lactuca sativa*)

Tratamientos	Altura promedio de plantas (cm)			Incremento altura			
	A los 15 días	A los 30 días	A los 45 días	A los 30 días		A los 45 días	
				(cm)	(%)	(cm)	(%)
1 P8L16	7,53	15,92 b	28,58 b	8,39 b	52,70	21,05 b	73,65
2 P10L20	7,52	18,10 a	30,07 a	10,58 a	58,45	22,54 a	74,99
3 P 12L24	7,37	15,27 c	28,06 c	7,90 c	51,74	20,68 b	73,73
Media	7,47	16,43	28,90	8,96	54,30	21,42	74,13
Coeficiente de variación		3,80%	1,80%	7,09%		2,50%	
Tukey al 5%		0,4323	0,3596	0,4391		0,3699	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

8.1.5. Número de hojas de las plantas de lechuga a los 30 días

El análisis de varianza para esta variable (Tabla 2), encontró diferencias significativas para los tratamientos; la prueba de Tukey al 5%, estableció dos rangos de significación.

Se observó el valor promedio más alto en el tratamiento 2 formado por 10 peces y 20 plantas de lechuga (P10L20), con un valor de 12,04 hojas por planta; mientras que los tratamientos 1 (P8L16) y 3 (P12L24) comparten el segundo rango con 11,17 y 10,85 hojas por planta, respectivamente.

8.1.6. Número de hojas de las plantas de lechuga a los 45 días

Esta variable presentó diferencias significativas para los tratamientos en el análisis de varianza (Tabla 2), presentando tres rangos de significación según la prueba de Tukey al 5%.

El promedio más alto lo presentó el tratamiento 2 (P10L20), con 17,98 hojas por planta, y el promedio más bajo se obtuvo en el tratamiento de mayor densidad poblacional (P12L24) con un valor de 16,17 hojas.

8.1.7. Ganancia número de hojas de las plantas de lechuga a los 30 días

Esta variable al igual que la ganancia de peso, analiza la diferencia obtenida entre la medición inicial a los 15 días y la tomada posteriormente a los 30 días de edad de la planta. Para esta variable el ANOVA (Tabla 2), estableció

diferencias estadísticas para los tratamientos, presentando dos rangos de significación según la prueba de Tukey al 5%.

El mayor promedio lo presentó el tratamiento 2 (P10L20), con un valor de 8,04 hojas por planta, lo que constituye el 66,78% en incremento en relación al conteo inicial; seguido de los tratamientos 1 (P8L16) con 7,17 y 3 (P12L24) con 6,85 hojas por planta ganadas, los que comparten rango y sus incrementos superan el 60% como se muestra en la Tabla 2.

8.1.8. Ganancia número de hojas de las plantas de lechuga a los 45 días

Esta variable calcula la ganancia entre la medición inicial a los 15 días y la tomada posteriormente a los 45 días de edad de la planta. El ANOVA (Tabla 2), estableció diferencias significativas para los tratamientos, presentando tres rangos de significación según la prueba de Tukey al 5%.

El tratamiento 2 (P10L20), presentó el valor promedio más alto de 13,98 hojas por planta, lo que representa el 77,75% en incremento en relación al conteo inicial; mientras que el tratamiento 3 (P12L24) mostró el promedio más bajo con 12,17 hojas por planta, que en porcentaje constituye el 75,26%.

Tabla 13. Número de hojas de lechuga (*Lactuca sativa*)

Tratamientos	Número de hojas promedio por planta			Ganancia número de hojas			
	A los 15 días	A los 30 días	A los 45 días	A los 30 días		A los 45 días	
				(n° de hojas)	(%)	(n° de hojas)	(%)
1 P8L16	4	11,17 b	17,17 b	7,17 b	64,19	13,17 b	76,70
2 P10L20	4	12,04 a	17,98 a	8,04 a	66,78	13,98 a	77,75
3 P 12L24	4	10,85 b	16,17 c	6,85 b	63,13	12,17 c	75,26
Media	4	11,35	17,11	7,35	64,70	13,11	76,57
Coeficiente de variación		7,31%	4,66%	11,29%		6,09%	
Tukey al 5%		0,5739	0,5516	0,5739		0,5516	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

8.1.9. Peso (g) promedio de planta a los 45 días

Para esta variable tomada a la cosecha (Tabla 3), los tratamientos estudiados presentaron diferencias estadísticas en el análisis de varianza; la prueba de Tukey al 5% presentó tres rangos de significación.

El tratamiento 2 (P10L20) presentó el promedio más alto con un valor de 129,67 g seguido del tratamiento 1 (P8L16) con 127,34 g; siendo que, el tratamiento 3 mostró el promedio más bajo, con el 126,62 g.

8.1.10. Peso (g) total de planta por tratamiento a los 45 días

En esta variable el análisis de varianza (Tabla 3), estableció diferencias significativas para los tratamientos, presentando tres rangos de significación según la prueba de Tukey al 5%.

El primer rango lo presentó la mayor densidad tanto en peces como en plantas (P12L24), con valor promedio de 3038,9 g (3 kg), mientras que en el último rango se ubicó el tratamiento con la menor densidad en ambos componentes (P8L16), con un valor de 2037,4 g (2 kg) como promedio más bajo.

Tabla 14. Peso de lechuga (*Lactuca sativa*)

Tratamientos	Peso promedio de planta (g)	Peso total de planta / tratamiento (g)
1 P8L16	127,34 b	2037,4 c
2 P10L20	129,67 a	2593,4 b
3 P12L24	126,62 c	3038,9 a
Media	127,88	2556,6
Coeficiente de variación	0,41%	0,43%
Tukey al 5%	0,3591	7,5800

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

8.2. Cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*)

8.2.1. Longitud promedio (cm) del pez a los 60 días

El ANOVA para esta variable (Tabla 4), presentó diferencias significativas para los tratamientos, la prueba de Tukey al 5%, estableció tres rangos de significación.

El promedio superior fue para el tratamiento formado por la menor densidad poblacional en ambos componentes (P8L16), con un valor de 24,23 cm., mientras que el menor promedio lo presentó el tratamiento 3 de mayor densidad (P12L24), con un valor de 22,81 cm.

8.2.2. Incremento en longitud (cm) del pez a los 60 días

El incremento en longitud del pez se calculó de la diferencia entre las mediciones iniciales y a los 60 días. De acuerdo al ANOVA la variable (Tabla 4), presentó diferencias significativas para los tratamientos; así como la prueba de Tukey al 5%, determinó dos rangos de significación.

El valor promedio más alto lo exhibió el tratamiento formado por la menor densidad poblacional en ambos componentes (P8L16), con un valor numérico de 7,10 cm y porcentual de 29,26%, a pesar de compartir rango con el tratamiento 2 de densidad intermedia (P10L20) cuyos valores fueron de 6,74 (28,60%); y el promedio más bajo lo mostró el tratamiento 3 (P12L24) de mayor densidad, con un valor de 6,36 cm (27,88); que así mismo comparte el segundo rango con el tratamiento 2.

Tabla 15. Incremento en la longitud de tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Tratamientos	Longitud promedio de tilapias (cm)		Incremento longitud (cm)	Incremento longitud (%)
	Al ingresar al sistema	A los 60 días		
1 P8L16	17,14	24,23 a	7,10 a	29,26
2 P10L20	16,83	23,57 b	6,74 ab	28,60
3 P12L24	16,45	22,81 c	6,36 b	27,88
Media	16,81	23,54	6,73	28,58
Coeficiente de variación		2,41%	11,26%	

Tukey al 5%	0,3923	0,5240
-------------	--------	--------

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

8.2.3. Peso promedio (g) del pez a los 60 días

En esta variable el análisis de varianza (Tabla 5), estableció diferencias significativas para los tratamientos, presentando tres rangos de significación según la prueba de Tukey al 5%.

El primer rango lo presentó el tratamiento formado por 8 peces y 16 plantas de lechuga (P8L16), con valor promedio de 175,2 g, mientras que en el último rango se ubicó la densidad de 12 peces y 24 lechugas (P12 L24), con un valor de 171,74 g siendo el promedio menor.

8.2.4. Incremento del peso (g) del pez a los 60 días

Para esta variable (Tabla 5), los tratamientos estudiados no presentaron diferencias estadísticas en el análisis de varianza. Sin embargo, el tratamiento 1 (P8L16) presentó el promedio más alto con un valor del 78,58 g que en porcentaje representa el 44,85% de incremento, seguido de los tratamientos 3 (P12L24) y 2 (P10L20) con incrementos de alrededor de 78 g.

8.2.5. Peso total (g) del pez por tratamiento

Para el peso total de los peces por metro cúbico, el análisis de varianza (Tabla 5), estableció diferencias significativas para los tratamientos, presentando tres rangos de significación de acuerdo a la prueba de Tukey al 5%.

El primer rango lo mostró la mayor densidad de peces y plantas (P12L24), con un valor promedio de 2060,9 g. Por otro lado, el tratamiento con la menor densidad en ambos componentes (A3B3), ostentó el valor promedio más bajo con 1401,6 g.

Tabla 16. Incremento del peso en tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Tratamientos	Peso promedio de tilapias (g)	Peso total de pez /
--------------	-------------------------------	---------------------

	Al ingresar al sistema	A los 60 días	Incremento de peso (g)	Incremento de peso (%)	tratamiento (g)
1 P8L16	96,62	175,2 a	78,58 a	44,85	1401,6 c
2 P10L20	94,95	172,98 b	78,03 a	45,11	1729,8 b
3 P12L24	93,23	171,74 c	78,52 a	45,71	2060,9 a
Media	94,93	173,31	78,38	45,23	1730,76
Coefficiente de variación		0,98%	1,93%		0,97%
Tukey al 5%		1,1793	1,0440		11,5582

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

IX. DISCUSIÓN

El sistema acuapónico con recirculación de agua implementado en esta investigación se convierte en una alternativa para la producción orgánica de alimentos de origen vegetal y animal que puede contribuir a la seguridad alimentaria de la población, coincidiendo con Albarrán y Cardoso (2018) quienes manifiestan que, la acuaponía permite obtener una producción agropecuaria orgánica, sana y segura. Por otro lado, y de acuerdo a los resultados obtenidos, el éxito de este tipo de producción está en el manejo adecuado de los elementos del sistema como son: la elección de las especies que conforman el componente biológico, la relación peces - plantas, los microorganismos (bacterias encargadas de participar en el ciclo del nitrógeno), filtrado, aireación y calidad del agua, así como alimento de los peces, entre otros; lo que reafirma lo publicado por Carreras (2013) en relación a la importancia de seleccionar cuidadosamente las especies de peces y plantas para el correcto funcionamiento del sistema, estas

especies deben complementarse de tal forma que se beneficien la una de la otra, en este sentido Buschmann (2001) menciona que, tanto los peces como los microorganismos brindan a las plantas los nutrientes para su crecimiento y desarrollo, todo esto por medio de la acumulación de materia orgánica; además, Church y Pond (1982) establecen la importancia de las interacciones alimento-pez y residuos-plantas para cumplir con las necesidades nutricionales dentro de un sistema de acuaponía.

El componente evaluado en esta investigación densidad poblacional de tilapia y lechuga; es decir, la cantidad de peces por cada metro cúbico de agua, se estableció respetando la proporción 1:2, entendiéndose que por cada pez dentro del sistema acuícola, se plantaron dos lechugas; en este sentido, se manejaron densidades baja (8 tilapias + 16 lechugas), media (10 tilapias + 20 lechugas) y alta (12 tilapias + 24 lechugas), observándose que las densidades bajas mejoran las variables como longitud y peso en los peces, posiblemente porque los peces tienen una menor competencia por los recursos espacio y oxígeno disuelto en el agua; además de la menor producción de residuos nitrogenados que pueden ser tóxicos para ellos. Mientras que en las plantas la densidad media produjo las mejores respuestas en la mayoría de las variables, debido probablemente a que se cumplen mejor los procesos de cada uno de los elementos que intervienen en el sistema, especialmente en la transformación de las excretas de los peces a sustancias asimilables para las plantas, gracias a la acción de las bacterias nitrificantes inoculadas, lo que concuerda con Rakocy *et al.* (1992) quienes mencionan que la materia orgánica existente es fundamental para el sistema, ya que es utilizada por medio de acción bacteriana como una fuente rica en nutrientes para el cultivo de plantas.

En la presente investigación la tilapia gris ingresó al sistema acuapónico en estadio adulto con pesos entre 90 y 100 g y tamaño entre 16 y 17 cm, características de un pez en fase de engorde, acorde a lo referido por Corantioquia (2016) quien señala que, los adultos de tilapia presentan longitudes entre 10 a 18 cm y pesos de 70 a 100 g, lo que se da entre los 70 y 90 días de vida del pez; y posteriormente, como ya se mencionó con la menor densidad poblacional de los componentes biológicos del sistema se obtuvieron las

mayores longitudes del pez a los 60 días, llegando a medir 24,23 cm con una ganancia de longitud de 7,1 cm, lo que representa un 29.26%, lo que difiere con Tapia (2018) quien obtuvo un incremento de longitud por pez de 8,34 cm que porcentualmente representa el 76,51%. De la misma forma, en este tratamiento las tilapias tuvieron el mejor comportamiento en la variable peso, logrando 175,2 g en promedio, con un incremento de peso de 78,58 g (44,85%) lo que concuerda con Ascencio *et al.* (2019) quienes estudiaron tres densidades de siembra en tilapia en un sistema acuapónico, siendo el tratamiento que mejor incremento de peso promedio tuvo el de menor densidad (50 peces/m³) con 76.1 g; a pesar que el rendimiento total del tratamiento fue superior en el de mayor densidad; es decir, de los 12 peces con un valor de 2060,9 g (2 Kg) y ganancia de peso de 45.71%, valores inferiores a los reportados por Tapia (2018) quien presentó valores de 97,73 %. Con estos resultados se observa que la tilapia se desarrolla mejor en bajas densidades poblacionales, lo que concuerda con INCOPECA (2014) que señala que dentro de un sistema acuícola los peces crecen más rápido cuando tienen mucho espacio y mayor cantidad de agua disponible y con Culcos y Tucto (2018) quienes en la evaluación de tres densidades poblacionales de *Oreochromis niloticus* var. Chitralada en sistema acuapónico tilapia – lechuga determinaron que, el crecimiento ocurrió en función inversa a la densidad de siembra, siendo mayor en la densidad más baja de 167 tilapias/m³; sin embargo, hay que indicar, que la tilapia es una especie que soporta altas densidades, y tolera factores adversos, convirtiéndose por lo tanto en una especie a elegir para este tipo de producción como lo manifiesta Agrotendencia (2020) que, para la elección del cultivo acuícola dentro de los sistemas acuapónicos es recomendable la selección de organismos que toleren altas densidades aprovechando el espacio, y posean cierta tolerancia a compuestos nitrogenados, entre otras; y en este sentido Corantioquia (2016) menciona que, la tilapia presenta características ventajosas para su cultivo, como: crecimiento acelerado, tolerancia a altas densidades, soporta condiciones ambientales adversas, tolera bajas concentraciones de oxígeno, entre otras.

Analizando el tratamiento con la densidad intermedia que permitió los mejores comportamientos a nivel del componente vegetal, y teniendo en cuenta que, las

plántulas ingresaron al sistema a los 15 días de edad con longitudes entre 7 y 8 cm y 4 hojas verdaderas, la ganancia obtenida en altura es del 74,99%, ya que las plantas llegaron a medir a los 45 días (60 días de edad de la planta) 30,07 cm, valores similares obtuvo Tapia (2018) en estudio comparativo de sistemas acuapónicos e hidropónicos en zonas urbanas, donde las lechugas acuapónicas llegaron a medir 27,22 cm a los 60 días con un incremento de longitud de 85,3% utilizando una densidad de 15 tilapias con 15 lechugas en 500 L de agua, y por Culcos y Tucto (2018), quienes obtuvieron lechugas de 30,6 cm en longitud de hoja promedio. Se observa que el comportamiento de la lechuga fue mejor en las densidades media y baja y que a pesar de que en la mayor densidad se presentan mayor cantidad de compuestos nitrogenados que pudieran ser asimilados por las plantas para incrementar su biomasa, es el tratamiento de valores más bajos en las variables por planta, se asume que la lechuga se adapta mejor a menores concentraciones de compuestos nitrogenados como lo menciona Muñoz (2012) quien dice que, la lechuga es apta para los sistemas acuapónicos por ser una planta para la producción de hojas que tiene bajos requerimientos nutricionales, y permite manejar una menor carga de peces; por otro lado, se contrapone a lo reportado por Culcos y Tucto (2018), quienes evidenciaron que el crecimiento de lechuga estuvo relacionado directamente con la densidad de siembra de los peces, siendo más alto en la mayor densidad de 333 peces/m³, lo que podría atribuirse a que el estudio mencionado evaluó tilapias en estado juvenil en contraste con el presente estudio que evaluó tilapias adultas.

En cuanto al número de hojas por planta el comportamiento fue similar en este tratamiento con 17,98 hojas a los 45 días de estar en el sistema y ganancia de 13,98 hojas; es decir, el 77,75%, valores superiores a los obtenidos por Tapia (2018) quien en su investigación logró su promedio más alto en el reactor Acuapónico con 14 hojas por planta sobre el sistema hidropónico donde obtuvo 12 hojas a los 60 días, se desconoce si este comportamiento puede estar relacionado a la variedad usada en el estudio y que sea una característica genética del material vegetal.

Asimismo, la densidad intermedia logró el mejor peso promedio de planta con 129,67 g, y obtuvo la segunda mejor producción de 2593,4 g (2.6 Kg) en las 20 plantas que forman el tratamiento por debajo del tratamiento de mayor densidad que produjo 3038,87g (3 Kg); semejando los rendimientos promedios de Tapia (2018) de 119,3 g por planta y de 2,8 kg/m² en el reactor acuapónico. Y siguiendo la tendencia de Culcos y Tucto (2018) cuyas producciones se incrementaron siguiendo la tendencia de la densidad de los peces, a mayor densidad mayor producción de lechugas, obteniendo 3,963 kg.

X. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación se concluye:

- El sistema acuapónico evaluado es eficiente para la producción de los componentes vegetal y animal en proporción 1:2 (1pez/plantas).
- El tratamiento 2 (P10L20) presenta el mejor comportamiento agronómico para la producción de lechuga en el sistema acuapónico con tilapia.
- El tratamiento 1 (P8L16) que contiene la menor densidad de tilapia y lechuga es el de mejor comportamiento en el crecimiento de la tilapia.
- El tratamiento 3 (P12L24) tiene los valores más bajos en las variables peso, altura, longitud de manera individual en cada componente biológico

del sistema; no obstante, desde el punto de vista de uso del espacio es el más óptimo para la producción, dado que se obtuvo 2 Kg de peso total de pescado por tratamiento (60 días), y 3 Kg de peso total de lechuga por tratamiento (45 días).

XI. RECOMENDACIONES

- Es aconsejable manejar peces de un mismo estadio, talla, peso y sexo para así evitar depredación entre estos, por otra parte, eludir una gran competitividad por alimento y por último librarse de una compleja toma de datos debido a la gran variabilidad.
- Se recomienda el uso de una alimentación balanceada y complementaria acorde a los requerimientos nutricionales del estadio en que se encuentra el pez, debido a que este rubro tiene una alta incidencia en el desarrollo total de los organismos, así como también en los costos de operacionalización de esta clase de sistema.
- Implementar mecanismos (clarificador) y controles pertinentes que permitan un apropiado tratamiento para la calidad del agua.

- Asegurar niveles de aireación apropiados mediante la aplicación de mecanismos externos (bombas de aire) que trabajen de manera segura y continua (24 horas) es vital, debido a que, ello posibilitará garantizar niveles ideales de sobrevivencias y desarrollo en los organismos que conforman al sistema.
- Continuar con los estudios de esta clase de sistema, aplicando otras especies y densidades poblaciones, así como también otros tipos de estructuras que permitan obtener mejoras que posibiliten un perfeccionamiento que repercuta en temas puntuales como la eficiencia, la productividad y la rentabilidad.

XII. BIBLIOGRAFÍA

- Agrotendencia. (2020). La acuaponía como alternativa a la producción de alimentos. Disponible en: <https://agrotendencia.tv/agropedia/la-acuaponia/>
- Agrotendencia. (2020). Cultivo de la Tilapia. Disponible en: <https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivo-de-la-tilapia/>
- Albarrán, M. y Cardoso, B. (2018). La acuaponía como alternativa sustentable para la producción de peces y hortalizas. Conferencia Interdisciplinaria de Avances en Investigación (CIAI). México. Disponible en: <http://xogi.ler.uam.mx:10080/bitstream/20.500.12222/133/6/000164.pdf>
- Antía, P. (2019). Hidroponía: un cultivo sostenible para mirar hacia el futuro. Disponible en: <https://www.gciencia.com/i-emprender/hidroponia-cultivo-sostenible-futuro/>
- AquaBiofilter. (2014). Aqua Biofilter humedales flotantes e islas flotantes. Disponible en: <http://www.aquabiofilter.com/>

- AquaHoy. (2014). Mayor proyecto de acuaponía del mundo permitirá resolver problema ambiental en lago chino. Chimbote-Perú. Disponible en: <https://www.aquahoy.com/noticias/general/22867-mayor-proyecto-de-acuaponia-del-mundo-permitira-resolver-problema-ambiental-en-lago-chino>
- AquaHoy. (2014). Proyecto de acuaponía a gran escala financiado por la UE contribuirá a la seguridad alimentaria. Chimbote-Perú. Disponible en: <https://www.aquahoy.com/i-d-i/sistemas-de-cultivo/21561-proyecto-de-acuaponia-a-gran-escala-financiado-por-la-ue-contribuira-a-la-seguridad-alimentaria>
- Bakiu, R. y Shehu J. (2014). Aquaponic systems as excellent agricultural research instruments in Albania. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/263805827_Aquaponic_systems_as_excellent_agricultural_research_instruments_in_Albania
- Banco Mundial (BM) (2019). Alimentos y agricultura panorama general. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/overview#:~:text=El%20desarrollo%20agr%C3%ADcola%20constituye%20uno,millones%20de%20habitantes%20en%202050>.
- Biamonte, P., Escoto, A., Jiménez, R., Sterling, F., Subiros, F. (1984). Olericultura. Editorial, UNED (Universidad Estatal a Distancia). San José, Costa Rica. p. 512.
- Buschmann, A. (2001). Impacto Ambiental De La Acuicultura El Estado De La Investigación En Chile Y El Mundo. Santiago, Chile, p.15. Disponible en: <https://www.cetmar.org/DOCUMENTACION/dyp/ImpactoChileacuicultura.pdf>
- Bustamante, A. (2015). Acuaponía: Sistema de Producción Integrado. Disponible en: [http://www.hortyfresco.uchile.cl/docs/udelar/13-La%20Acuapon%C3%ADa%20como%20ejemplo%20de%20sistema%20de%20producci%C3%B3n%20integrado%20\(Andr%C3%A9s%20Bustamante\).pdf](http://www.hortyfresco.uchile.cl/docs/udelar/13-La%20Acuapon%C3%ADa%20como%20ejemplo%20de%20sistema%20de%20producci%C3%B3n%20integrado%20(Andr%C3%A9s%20Bustamante).pdf)
- Caló, P. (2011). Introducción a la Acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola - CENADAC. Argentina. Disponible en: <http://chilorg.chil.me/download-doc/86262>
- Candarle, P. (2016). Técnicas de Acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Dirección de acuicultura. Disponible en: <https://www.studocu.com/es/document/universidad-unidad/calor/informe/160831-tecnicas-de-acuaponia/4756845/view>
- Cantor, F. (2007). Manual De Producción De Tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla – México. Disponible en: <https://docplayer.es/35165080-Manual-de-produccion-de-tilapia.html>

- Carrasco S. e Izquierdo, J. (1996). La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante (“NFT”). Disponible en: http://www.fao.org/tempref/gi/reserved/ftp_faorlc/old/docrep/rlc1050s.pdf
- Carreras, J. (2013). ¿Qué es la acuaponía? proyecto The Greenfish Farm. Disponible en: <https://thegreenfishfarm.com/que-es-la-aquaponia/>
- Carruthers, S. (2015). Small-scale aquaponic food production. Practical Hydroponics and Greenhouses. No. 152. ISSN: 1321-8727. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Small-scale-aquaponic-food-production-Carruthers/cb0ed7d3042fe853bcc076cf347799a305c07e0b>
- Colagrosso, A. (2014). Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala. Disponible en: <https://docplayer.es/11583216-Instalacion-y-manejo-de-sistemas-de-cultivo-acuaponicos-a-pequena-escala.html>
- Colorado, M. y Ospina, M. (2019). La acuaponía como herramienta de formación en tiempos de paz. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA. Colombia. ISBN: 978-958-15-0474-9. Disponible en: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/5555/3/acuaponia_como_herramienta_de_formaci%C3%B3n.pdf
- Connolly, K. y Trebic, T. (2010). Optimization of a backyard aquaponic food production system. Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Macdonald Campus, McGill University. Disponible en: <https://backyardaquaponics.com/Travis/Aquaponics-Design.pdf>
- Corantioquia. (2016). Manual de Producción y Consumo Sostenible Gestión del Recurso Hídrico. Piscícolas Cultivo de Trucha y Tilapia. Disponible en: <file:///C:/Users/CompuStore/Downloads/Pisicola.pdf>
- Church D y Pond W. (1982). Basic animal nutrition and feeding. New York, USA: John Wiley and Sons.
- Davis, R., Subbarao, K., Raid, R., Kurtz E. (2002). Plagas y enfermedades de la lechuga. Edición en español. Editorial: Mundi Prensa. Madrid, España. p. 102.
- Dices.net. 2019. Mapa de Lodana en Manabí, Santa Ana de Vuelta Larga. Disponible en: <https://mapasamerica.dices.net/ecuador/mapa.php?nombre=Lodano&id=16150>
- Diver, S. (2000). Aquaponics - Integration of Hydroponics with Aquaculture. ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.695.1254&rep=rep1&type=pdf>

- Effendi, H., Utomo, B., Darmawangsa, G., Sulaeman, N. (2015). Combination of water spinach (*Ipomea aquatica*) and bacteria for freshwater crayfish red claw (*Cherax quadricarinatus*) culture wastewater treatment in aquaponic system. *Biological Advances Journal*, 6, p. 30-42. Disponible en: https://www.academia.edu/12272481/Combination_of_water_spinach_Ipomea_aquatica_and_bacteria_for_freshwater_crayfish_red_claw_Cherax_quadricarinatus_culture_wastewater_treatment_in_aquaponic_system
- El-Sayed A. (2006). *Tilapia culture*. CABI Publishing. P. 277. USA. Disponible en: <https://www.gafrd.org/files/0084/84094/Tilapia%20culture.pdf>
- Fernández, X. (2016). La acuaponía se desarrolla como industria en el mundo y en Chile no logra despegar. Chile. Disponible en: <https://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Noticias/2016/06/07/La-acuaponia-se-desarrolla-como-industria-en-el-mundo-y-en-Chile-no-logra-despegar.aspx?disp=1>
- Goretta, J. (2015). Acuaponía, un modelo de aprovechamiento en el cultivo conjunto de peces y plantas. Argentina. Disponible en: http://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?titulo=acuaponia_un_modelo_de_e_aprovechamiento_en_el_cultivo_conjunto_de_peces_y_plantas&id=2500
- GreenBiz. (2019). Tecnología y medio ambiente: las nuevas formas de producción en el mundo. Disponible en: <https://www.agritotal.com/nota/38154-tecnologia-y-medio-ambiente-las-nuevas-formas-de-produccion-en-el-mundo/>
- Hernández, L. (2017). Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación en el cultivo de Tilapia Roja (*Oreochromis mossambicus*) y Lechuga Crespita (*Lactuca Sativa*). (Tesis en Magister en Ingeniería Automatización Industrial). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá DC, Colombia, p. 12. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/62310/1/1057592154.2018.pdf>
- Hydro Environment. (2020). Guía de acuaponía. Disponible en: https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=147
- Hydro Environment. (2020). Cultivo de lechuga. Disponible en: https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=292
- InfoAgro. (2017). Sistemas de cultivo hidropónico. Disponible en: <https://mexico.infoagro.com/sistemas-de-cultivo-hidroponico/>
- InfoAgro. (2010). El cultivo de la lechuga. Disponible en: https://www.infoagro.com/video/video_agricola.asp?id=24

- Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPESCA) (2014). Sistemas de cultivo. Disponible en: https://www.incopescas.go.cr/acuicultura/sistema_cultivo.html
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) (2017). Manual de producción de lechuga. Instituto de Desarrollo Agropecuario-Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín N° 09. SSN 0717-4829. Santiago, Chile. Disponible en: <https://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/09%20Manual%20Lechuga.pdf>
- INTAGRI. (2017). Acuaponía para la producción de plantas y peces. Serie Horticultura Protegida Núm. 32. Artículos Técnicos de INTAGRI. p. 6. México. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/acuaponia-produccion-de-plantas-y-peces>
- Ipac. (2017). Se inaugura en Wisconsin la mayor planta de acuaponía. Disponible en: http://www.ipacuicultura.com/noticias/en_portada/57823/se_inaugura_en_wisconsin_la_mayor_planta_de_acuaponia_.html
- Jiménez, O. (2020). Acuaponía: una forma potencial y sustentable de cultivar de manera eficiente y sustentable alimentos. III Congreso Virtual Internacional sobre Economía Social y Desarrollo Local Sostenible. Instituto Tecnológico de Tlaxiaco - México. Disponible en: <https://www.eumed.net/actas/20/economia-social/26-acuaponia-una-forma-potencial-y-sustentable-de-cultivar.pdf>
- León, C. (2010). Principios básicos en un sistema de acuaponía. Disponible en: <https://www.aquahoy.com/no-categorizado/10518-principios-basicos-en-un-sistema-de-acuaponia>
- Lewis, W., Yopp, J., Schramm, H., Brandenburg, A. (1978). Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. Transactions of the American Fish Society Vol. 197, p. 92–99. Disponible en: [https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1577/1548-8659\(1978\)107%3C92%3AUOHTMQ%3E2.0.CO%3B2](https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1577/1548-8659(1978)107%3C92%3AUOHTMQ%3E2.0.CO%3B2)
- López, J. (2019). Cultivo Acuapónico Guía Especializada. CIFAL Málaga – España. Disponible en: <https://www.cifalmalaga.org/web/wp-content/uploads/2020/04/2019.11.07-LIBRO-ACUAPONIA.pdf>
- Love, D., Fry, J., Li, X., Hill, E., Genello, L., Semmens, K., Thompson, R. (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. Aquaculture, p. 67-74. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848614004724>
- Lovell, C. (1989). Nutrition and Feeding of Fish. Van Nostrand Reinhold Publishers, New York, USA, p. 256. Disponible en: <https://books.google.co.in/books?id=2nYaKaddKfkC&printsec=frontcover&d>

q=Nutrition+and+Feeding+of+Fish.&hl=en&sa=X&ei=ta69ULDUBIWyrAev1oDwDg#v=onepage&q=Nutrition%20and%20Feeding%20of%20Fish.&f=false

- Mansur, E. y Sadoff, C. (2018). Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta. Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/fao/contaminantes-agricolas-grave-amenaza-agua-planeta>
- Martínez, R. (2013). Investigación y ciencia. La Acuaponía como alternativa de producción agropecuaria sostenible ¿Una posibilidad para tener en casa? REDICINySA Vol. 2, No. 5. p.16. ISSN: 2007-6711. Guanajuato-México. Disponible en: <https://www.ugto.mx/redicinaysa/images/Revistas2013/redicinaysa-sept-oct-2013-universidad-guanajuato.pdf>
- Martínez, N. (2019). Diseño de sistema acuapónico prefabricado, combinando áreas de cultivo vertical y horizontal. Universidad Tecnológica De La Mixteca. Oaxaca - México. Disponible en: http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/13872.pdf
- Masser, M, Rakocy, J. y Losordo, T. (1999). Recirculating acuacultura tank production systems: management of recirculating systems. Southern Regional Aquaculture Centre Publication No. 452. Southern Regional Aquaculture Centre, USA. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/239549714_Recirculating_Aquaculture_Tank_Production_Systems_-_Management_Of_Recirculating_Systems
- McMurtry, M., Sanders, D., Cure, J., Hodson, R., Haning, B., St. Amand, P. (1997). Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture system. J. World Aquaculture Soc. 28, p. 420–428. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/230046939_Efficiency_of_Water_Use_of_an_Integrated_FishVegetable_Co-Culture_System
- Molina, R. (2012). Acoponia. Disponible en: <https://acuaponia-argentina.blogspot.com/2012/01/historia-de-la-acuaponia.html>
- Muñoz, M. (2012). Sistemas de recirculación acuapónicos. Informador Técnico. Edición 76. Enero-diciembre 2012. pp. 123-129. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317121095_Sistemas_de_recirculacion_acuaponicos
- Olmo, A. (2018). Origen de la lechuga. Disponible en: <https://blogagricultura.com/origen-de-la-lechuga/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2014). Acuicultura de pequeña escala y recursos limitados en América Latina y el Caribe. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-au437s.pdf>

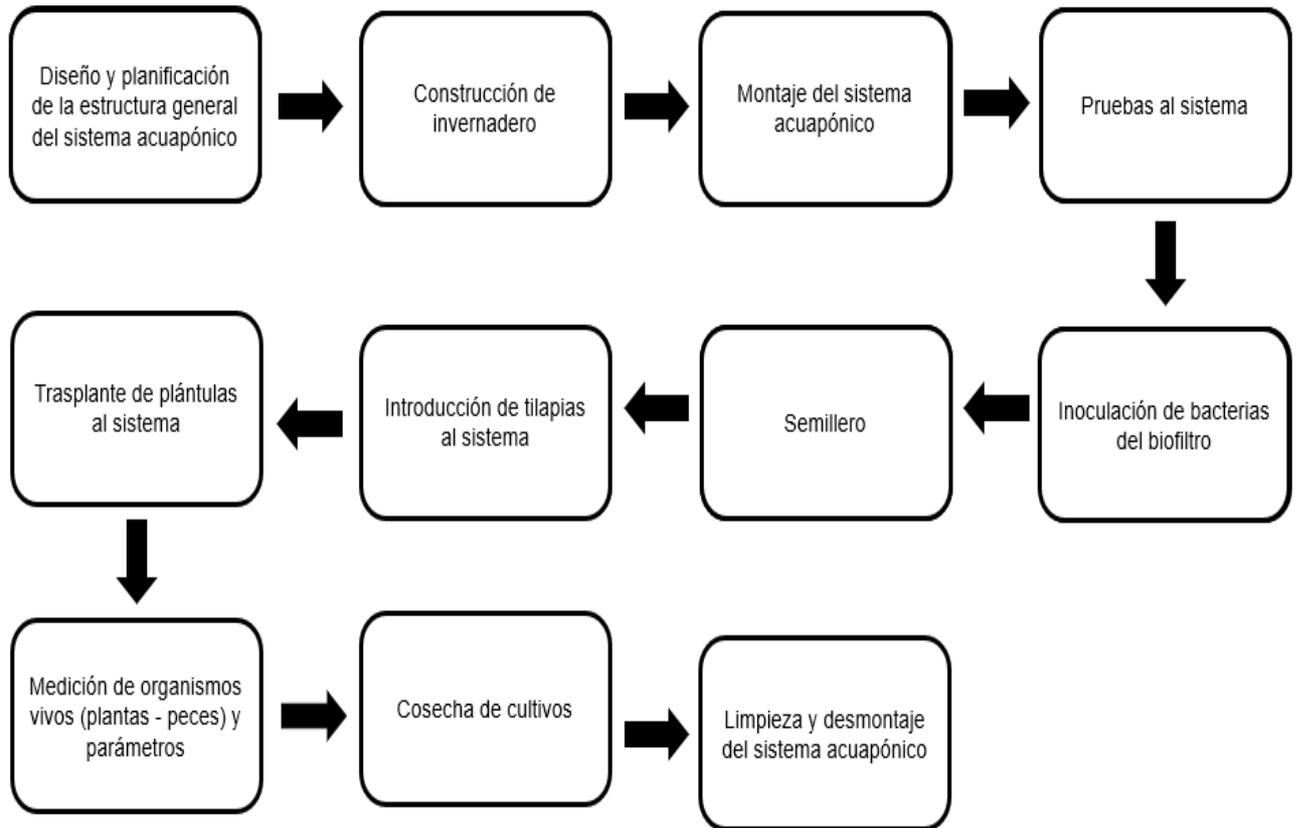
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2014). Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4021e.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2015). Diseño de un sistema acuapónico. TECA - Tecnologías y prácticas para pequeños productores agrícolas. Disponible en: <http://www.fao.org/teca/new-search-result/technology-detail/en/?uid=8725>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2015). Estado Mundial del Recurso Suelo. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2017). El futuro de la alimentación y la agricultura. Tendencias y desafíos. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2017). Escasez de agua: Uno de los grandes retos de nuestro tiempo. Disponible en: <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/880888/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2018). La acuaponía y las granjas de agro-acuicultura integradas hacen un uso eficiente del agua. Disponible en: <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1113809/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2018). Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta. Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2019). El Trabajo De La FAO Sobre El Cambio Climático. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ca7126es/ca7126es.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2020). Tilapia del Nilo - Métodos de suministro de alimentos. Disponible en: <http://www.fao.org/fishery/affris/perfiles-de-las-especies/nile-tilapia/metodos-de-suministro-de-alimentos/es/>
- Palm, H., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S., Vermeulen, T., Jijakli, M., Kotzen, B. (2018). Hacia la acuaponía comercial: una revisión de sistemas, diseños, escalas y nomenclatura. *Acuicultura Internacional* vol. 26, p. 813 – 842. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-018-0249-z>
- Palou, N. (2018). Acuaponía: cultivar plantas aprovechando la cría de peces. *La Vanguardia Simbiosis Agrícola*. Disponible en:

- <https://www.lavanguardia.com/natural/tu-huella/20180919/451906450465/acuaponia-cultivo-agricola-peces-hortalizas-simbiosis-agua-ahorro-ecologico.html>
- Parker R. 2002. Aquaculture science. Second edition. Delmar. Albany, NY. USA. Disponible en: <https://www.goodreads.com/book/show/5403686-aquaculture-science>
- Pla Sentis, I. (2015). Problemas De Degradación De Suelos En El Mundo: Causas y Consecuencias. Disponible en: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/1.-Problemas-de-Degradacion.pdf>
- PRONACA. (2019). Manejo Y Nutrición De La Tilapia. Disponible en: <https://www.procampo.com.ec/index.php/blog/10-nutricion/45-manejo-y-nutricion-de-la-tilapia>
- Rakocy J., Losordo T., Masser M. (1992). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Integrating Fishing and Plant Culture. SRAC Publication N°454. Southern Region Aquaculture Center. Mississippi State University. Disponible en: <https://www.ncrac.org/files/biblio/SRAC0454.pdf>
- Rakocy, J., Hargreaves, J., Bailey, D. (1993). Nutrient accumulation in a recirculating aquaculture system integrated with vegetable hydroponic production. In: J.-K. Wang, Ed. Techniques for Modern Aquaculture. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp 148-158. Disponible en: <https://www.tib.eu/en/search/id/BLCP%3ACN008084415/Nutrient-Accumulation-in-a-Recirculating-Aquaculture/>
- Rakocy, J. (1999). Aquaculture Engineering: The Status of Aquaponics, Part 1. Aquaculture Magazine Arkansas, p. 83-88.
- Rakocy, J., Shultz, R., Bailey, D., Thoman, E. (2004). Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. Acta Horticulturae. Disponible en: https://www.actahort.org/books/648/648_8.htm
- Rakocy, J. (2012). Aquaponics Integrating Fish and Plant Culture, p. 344-386. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/277689783_Aquaponics-Integrating_Fish_and_Plant_Culture#:~:text=Aquaponics%20is%20a%20production%20technology,recirculation%20system%20\(Rakocy%202012\)%200.&text=Rakocy%20\(2012\)%20suggests%20that%20the,at%200.057%20kg%20m%20%E2%88%92%20](https://www.researchgate.net/publication/277689783_Aquaponics-Integrating_Fish_and_Plant_Culture#:~:text=Aquaponics%20is%20a%20production%20technology,recirculation%20system%20(Rakocy%202012)%200.&text=Rakocy%20(2012)%20suggests%20that%20the,at%200.057%20kg%20m%20%E2%88%92%20)
- Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., Giraldo, H. (2017). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. Revista Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá-Colombia. Vol. 4. ISSN 1900-4699. Disponible en: [file:///C:/Users/CompuStore/Downloads/2230-Texto%20del%20art%C3%ADculo-8130-1-10-20160907%20\(14\).pdf](file:///C:/Users/CompuStore/Downloads/2230-Texto%20del%20art%C3%ADculo-8130-1-10-20160907%20(14).pdf)

- Real Academia Española (RAE) (2019). Filtro. Diccionario de la lengua española. Edición del tricentenario. Disponible en: <https://dle.rae.es/filtro>
- Ritchie, H. y Roser, M. (2019). Uso del suelo. Our World in Data. Disponible en: <https://ourworldindata.org/land-use>
- Roldán, G. y Ramírez, J. (2008). Fundamentos de limnología tropical. 2ª edición. Ed. Universidad de Antioquía. p. 242. Disponible en: https://www.academia.edu/41460514/FUNDAMENTOS_DE_LIMNOLOGIA_NEOTROPICAL_2DA_ED_ROLDAN_RAMIREZ
- Rosillón, K., Villareal, J., Mendoza, D., Sulbaran. L., Tancredi. A., Rodríguez. R. (2018). Sistema Acuapónico Vertical Automatizado Para La Producción De Alimentos. Disponible en: http://premioslatinoamericaverde.com/archivos/2019/proyecto_5972_archivo.pdf
- Ruoco, F. (2016). Acuaponía. Un entorno productivo (casi) perfecto. AHORA - Periódico semanal independiente de política, economía y cultura. España. No. 48. Disponible en: [https://www.ahorasemanal.es/acuaponia-un-entorno-productivo-\(casi\)-perfecto](https://www.ahorasemanal.es/acuaponia-un-entorno-productivo-(casi)-perfecto)
- Saavedra, M. (2006). Manejo Del Cultivo De Tilapia. Disponible en: <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>
- Servicio de Información Comunitario sobre Investigación y Desarrollo (CORDIS) (2017). Modelo innovador y gestión del agua basada en la demostración para la eficiencia de los recursos en sistemas integrados multitrofos de agricultura y acuicultura. Disponible en: <https://cordis.europa.eu/article/id/203873-sustainable-food-production-through-aquaponics/es>
- Sistema Nacional de Información (SIN) (2014). Caracterización Biofísica Del Cantón Santa Ana. Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Santa Ana 2014-2017. DIAGNÓSTICO CANTONAL. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/santaana-fasediagnosticopreliminar_15-11-2014.pdf
- Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas (SINAVIMO) (2017). Lactuca sativa. Disponible en: <https://www.sinavimo.gov.ar/cultivo/lactuca-sativa>
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., Lovatelli, A. (2014). Small-scale Aquaponic Food Production. Integrated Fish and Plant Farming. Roma, Italia. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4021e.pdf>

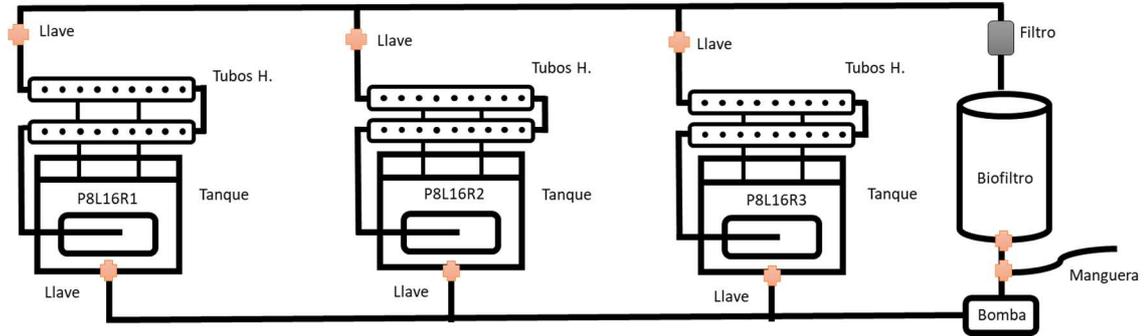
- Soria, J. (2012). 6° Curso de hidroponía básica para principiantes. Hidroponía Y Acuarística del Caribe. Disponible en: http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_247_Curso%20Hidropon%C3%ADa%20Basica.pdf
- Suez. (2018). Soluciones De La Agricultura Frente Al Cambio Climático. Disponible en: <https://www.suez-agriculture.com/es/blog/soluciones-de-la-agricultura-frente-al-cambio-climatico>
- Superior fresh. (2019). El nuevo método de agricultura sostenible. Wisconsin - Estados Unidos. Disponible en: <https://www.superiorfresh.com/blog-reference/the-new-method-of-sustainable-farming>
- TICbeat. (2020). Qué es la acuaponía y cómo alimentará a la población del futuro. Disponible en: <https://www.ticbeat.com/innovacion/acuaponia-alimentacion-futuro-sistema/>
- Van der Auwermeulen, E. (2007). Agricultura Sustentable y Alternativa: ACUAPONIA. Disponible en: <http://www.vidaeequilibrio.com/acuaponia.pdf>

XIII. ANEXOS

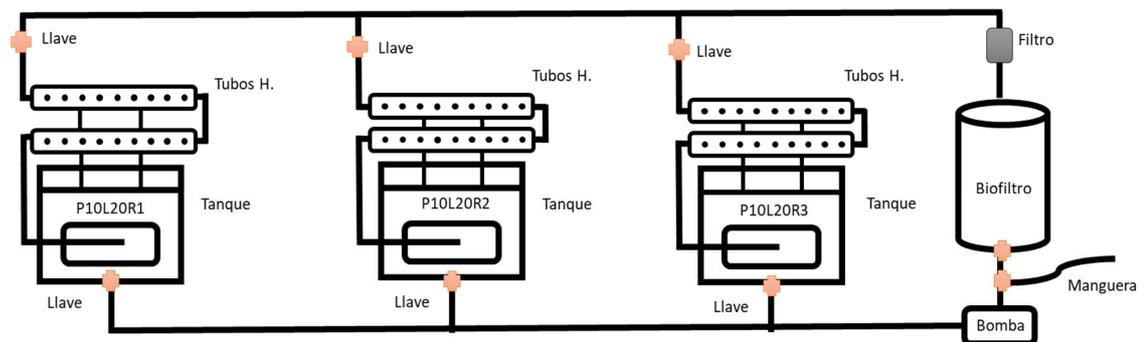


Anexo 1. Diagrama de actividades para el manejo del ensayo

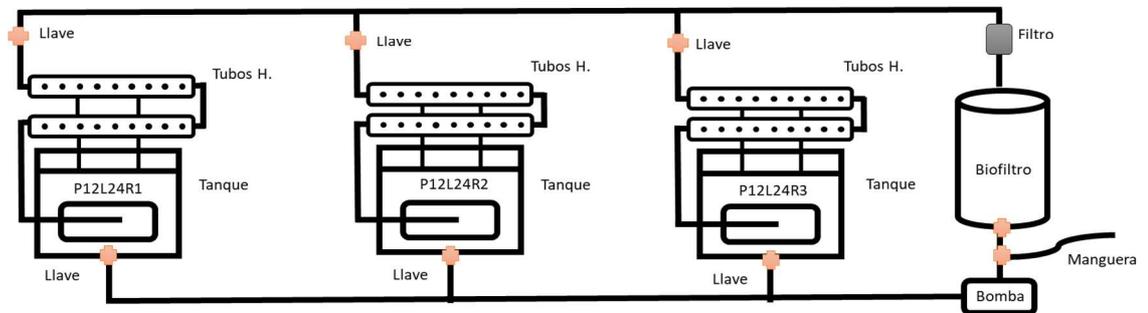
T1: P8L16



T2: P10L20



T3: P12L24



Anexo 2. Croquis de campo y distribución de los tratamientos

Nomenclatura:

T1: Tratamiento 1 (8 peces / 16 plantas)

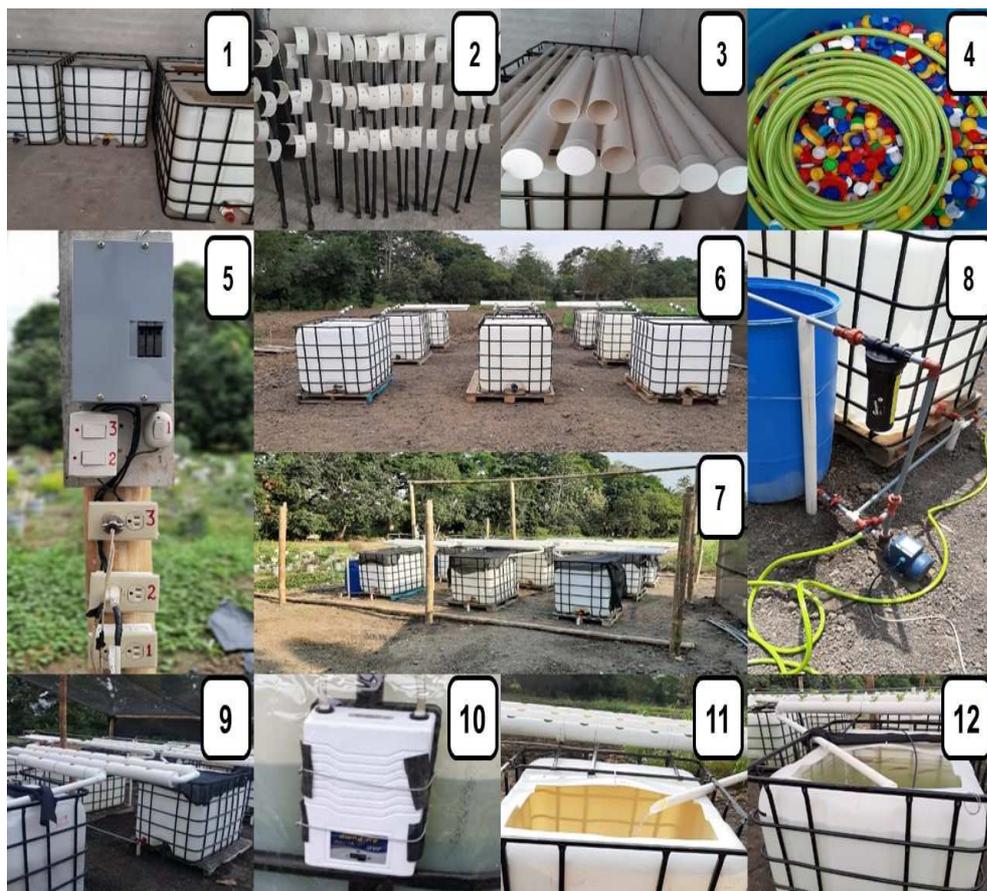
T2: Tratamiento 2 (10 peces / 20 plantas)

T3: Tratamiento 3 (12 peces / 24 plantas)

R1: Repetición 1

R2: Repetición 2

R3: Repetición 3



Anexo 3. Estructura general del sistema acuapónico

Para el sistema acuapónico desarrollado se involucraron los siguientes puntos:

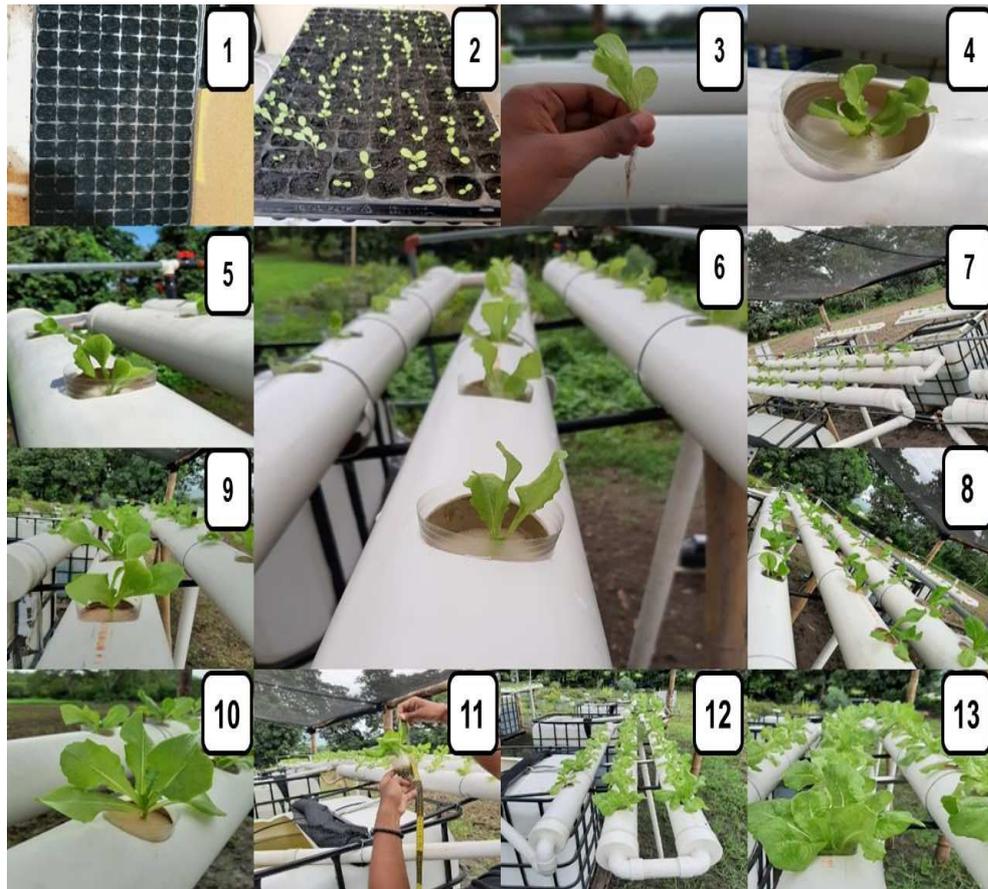
1. Unidades para el cultivo acuícola.
2. Estructura base para el cultivo hidropónico.
3. Componentes del sistema NFT.
4. Componentes del biofiltro.
5. Componentes eléctricos del sistema acuapónico.
6. Nivelación y ubicación de las unidades del sistema.
7. Construcción del Invernadero.
8. Componentes para la recirculación del agua.
9. Estructura general del sistema.
10. Componentes de aireación del sistema.
11. Pruebas y aclimatación del sistema.
12. Funcionamiento total del sistema.



Anexo 4. Cultivo acuícola de tilapia

En lo concerniente al cultivo acuícola del presente proyecto investigativo las actividades realizadas fueron las siguientes:

1. Consecución de organismos acuáticos.
2. Captura de organismos.
3. Traslado de peces.
4. Sexado manual de peces.
5. Selección de organismos a utilizar en el sistema (peces que se encuentren en un rango de peso de entre 90-100g y una talla de entre 16-17 cm).
6. Pesado de los peces seleccionados al ingreso del sistema.
7. Medición de los peces seleccionados al ingreso del sistema.
8. Alimento balanceado suministrado para los peces del sistema.
9. Retiro de peces del sistema a los 60 días (finalización del proyecto).
10. Pesado de peces en la conclusión del proyecto.
11. Medición de peces en la culminación del proyecto.



Anexo 5. Cultivo hidropónico de lechuga

En lo que respecta al cultivo hidropónico del proyecto investigativo desarrollado las actividades conllevadas fueron las siguientes:

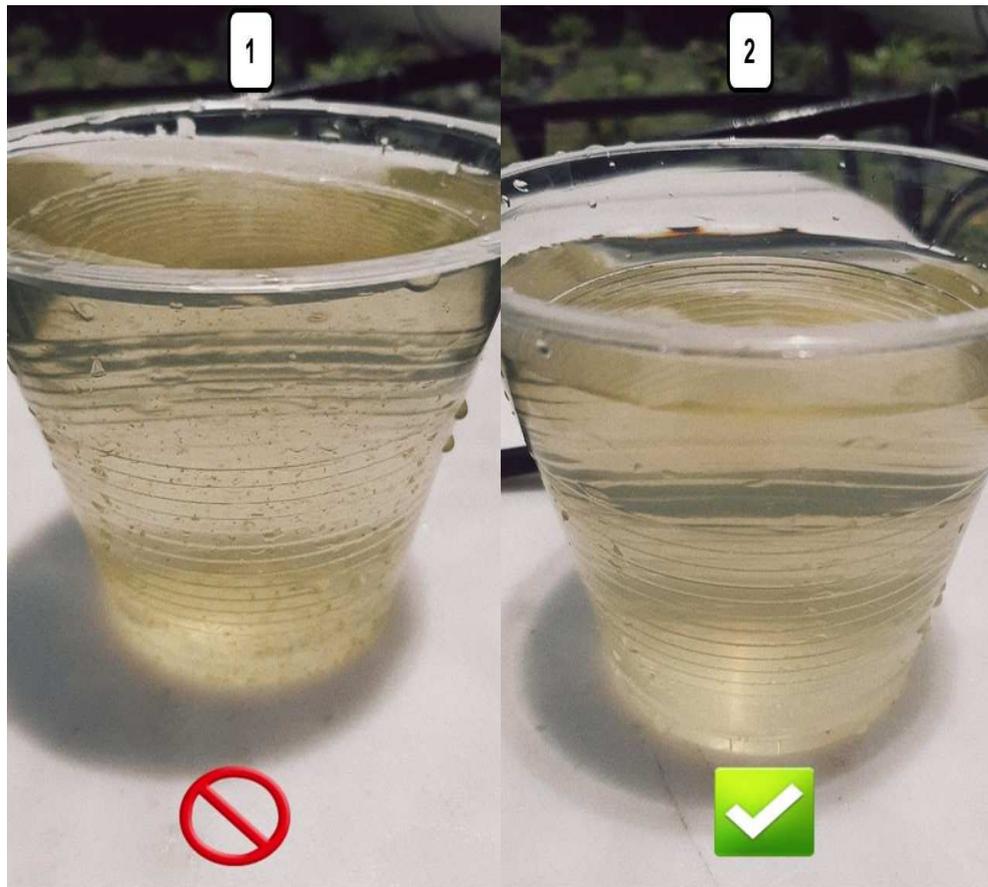
1. Siembra del cultivo de lechuga en bandejas germinativas.
2. Germinación de plántulas de lechugas.
3. Plántulas de lechuga a los 15 días posteriores de su siembra.
- 4, 5, 6. Trasplante de plántulas de lechugas al sistema.
- 7, 8, 9. Desarrollo del cultivo de lechuga posterior a su trasplante.
- 10, 11. Observación y medición del desarrollo del cultivo.
12. Plantas de lechuga a sus 30 días de desarrollo.
13. Plantas de lechugas a los 45 días momento de la cosecha.



Anexo 6. Equipos e implementos para evaluar la calidad de agua del sistema

Para la evaluación de la calidad de agua del sistema se utilizaron los siguientes elementos:

1. Medidor portátil multiparámetro.
2. Medidor Manual de pH y Temperatura.
3. Pruebas de agua extraídas de las unidades del sistema para su análisis en laboratorio.



Anexo 7. Calidad de agua del sistema

En los sistemas de acuaponía la calidad de agua interna con que se trabaje es fundamental para su éxito, por tanto, se describe lo siguiente:

1. Un agua sin proceso de recirculación y sin funcionamiento de los filtros puede ocasionar afectaciones directas a los componentes del sistema, provocando desperfectos en su operacionalización lo que repercute en la calidad de agua disponible para los cultivos tanto acuícola como hidropónico.
2. Un agua con excelente proceso de recirculación y una correcta operatividad de los filtros permitirá un adecuado funcionamiento de los componentes del sistema, asegurando así el éxito operativo y productivo del mismo.

Anexo 8. Análisis de varianza de las variables en estudio

ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA TOMA DE DATOS DE ALTURA (cm) EN LA PLANTAS A LOS 30 DÍAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura promedio de plantas 30 días (cm)	72	0,8	0,79	3,8

Cuadro de análisis de varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	105,64	2	52,82	135,15	<0,0001
Trat.	105,64	2	52,82	135,15	<0,0001
Error	26,97	69	0,39		
Total	132,61	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,43228

Error: 0,3908 gl: 69

Trat.	Medias	N	E.E.			
2 P10L20	18,10	24	0,13	A		
1 P8L16	15,92	24	0,13		B	
3 P12L24	15,27	24	0,13			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA TOMA DE DATOS DE ALTURA (cm) EN LA PLANTAS A LOS 45 DÍAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura promedio de plantas a los 45 días (cm)	72	0,74	0,73	1,8

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	52,13	2	26,06	96,36	<0,0001
Trat.	52,13	2	26,06	96,36	<0,0001
Error	18,66	69	0,27		
Total	70,79	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,35962

Error: 0,2705 gl: 69

Trat.	Medias	n	E.E.			
2 P10L20	30,07	24	0,11	A		
1 P8L16	28,58	24	0,11		B	
3 P12L24	28,06	24	0,11			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA TOMA DE DATOS DE INCREMENTO DE ALTURA (cm) EN LA PLANTA A LOS 30 DÍAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ganancia longitud 30 días (cm)	72	0,78	0,77	7,09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	97,91	2	48,95	121,40	<0,0001
Trat.	97,91	2	48,95	121,40	<0,0001
Error	27,82	69	0,4		
Total	125,73	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,43910

Error: 0,4033 gl: 69

Trat.	Medias	n	E.E.			
2 P10L20	10,58	24	0,13	A		
1 P8L16	8,39	24	0,13		B	
3 P 12L24	7,90	24	0,13			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA TOMA DE DATOS DE INCREMENTO DE ALTURA (cm) EN LA PLANTA A LOS 45 DÍAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ganancia longitud 45 días (cm)	72	0,7	0,69	2,5

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	46,65	2	23,32	81,52	<0,0001
Trat.	46,65	2	23,32	81,52	<0,0001

Error	19,74	69	0,29		
Total	66,39	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,36986

Error: 0,2861 gl: 69

Trat.	Medias	n	E.E.		
2 P10L20	22,54	24	0,11	A	
1 P8L16	21,05	24	0,11		B
3 P12L24	20,68	24	0,11		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA TOMA DE DATOS DE NÚMERO DE HOJAS DE LAS PLANTAS A LOS 30 DÍAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número de hojas 30 días	72	0,28	0,26	7,31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	18,19	2	9,09	13,2	<0,0001
Trat.	18,19	2	9,09	13,2	<0,0001
Error	47,53	69	0,69		
Total	65,72	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,57390

Error: 0,6889 gl: 69

Trat.	Medias	n	E.E.		
2 P10L20	12,04	24	0,17	A	
1 P8L16	11,17	24	0,17		B
3 P12L24	10,85	24	0,17		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA TOMA DE DATOS DE NÚMERO DE HOJAS DE LAS PLANTAS A LOS 45 DÍAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número de hojas 45 días	72	0,47	0,46	4,66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	39,56	2	19,78	31,09	<0,0001
Trat.	39,56	2	19,78	31,09	<0,0001
Error	43,91	69	0,64		
Total	83,47	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,55158*Error: 0,6363 gl: 69*

Trat.	Medias	n	E.E.			
2 P10L20	17,98	24	0,16	A		
1 P8L16	17,17	24	0,16		B	
3 P12L24	16,17	24	0,16			C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)***ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA TOMA DE DATOS DE GANANCIA NÚMERO DE HOJAS DE LAS PLANTAS A LOS 30 DÍAS**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ganancia número de hojas 30 días	72	0,28	0,26	11,29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	18,19	2	9,09	13,2	<0,0001
Trat.	18,19	2	9,09	13,2	<0,0001
Error	47,53	69	0,69		
Total	65,72	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,57390*Error: 0,6889 gl: 69*

Trat.	Medias	n	E.E.		
2 P10L20	8,04	24	0,17	A	
1 P8L16	7,17	24	0,17		B
3 P12L24	6,85	24	0,17		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA TOMA DE DATOS DE GANANCIA NÚMERO DE HOJAS DE LAS PLANTAS A LOS 45 DÍAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ganancia número de hojas 45 días	72	0,47	0,46	6,09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	39,56	2	19,78	31,09	<0,0001
Trat.	39,56	2	19,78	31,09	<0,0001
Error	43,91	69	0,64		
Total	83,47	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,55158

Error: 0,6363 gl: 69

Trat.	Medias	n	E.E.			
2 P10L20	13,98	24	0,16	A		
1 P8L16	13,17	24	0,16		B	
3 P12L24	12,17	24	0,16			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA TOMA DE DATOS DE PESO (g) PROMEDIO DE LA PLANTA A LOS 45 DÍAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso de planta (g)	72	0,87	0,86	0,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	121,87	2	60,94	225,90	<0,0001
Trat.	121,87	2	60,94	225,90	<0,0001
Error	18,61	69	0,27		
Total	140,48	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,35912

Error: 0,2697 gl: 69

Trat.	Medias	n	E.E.			
2 P10L20	129,67	24	0,11	A		
1 P8L16	127,34	24	0,11		B	

3 P12L24	126,62	24	0,11			C
----------	--------	----	------	--	--	---

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA TOMA DE DATOS DE PESO (g) TOTAL DE PLANTA POR TRATAMIENTO A LOS 45 DÍAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso total de planta (g)/tratamiento	72	1	1	0,43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12083199,38	2	6041600	50276	<0,0001
Trat.	12083199,38	2	6041600	50276	<0,0001
Error	8291,64	69	120,17		
Total	12091491,02	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=7,57997

Error: 120,1687 gl: 69

Trat.	Medias	n	E.E.			
3 P12L24	3038,87	24	2,24	A		
2 P10L20	2593,36	24	2,24		B	
1 P8L16	2037,43	24	2,24			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA TOMA DE DATOS DE LONGITUD PROMEDIO (cm) DEL PEZ A LOS 60 DÍAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Longitud pez 60 días (cm)	72	0,52	0,51	2,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	24,18	2	12,09	37,57	<0,0001
Trat.	24,18	2	12,09	37,57	<0,0001
Error	22,20	69	0,32		
Total	46,38	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,39225

Error: 0,3218 gl: 69

Trat.	Medias	n	E.E.			
1 P8L16	24,23	24	0,12	A		
2 P10L20	23,57	24	0,12		B	
3 P12L24	22,81	24	0,12			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA TOMA DE DATOS DE INCREMENTO EN LONGITUD (cm) DEL PEZ A LOS 60 DÍAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diferencia longitud (cm)	72	0,14	0,12	11,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6,47	2	3,23	5,63	0,0054
Trat.	6,47	2	3,23	5,63	0,0054
Error	39,62	69	0,57		
Total	46,09	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,52396

Error: 0,5742 gl: 69

Trat.	Medias	n	E.E.			
1 P8L16	7,10	24	0,15	A		
2 P10L20	6,74	24	0,15	A	B	
3 P12L24	6,36	24	0,15			B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA TOMA DE DATOS DE PESO PROMEDIO (g) DEL PEZ A LOS 60 DÍAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso pez 60 días (g)	72	0,42	0,41	0,98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	147,29	2	73,65	25,32	<0,0001
Trat.	147,29	2	73,65	25,32	<0,0001

Error	200,69	69	2,91		
Total	347,98	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,17926

Error: 2,9085 gl: 69

Trat.	Medias	n	E.E.			
1 P8L16	175,20	24	0,35	A		
2 P10L20	172,98	24	0,35		B	
3 P12L24	171,74	24	0,35			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA TOMA DE DATOS DE INCREMENTO DEL PESO (g) DEL PEZ A LOS 60 DÍAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diferencia de peso pez (g)	72	0,03	0	1,93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,45	2	2,23	0,98	0,3819
Trat.	4,45	2	2,23	0,98	0,3819
Error	157,30	69	2,28		
Total	161,76	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,04404

Error: 2,2798 gl: 69

Trat.	Medias	n	E.E.	
1 P8L16	78,58	24	0,31	A
3 P12L24	78,52	24	0,31	A
2 P10L20	78,03	24	0,31	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA TOMA DE DATOS DE PESO TOTAL (g) DEL PEZ POR TRATAMIENTO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso total de pez (g)/tratamiento	72	1	1	0,97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5216335,59	2	2608168	9335	<0,0001
Trat.	5216335,59	2	2608168	9335	<0,0001
Error	19279,06	69	279,41		
Total	5235614,65	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=11,55819

Error: 279,4067 gl: 69

Trat.	Medias	n	E.E.			
3 P12L24	2060,92	24	3,41	A		
2 P10L20	1729,82	24	3,41		B	
1 P8L16	1401,60	24	3,41			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)