

Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN

Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y
Acuicultura

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO
PROTOTIPO, APLICADO A TILAPIA GRIS (*Oreochromis niloticus*) Y ALBAHACA
(*Ocimum basilicum*).

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Pesquero Acuicultor

AUTOR (A)

Morales Huamán, Angel Humberto

ASESOR (A)

Ing. Figueroa Vargas-Machuca, Manuel Eduardo

JURADO

Dr. Moreno Garro, Víctor Raúl

Ing. Mogollón Ávila, Santos Valentín

Ing. Blas Ramos, Walter Eduardo

Lima – Perú

2019

Dedicatoria

A Dios padre

Por permitirme seguir adelante, guiando mi camino, cuidándome por todo este sendero de lucha y perseverancia. Salmos 121:3: No dará tu pie al resbaladero, ni se dormirá el que te guarda.

A mi patria, el Perú

Por darme la dicha de haber nacido en una tierra de tanto potencial e increíbles virtudes las cuales quiero defender, promover y cuidar hasta el final de mis días.

A mi madre

Profesora Catalina Zoraida Huamán Paredes por todo su amor incondicional e inquebrantable voluntad de lucha por tus hijos

A mi padre

Profesor Walter Morales Salcedo, tu apoyo y cariño es incondicional, tu ejemplo y consejos me guiaron hasta aquí.

A mi familia

En especial a mis hermanos Alexis, Sandy, Walter, Máximo “Machi”, Gian franco por su cariño, ánimo y apoyo incondicional, se los agradezco de todo corazón.

A mi enamorada Ana Paula, tu apoyo constante me acompañó hasta el último instante de este trabajo, gracias.

Agradecimientos

A la **Universidad Nacional Federico Villarreal** por abrirme sus puertas y permitirme formarme como profesional y ser parte de ella

A la **Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura** por ser parte de mi desarrollo académico y permitirme formarme en el increíble mundo de la Acuicultura.

Al **Ing. Manuel Figueroa Vargas-Machuca** que más que un profesor, es un amigo, gracias por su apoyo en los momentos más difíciles desde el inicio hasta el término del presente trabajo y en mi vida universitaria.

A **mi jurado** por su apoyo en las observaciones del presente trabajo con la finalidad de mejorar.

Al señor **Víctor Alcántara** su apoyo y excelentes consejos en el inicio de mi trabajo y por difundir con gran nobleza su conocimiento con la gente de nuestro país.

A **mis amigos** de la facultad, promoción de colegio, del trabajo, por sus estupendos consejos y en general a todos decirles gracias por su voz de aliento y amistad.

¡Gracias totales!

Índice

I. Introducción.....	1
1.1. Descripción y formulación del problema.....	2
1.2. Antecedentes	6
1.3. Objetivos	13
1.4. Justificación.....	14
1.5. Hipótesis.....	15
II. Marco Teórico	16
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	16
2.1.1. Definición de acuicultura.....	16
2.1.2. Definición de hidroponía.	17
2.1.3. Definición de acuaponía	18
2.1.3.1. <i>Ventajas de los sistemas acuapónicos.</i>	20
2.1.3.2. <i>Partes de un sistema acuapónico</i>	21
2.1.4. Sistema Nutrient Film Technique o NFT	23
2.1.5. Descripción de la planta de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i>).....	23
2.1.5.1. <i>Taxonomía</i>	24
2.1.5.2. <i>Condiciones para su cultivo</i>	24
2.1.6. Descripción de la tilapia gris (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	25

2.1.6.1. Taxonomía.....	26
2.1.6.2. Condiciones para su cultivo.....	27
2.1.7. Calidad de agua en los sistemas acuapónicos.....	31
2.1.8. Determinación del volumen de siembra y alimentación.	32
2.1.9. Relación de velocidad de alimentación	33
III. Método.....	35
3.1. Tipo de investigación	35
3.2. Ámbito temporal y espacial.....	35
3.3. Variables.....	35
3.3.1. Variables independientes.....	36
3.3.2. Variables dependientes	36
3.4. Población y muestra	36
3.5. Instrumentos.....	37
3.5.1. Materiales de plástico y construcción.....	37
3.5.2. Materiales para acuariofilia	38
3.5.3. Materiales para hidroponía	38
3.5.4. Equipos	39
3.5.5. Test colorimétrico para análisis de calidad de agua	39
3.5.6. Unidades de cultivo	39
3.6. Procedimientos.....	40

3.6.1. Diseño del sistema acuapónico prototipo	40
3.6.1.1. Primer sistema acuapónico prototipo.....	40
3.6.1.2. Segundo sistema acuapónico prototipo	41
3.6.1.3. Obtención de los materiales para la construcción del 3 ^{er} sistema acuapónico prototipo.....	42
3.6.2. Construcción del sistema acuapónico prototipo	43
3.6.3. Acondicionamiento del sistema acuapónico prototipo para su funcionamiento	45
3.6.4. Acondicionamiento y preparación de las unidades biológicas experimentales.....	46
3.6.4.1. Acondicionamiento y preparación de los peces.....	46
3.6.4.2. Acondicionamiento y preparación de la albahaca	46
3.6.5. Funcionamiento del sistema acuapónico prototipo	47
3.6.6. Biometrías, limpieza y agregado de Quelatos de hierro	49
3.6.7. Densidad de siembra.....	50
3.6.8. Determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua.	50
3.6.9. Determinación del crecimiento y productividad	50
3.6.9.1. Determinación del crecimiento y productividad de la tilapia gris.....	50
3.6.9.2. Determinación del crecimiento y productividad de la albahaca.....	51
3.6.10 Tasa de alimentación.	53
3.6.11. Determinación de la mortandad.....	53
3.6.12. Frecuencia de alimentación	53

3.6.13. Determinación de volumen total dentro del sistema	53
3.6.14. Determinación del caudal dentro del sistema	54
3.6.15. Determinación de la tasa de recirculación de agua.....	54
3.7. Análisis de los datos	55
3.8. Consideraciones éticas	55
IV. Resultados	56
4.1. Análisis químicos y físicos de la calidad del agua	56
4.2. Evaluación del crecimiento y productividad de la tilapia gris “ <i>Oreochromis niloticus</i> ” dentro del sistema acuapónico prototipo.....	57
4.3. Evaluación del crecimiento y productividad de la albahaca “ <i>Ocimum basilicum</i> ” dentro del sistema acuapónico prototipo	61
V. Discusión de resultados.....	66
5.1. Discusión	66
VI. Conclusiones	70
VII. Recomendaciones.....	71
VIII. Referencias	72
IX. Anexos	83
Anexo 1.- Diagrama del flujo de agua dentro del sistema acuapónico prototipo	83
Anexo 2. Resultados del cultivo piloto / Tilapia gris	84
Anexo 3. Resultados del cultivo piloto / albahaca	87

Anexo 4.- Construcción del semi-invernadero.....	89
Anexo 5. Construcción del 1 ^{er} prototipo	89
Anexo 6. Filtro mecánico, biológico y sumidero del 1er prototipo	90
Anexo 7.- Construcción del 2 ^{do} prototipo	90
Anexo 8. Plantas con déficit de nutrientes y raíces tupidas / 2do prototipo	91
Anexo 9. Construcción del 3er prototipo, sistema acuapónico final.....	91
Anexo 10. Decantador.....	91
Anexo 11. Filtro mecánico	92
Anexo 12. Filtro biológico	92
Anexo 13. Sumidero de nutrientes y bomba sumergible	92
Anexo 14. Siembra de la albahaca y acondicionamiento para la obtención del almácigo.....	93
Anexo 15. Selección, traslado, recepción y acondicionamiento de los alevines de tilapia.....	94
Anexo 16. Traslado de las plántulas de albahaca al sistema NFT	94
Anexo 17. Plantas del cultivo piloto con deficiencia o falta de hierro, suelen mostrar un amarilleo en las hojas, más conocido como clorosis férrica	95
Anexo 18. Retiro de las plantas mal nutridas y acondicionamiento de las plantas más aptas ..	95
Anexo 19. Control de la clorosis férrica agregando al sistema 2mg/L de Quelatos de hierro por cada litro de agua, dentro del sistema, en dosis diluidas.....	95
Anexo 20. Evaluación y control del cultivo piloto.....	96
Anexo 21. Recuperación de las plantas y estabilización del cultivo piloto	96

Anexo 22. Cultivo experimental / 1 ^{era} corrida de albahacas	97
Anexo 23. Cultivo experimental / 2 ^{da} corrida de albahacas	98
Anexo 24. Parámetros físico-químicos y biometría	99
Anexo 25. Comparativa entre sistemas: acuaponía vs hidroponía / acuaponía vs acuicultura	100
Anexo 26. Sistema acuapónico prototipo, final del cultivo experimental	101

Lista de tablas

Tabla 1	<i>Condiciones para el cultivo de albahaca</i>	24
Tabla 2	<i>Requerimientos nutricionales</i>	25
Tabla 3	<i>Escala de Oxígeno disuelto en los peces</i>	27
Tabla 4	<i>Proporción de alimento balanceado por área de cultivo</i>	33
Tabla 5	<i>Relación del área de cultivo y el número de plantas a cultivar</i>	34
Tabla 6	<i>Biometrías</i>	49
Tabla 7	<i>Determinación de volumen total dentro del sistema</i>	54
Tabla 8	<i>Variabilidad de los valores de las concentraciones de Amonio/Amoniaco, Nitritos, Nitratos, Dureza total, Dureza de carbonatos, pH y la temperatura promedio del agua</i>	56
Tabla 9	<i>Análisis del crecimiento de la tilapia gris dentro del sistema acuapónico prototipo.</i> ...	57
Tabla 10	<i>Parámetros productivos de la tilapia gris “Oreochromis niloticos” dentro del sistema acuapónico prototipo.</i>	60
Tabla 11	<i>Tasa de crecimiento total de la tilapia gris “Oreochromis niloticos” dentro del sistema acuapónico prototipo.</i>	61
Tabla 12	<i>Análisis del crecimiento de las dos corridas de albahaca dentro del sistema acuapónico prototipo</i>	62
Tabla 13	<i>Parámetros productivos y tasa de crecimiento del cultivo de albahaca “Ocimum basilicum” dentro del sistema acuapónico prototipo. 1era corrida</i>	65
Tabla 14	<i>Parámetros productivos y tasa de crecimiento del cultivo de albahaca “Ocimum basilicum” dentro del sistema acuapónico prototipo. 2^{da} corrida.</i>	65

Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Ciclo de transformación de nutrientes y producción de biomasa en los sistemas acuapónicos.	19
<i>Figura 2.</i> Esquema de un sistema acuapónico.....	21
<i>Figura 3.</i> <i>Oreochromis niloticus</i>	26
<i>Figura 4.</i> Descripción de cada parte del sistema según el recorrido del agua: “1” tanque de los peces, “2” decantador, “3” filtro mecánico o clarificador, “4” Filtro biológico”, “5” sumidero de nutrientes y bomba sumergible, “6” Sistema hidropónico NFT	48
<i>Figura 5.</i> Peso total del cultivo de tilapia gris obtenido en cada biometría	58
<i>Figura 6.</i> Peso promedio de tilapia gris obtenido en cada biometría	58
<i>Figura 7.</i> Ganancia en peso total del cultivo de tilapia gris obtenido en cada biometría.....	58
<i>Figura 8.</i> Ganancia en peso promedio de la tilapia gris obtenido en cada biometría.....	59
<i>Figura 9.</i> Longitud estándar de la tilapia gris obtenido en cada biometría	59
<i>Figura 10.</i> Longitud total de la tilapia gris obtenido en cada biometría	59
<i>Figura 11.</i> Ganancia en longitud total de la tilapia gris obtenido en cada biometría.....	60
<i>Figura 12.</i> Peso total de la 1era y 2da corrida de albahacas en cada biometría	63
<i>Figura 13.</i> Peso promedio de la 1era y 2da corrida de albahacas en cada biometría	63
<i>Figura 14.</i> Grosor del tallo promedio de la 1era y 2da corrida de albahacas en cada biometría .	63
<i>Figura 15.</i> Longitud promedio de la raíz de la 1era y 2da corrida de albahacas en cada biometría.	64

Figura 16. Longitud promedio del tallo de la 1era y 2da corrida de albahacas en cada biometría

..... 64

Figura 17. Total de hojas producidas de la 1era y 2da corrida de albahacas en cada biometría.. 64

Resumen

Objetivo: Diseñar y construir un sistema acuapónico prototipo aplicado a tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) y albahaca (*Ocimum basilicum*) evaluando su operatividad en función al cultivo de ambas especies. El diseño fue empírico, analizando previamente dos diseños artesanales construidos in situ, para evaluar la respuesta de las unidades biológicas ante el sistema. Se rediseñó y construyó un tercer sistema mejorando su operatividad, se aplicó a un cultivo de tilapia y albahaca. Se empezó realizando un piloto para evaluar la productividad de la tilapia, la albahaca y la calidad del agua, dando como resultados: peso inicial de la tilapia 3.88g, peso final 10.69g, peso inicial de la albahaca 1.2g, peso final 245.3g y la calidad (Amonio/amoniaco, Nitritos, Nitratos, dureza de carbonato, dureza total, pH y T°) fluctuaron y se estabilizaron al final del cultivo, no habiendo mortandad. El segundo cultivo, siendo el experimento en sí, se dobló la producción de albahaca en un mismo cultivo, dos corridas de albahacas por una de tilapias dando como resultados: peso inicial de la tilapia 6.08g, peso final 21.57g. Primera corrida de albahacas: peso inicial 3.0g, peso final 106.05g. Segunda corrida de albahacas: peso inicial 4.38g, peso final 158.33g y la calidad de agua tuvo un descenso significativo y mejorado en la concentración de nitratos (NO_3^-) de 80 mg/L a 20 mg/L que se mantuvo constante. Conclusión: El sistema acuapónico prototipo es factible aplicado al cultivo de tilapia gris y albahaca, con cultivo escalonado de albahaca, resultados estándares y hasta mejores con respecto a los cultivos tradicionales.

Palabras clave: Tilapia, Albahacas, Nitrificación, Acuaponía, Sistemas acuapónicos

Abstract

Objective: Design and build a prototype aquaponic system applied to gray tilapia (*Oreochromis niloticus*) and basil (*Ocimum basilicum*) evaluating its operability based on the cultivation of both species. The design was empirical, previously analyzing two craft designs built in situ, to evaluate the response of the biological units to the system. A third system was redesigned and built to improve its operability, it was applied to a tilapia and basil crop. A pilot was started to evaluate the productivity of tilapia, basil and water quality, resulting in: initial weight of tilapia 3.88g, final weight 10.69g, initial weight of basil 1.2g, final weight 245.3g The quality (Ammonia / Ammonia, Nitrites, Nitrates, carbonate hardness, total hardness, pH and T °) fluctuated and stabilized at the end of the crop, with no mortality. The second crop, being the experiment itself, doubled the production of basil in the same crop, two runs of basil for one of tilapia resulting in: initial weight of tilapia 6.08g, final weight 21.57g. First basil run: initial weight 3.0g, final weight 106.05g. Second basil run: initial weight 4.38g, final weight 158.33g and water quality had a significant and improved decrease in nitrate concentration (NO₃⁻) from 80 mg / L to 20 mg / L that remained constant. Conclusion: The prototype aquaponic system is feasible applied to the cultivation of gray tilapia and basil, with staggered basil cultivation, standard results and even better with respect to traditional crops.

Keywords: Tilapia, Basil, Nitrification, Aquaponics, Aquaponic systems

I. Introducción

Uno de los problemas principales del sector acuícola, en la actualidad, es la diversificación de la acuicultura en materia de sustentabilidad, lo que equivale a ser, económicamente rentable, ecológicamente amigable y socialmente responsable, por ello la industria acuícola está siguiendo nuevas normativas sanitarias y ambientales, generando nuevas formulaciones de alimentos balanceados con residuos orgánicos provenientes de la acuicultura, la pesca, y otros nuevos insumos; en sistemas de recirculación de agua de alta densidad y el reúso del agua proveniente de la industria acuícola como abono para los cultivos agrícolas (SANIPES, 2019; Food and Agriculture Organization (FAO), 2019; Oca y Masalo, 2009; Fracchia, Malpica y Ayala, 2015).

La agricultura sigue la misma tendencia a tecnificarse y a generar cosechas netamente orgánicas; así también, el ahorro del agua y la optimización de las tierras de cultivo; la agricultura consume cerca del 70% de las reservas de agua dulce a nivel mundial y el 11 % de la superficie mundial es usada para cultivos agrícolas (FAO, 2011)

El futuro de los sistemas de producción está derivando a la generación de sistemas integrados de producción (SIP). Estos sistemas utilizan algunos de los productos, subproductos de un componente de producción como insumo de otro componente de producción en el marco de la unidad agrícola, acuícola, ganadera, entre otros. En los SIP, los componentes de producción se apoyan mutuamente y dependen unos de otros. Ejemplo de sistemas integrados de producción como la agroforestería y los sistemas agropecuarios, la piscicultura en arrozales, la piscicultura con ganado, etc. En estos sistemas se genera más de un producto y los desechos generados son rehusados, así también el uso de energías renovables para estos sistemas y la reducción en el uso de tierras para cultivo con un aumento en el volumen de producción. (FAO, 2018).

La acuaponía surge así como un sistema sustentable de producción de alimentos al integrar las técnicas de cultivo acuícola con el cultivo hidropónico de plantas, incrementando la diversidad de especies y la cantidad de producción en un mismo cultivo; además, el impacto socio-económico es favorable pues el reúso de aguas residuales acuícolas genera un subproducto en el cultivo hidropónico de hortalizas, contribuyendo de esta manera a la seguridad alimentaria, el desarrollo económico y la conservación de recursos (agua-suelo-energía). (FAO, 2014)

La acuaponía puede adaptarse a diferentes medios, lugares donde no haya suelo fértil, disponibilidad constante de agua y zonas donde no se practica los cultivos tradicionales, para esto es necesario el estudio de nuevos y diferentes diseños de sistemas acuapónicos que sean adaptables a diferentes lugares, climas (Goddek *et al.*, 2015) especies de peces y plantas, incluso puedan ser aplicables en zonas urbanizadas, para así fomentar en la población la acuicultura, la hidroponía y el reúso de desechos orgánicos, evitando el daño al equilibrio natural de nuestro planeta, como también generando producción de alimentos a pequeña escala (sistemas extensivos familiares).

Por lo ya descrito se planteó diseñar y construir un sistema acuapónico prototipo para integrar un cultivo acuícola de recirculación de agua para tilapia gris con un cultivo hidropónico en sistema NFT para albahacas, evaluando la operatividad del sistema por medio del cultivo de ambas especies.

1.1. Descripción y formulación del problema

La población humana, durante años, se ha ido incrementando y mermando los recursos que posee, por ende, la humanidad tubo que crear otras opciones de generar recursos alimenticios para abastecer sus necesidades de consumo y al mismo tiempo cuidar del ambiente en el que vive. (Canalías, 2011).

La producción de alimentos representada por las actividades agropecuarias e industriales, ocupan en gran mayoría el recurso agua (sostén de la vida) el cual cada día se hace menos disponible. Hay una necesidad urgente de innovación en agricultura que ofrezca altos rendimientos con menor uso de agua, fertilizantes, plaguicidas, energía y otros insumos (FAO, 2008).

Por lo tanto surge la acuaponía, como una integración entre el cultivo de peces y el de plantas, estos se juntan dentro de un sistema de recirculación de agua, un componente acuícola y un componente hidropónico, en este sistema los desechos metabólicos generados por los peces y los restos de alimento, que a su vez son metabolizados y mineralizados por bacterias benéficas, son utilizados por los vegetales y transformados en materia orgánica vegetal; de esta forma se genera un producto y un subproducto de valores comerciales. (Muñoz, 2012).

El principio básico radica en el aprovechamiento de la energía del sistema (García-Ulloa, León, Hernández y Chávez, 2005), ya que solo una fracción del alimento es aprovechado por los peces (Sanz, 2009), mientras que el resto (excreción, alimento no consumido y diluido) se reutiliza como nutriente para las plantas (Nelson 2019; Rakocy, 1994). El componente extra formado por bacterias nitrificantes realizando dos funciones importantes: degrada los compuestos nitrogenados en su forma tóxica para los peces amonio (NH_4^+) a nitritos (NO_2^-) y volviendo a oxidarlos hasta nitratos (NO_3^-) que son los nutrientes que las plantas absorben con más facilidad (Rakocy, Masser & Losordo, 2006)

Rakocy es considerado uno de los más importantes investigadores en el área. Radicado en EE.UU. investigador en la Universidad de las Islas Vírgenes, desarrolló un sistema de cultivo acuapónico que lleva en funcionamiento más de 25 años. Con dichos sistemas fueron realizadas numerosas experiencias, obteniendo valiosos resultados para el desarrollo de la actividad. Los

sistemas acuapónicos representan grandes ventajas de producción tanto de plantas como en peces, además su importancia de manera casera ofrece grandes resultados en autoconsumo, facilitando el trabajo en espacios pequeños. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENACAD, 2011).

Hoy en día la acuaponía es una de las alternativas favorables para la producción de plantas donde la principal fuente de nutrimentos son los desechos de los peces sustituyendo a los fertilizantes químicos (Ontiveros, 2013). Existen diferentes tipos de sistemas acuapónicos en la actualidad, los sistemas de camas flotantes con sustrato (Rossta y Mohsenian, 2011) y los sistemas de película de nutrientes (NFT), los cuales requieren de un menor volumen de agua, espacio, y facilitan el manejo de las especies de plantas a diferencia de los sistemas de cama (Gilsanz, 2007; Lennard y Leonard, 2006).

Al seguir la tendencia del mercado por una demanda de productos saludables, frescos y orgánicos, los sistemas de producción integrados buscan objetivos que satisfagan dichas necesidades. La acuaponía puede ser un sistema de producción integrada produciendo cultivos orgánicos que satisfaga dichas necesidades del mercado.

En el Perú las investigaciones mayormente se desarrollan en hidroponía, suplementos alimenticios para acuicultura, dejándose de lado, en la mayoría de casos, los sistemas de producción acuapónico que, como se ha señalado, presenta ventajas respecto a los sistemas de producción acuícola e hidropónica convencionales.

Debido a la poca información sobre los sistemas de producción acuapónicos, es necesario realizar investigaciones que aporten conocimiento relevante acerca de la optimización en el diseño y funcionalidad de los sistemas acuapónicos.

En este sentido, el presente trabajo pretendió diseñar, construir y evaluar un sistema acuapónico prototipo en función al crecimiento y productividad del cultivo de tilapia gris y la albahaca, en la cual influyen: un sistema NFT para el cultivo hidropónico, un tanque y sus respectivos filtros para el sistema acuícola, estructurando así un sistema integrado, en vertical, en el cual se minimiza el área de cultivo, se incrementa la influencia de luz y el flujo de aire para las plantas; además de generar una simbiosis entre el cultivo de las tilapias, las albahacas y una población saludable de bacterias benéficas que equilibrarán las condiciones fisicoquímicas del agua.

Se considera el crecimiento y productividad de la tilapia: el peso total, longitud estándar, longitud total y para la albahaca: el peso total, el tamaño del tallo, el largo de la raíz, el número de hojas por cada planta y la calidad de agua obtenida en el sistema acuapónico prototipo

A.-Problema General:

¿Es factible diseñar y construir un sistema acuapónico prototipo aplicado a tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) y albahaca (*Ocimum basilicum*) evaluando su operatividad en función al cultivo de ambas especies?

B.- Problemas Específicos:

- ¿Cómo variará la calidad del agua dentro del sistema acuapónico prototipo?
- ¿Cómo variará el crecimiento y productividad de la tilapia gris (*Oreochromis niloticos*) dentro del sistema acuapónico prototipo?
- ¿Cómo variará el crecimiento y productividad de dos corridas de albahaca (*Ocimum basilicum*) dentro del sistema acuapónico prototipo?

1.2. Antecedentes

Cerdá, Pérez, Zaragoza y Fernández (1998) Estudiaron el aprovechamiento nutritivo y crecimiento de tilapias (*Oreochromis niloticus*) con pesos iniciales de 6.6 g con dietas balanceadas con 40% de proteína en un periodo de 60 días dando como resultado en el ensayo un peso promedio de 14.69g al final del cultivo, caracterizando así el crecimiento promedio de los alevines de tilapia en sistemas netamente acuícolas.

Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA, 2014) explica como es el proceso del cultivo de la tilapia utilizando la tilapia roja (hibrido de mejor rendimiento que la tilapia gris) y el rendimiento de esta pasando por la etapa de alevinaje, pre- engorde hasta llegar a la etapa de engorde describiendo una curva de crecimiento de la tilapia roja con densidad alta de producción (4 peces/m³) en la cual describe un crecimiento aproximado de 25 a 30 g de peso promedio entre los 60 a 90 días de cultivo. Evidenciando que el crecimiento de la tilapia se adecua a la densidad de siembra, pero generándose un crecimiento promedio para la especie.

Asimismo, en nuestro país (Baltazar, Aguilar y Castañeda, 2007) hicieron una comparativa entre el crecimiento de la tilapia gris y la carpa común demostrando que el crecimiento de la primera es mejor y aprovecha más el alimento balanceado. La tilapia con densidades de 2 alevines /m³ obtuvo un peso promedio de 25 a 30 g entre los periodos de 34 a 45 días de cultivo evidenciando un crecimiento promedio cercano comparado con los resultados de otros autores (Cerde, 1998) en cultivos netamente acuícolas.

Roa (2016) analiza la problemática de la ciudad de Bogotá tras un crecimiento demográfico acelerado y descontrolado, dando una ciudad ineficiente e insostenible a largo plazo, por ello le da una relevancia al enorme valor ambiental de sus fuentes hídricas y los ecosistemas implicados

para ello explica la tendencia a construir una ciudad modelo sostenible la cual armonice con el ambiente natural y pueda generar su propio alimento, nombrando a las granjas verticales dentro de la ciudad y a la acuaponía como sistema “vivo” de producción ecológica para futuro.

Gonzales (2017) analiza los efectos de una estructura paisajística compuesta por un jardín vertical sustentado por acuaponía, en la cual Gonzales, realizó encuestas para saber la opinión entre alumnos de la Universidad de Sevilla; mostró que la mayoría de personas conoce “Nada” o “Poco” sobre sistemas acuapónicos, pero a la vez la construcción de un sistema acuapónico en forma de jardín vertical fue apreciado por la mayoría de la población estudiantil, demostrando que la acuaponía es un sistema arquitectónicamente paisajístico a la vista de la población; fomentando su utilización.

Lewis (1978) destaca como uno de los primeros en realizar ensayos sobre los cultivos acuapónicos, aplicando ensayos en el cultivo integrado de bagre de canal (*Ictalurus punctatus*), tres variedades de tomates de campo (*Lycopersicon esculentum*) que fueron plantados en tanques hidropónicos al aire libre. Se usó un biofiltro de placa giratoria.

Tres unidades de producción fueron operadas durante el 1976, temporada de crecimiento. Se evaluó el rendimiento en términos de calidad del agua, producción vegetativa y frutal de los tomates y crecimiento de los peces. Con este trabajo el autor demostró que los desechos metabólicos de los peces podían ser utilizados para el cultivo de plantas.

Rakocy *et al.* (2006) es considerado el padre de la acuaponía y esto se debe a que fue uno de los primeros en realizar ensayos a escala mayor en acuaponía y obtener datos concretos, sentando las bases para la comprensión del funcionamiento de los sistemas acuapónicos cercano a los años 90's. Rakocy diseñó y construyó en la Universidad de las Islas Vírgenes un sistema acuapónico manejando un volumen de agua de 110 m³ y un área plantada de 0.05 ha en el cual

desarrolló la productividad a largo plazo de la tilapia, la producción escalonada de albahaca en un sistema acuapónico vs la producción en campo, la producción de “Okra” en un sistema acuapónico vs la producción en campo. Los resultados obtenidos mostraron un desarrollo favorable en tamaño y peso de la tilapia –peso inicial de 79,2 g, peso final de 813,8 g en un periodo de 6 meses– mejor crecimiento de la albahaca en acuaponía vs el cultivo en campo en un mismo periodo de tiempo– albahaca del sistema acuapónico 247,1 g, la albahaca en campo 104.4 g– y un mejor crecimiento de la “Orka” en el sistema acuapónico vs el cultivado en campo en un mismo periodo de tiempo, 2.67 kg/m² vs 0,15 kg/m² respectivamente.

Fuentes (2015) realizó un estudio de factibilidad en el diseño y dimensionamiento de un sistema acuapónico basado en los ensayos de Rakocy (Sistema acuapónico UVI). Utilizó un espacio disponible de 200 m² albergando 175 kg de peces y 60 m² de plantas; se procedió a evaluar la factibilidad económica del sistema acuapónico, donde se consideró un horizonte de proyección rentable de 10 años, pues el margen de utilidad es muy bajo en relación a los costes de producción. Cuando se analizó el aumento escalar del sistema al doble (400 m²) lo cual arrojó un Valor Actual Neto, VAN, positivo y con un periodo de recuperación de la inversión en 4 años.

Coral (2015) aplicó un diseño de sistema acuapónico que sea adaptable al modelo de producción de agricultura orgánica y a las condiciones climáticas de Zamorano-Honduras. El diseño consto de un tanque de circular de 20 m³ y dos sistemas de producción hidropónico: un sistema NFT, con 15 tubos de 3 y 4 pulgadas, y otro sistema llamado de “llenado y vaciado” con sustrato inerte, con 6 tanques de 0,32m³ cada uno. El sistema fue apto para las condiciones climatológicas de la zona, también permitió la producción de 200 tilapias en un periodo de 6 a 9

meses, los dos sistemas de producción hidropónica se adaptaron al caudal de recirculación de agua. No explica el tipo de plantas que utilizó.

Segura y Balois (2017) evaluaron la producción de *L. sativa* (lechuga) utilizando efluentes acuícolas del cultivo de *Oreochromis niloticus* a diferentes densidades en laboratorio. Se utilizaron densidades de 200, 250 y 300 alevines por m³. Los mayores crecimiento de la *L. sativa* se obtuvieron a densidades de 300 alevines por m³ significativamente superior a las otras dos densidades y la mayor biomasa de *O. niloticus* correspondió al mismo tratamiento.

Concluyendo que el mejor tratamiento fue el de 300 alevines por m³. Se confirmó que la acuaponía como un medio alternativo de bajo costo a largo plazo para el cultivo de *L. sativa*.

Vargas (2017) propuso un objetivo principal el cual fue determinar la capacidad de los sistemas acuapónicos para conservar la calidad del agua en estanques de producción de peces, demostrando así que ciertos parámetros esenciales para el crecimiento de peces como oxígeno disuelto, amonio y nitrato se mantuvieron estables asegurando la producción de pescado y reducir la demanda de agua que antes del tratamiento era de 2000 L/semana. Para el diseño se construyeron 3 sistemas de recirculación de agua y se dejó un sistema de producción de peces con un sistema de recirculación simple. Había 4 estanques de las siguientes medidas: ancho 120 cm, longitud 100 cm y altura 58 cm. Las condiciones iniciales de cada uno de los estanques fueron 500 litros de agua y 80 tilapia (*Oreochromis niloticus*). En el caso de los sistemas de recirculación acuapónicos, se usaron 3 cubos de 20 litros cada uno para capturar los sólidos presentes en el agua, un cubo de sedimentación por gravedad y 2 cubos de filtración mecánica unidos a dos filas de seis metros con 40 lechugas. Se concluyó que los parámetros evaluados como amonio, nitrato, oxígeno disuelto, turbidez y pH están dentro de los rangos aceptables en los sistemas de recirculación de acuapónicos.

Cáceres (2013) aplicó dos tratamientos, el primero constó de una piscina con tilapias, un biofiltro y las tuberías de recirculación, el segundo tratamiento conformado por una piscina con tilapias y tuberías de recirculación (sin biofiltro) y el tercer tratamiento fue un testigo o blanco cuyas unidades experimentales “lechugas” eran regadas con agua potable (sin biofiltro y sin tilapias). El primer tratamiento, usando el agua residual de las tilapias como fuente de nutrientes y el biofiltro para tratar el agua residual y transformarla en compuestos nitrogenados útiles para la planta, dio el mejor resultado obteniendo un mejor tamaño de la raíz y hojas de la lechuga en comparación con el segundo tratamiento y el testigo.

Moreno (2014) aplicó un sistema integrado de cultivo entre tilapias y lechugas con dos densidades de siembra separadas; de las dos densidades en esta investigación el primer Tratamiento fue de 50 tilapias para 50 lechugas en una proporción de 1:1 y el segundo Tratamiento fue de 25 tilapias para 50 lechugas en una proporción de 1:2; el primer tratamiento con la proporción de 1:1 fue la que dio mejor resultados, obteniéndose al final una cosecha doble de tilapias y lechugas.

Pandales y De Jesús Santos (2017) tuvieron como objetivo evaluar el desempeño de un sistema acuapónico con tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum L.*) bajo condiciones de invernadero. El trabajo se llevó acabo de septiembre a diciembre de 2016. La especie de pez utilizada fue la tilapia roja (*Oreochromis sp*), con una biomasa inicial de 57,8 Kg y una densidad de 7,2 Kg/m³, se realizó un diseño experimental de bloques interpuesto con tres tratamientos con seis repeticiones por tratamiento, cada unidad experimental fue establecida en 1 m² con densidad de siembra de 24 plantas para un total 144 plantas por tratamiento, se evaluaron parámetros de productividad y rendimiento en las plantas, parámetros productivos y crecimiento de la tilapia, así como el comportamiento de algunos parámetros fisicoquímicos dentro del sistema. Durante el

experimento la albahaca mostro buenos resultados de sobrevivencia y de cultivo, presentando mayor producción en la primera cosecha. La producción de biomasa de albahaca en fresco estuvo muy por encima comparada con la producción de cultivos en suelo según lo reportado en literatura, la tilapia presento altos porcentajes de sobrevivencia. Se concluyó que con las condiciones dadas en esta investigación el sistema acuapónico presentó un rendimiento viable para la producción de tilapia y albahaca, generándose una apropiada concentración de macro y micronutrientes para el desarrollo de las plantas.

Regalado (2013) en la Universidad Autónoma de Guanajuato se instaló un sistema acuapónico a pequeña escala, evaluando la producción de tilapia *Oreochromis niloticus* y plantas de albahaca, la rentabilidad económica, la tasa de sobrevivencia, así como la biomasa generada por peces y vegetales, al finalizar la investigación se registró un 90% en la tasa de sobrevivencia tanto en peces como en vegetales.

Kanchi (2013) en Veracruz se realizó un invernadero urbano con el objetivo de producir proteína animal a través de un cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y la producción de vegetales como lechuga, alfalfa y albahaca, los datos obtenidos muestran que los peces alcanzaron un peso de 165 g por organismo, de esta manera el peso obtenido en el experimento fue considerado apto para su consumo al igual que los vegetales sembrados, se concluyó que la implementación del sistema acuapónico fue de manera viable.

Pilco (2015) evaluó, en dos densidades de siembra, el comportamiento productivo de *Piaractus brachypomus* “Paco” en un sistema acuapónico súper intensivo. Durante los 120 días del experimento se sembraron alevines de paco con un peso promedio de 10.1 g y una longitud promedio de 8.20 cm; las plantas que se usaron fueron lechuga, tomate y col. Los vegetales se regaron con agua de desecho del “paco” por medio de un sistema de recirculación de agua. Al

final del cultivo hubo una ganancia de peso y tamaño de 70.65 g y 16.14 cm respectivamente. Lo parámetros fisicoquímicos también fueron evaluados durante el tiempo de ensayo, se mantuvieron, ligeramente, dentro de los rangos deseables para la especie.

Gordillo (2017) determinó la calidad nutricional de los residuos sólidos presentes en los efluentes de un sistema acuapónico asociado a un cultivo de “tilapias” y de “lechugas” como fuente para la elaboración de una solución nutritiva orgánica para la fertilización de un cultivo de zanahorias. Las características de la solución orgánica derivada de los residuos sólidos acuapónicos se encontró dentro de los rangos ideales para el cultivo de zanahorias.

Trang, Konnerup & Brix (2017) examinaron los efectos de tres tasas de recirculación (TRC) de 50 %, 200% y 400% sobre la calidad del agua y el crecimiento de la biomasa en densidades de 122 y 200 peces/m³ en sistemas acuapónicos. En la menor TRC ocurrió mortandad masiva del 50% de los peces por falta de oxígeno. El crecimiento y la supervivencia de los peces fueron excelentes a una TRC de 400%, llegando a la conclusión de que se necesita una alta tasa de recirculación de agua (200 a 400%) por día para asegurar un buen crecimiento de la tilapia en sistemas acuapónicos.

Según indica Goddek *et al.* (2015) los sistemas acuapónicos se pueden instalar casi en todas partes y tienen el potencial para sub-urbanizar la producción de alimentos. Las plantas acuapónicas podrían ser implementadas en antiguos edificios industriales, sin incrementar la presión urbanística, los jardines sobre los techos serian otra oportunidad permitiendo el ahorro de espacio en áreas urbanas y el aislamiento del calor sobre estas, las famosas “greenhouses”.

Valdez (2018) diseñó y construyó cinco módulos de sistema acuapónico tipo vertical y con sistema NFT utilizando la zona aérea y el subsuelo para el tanque de los peces y un único filtro

compuesto para el sistema de filtrado; evaluó la supervivencia, crecimiento y rendimiento de ocho especies de plantas culinarias en con un sistema acuapónico con tilapia nilótica o gris. Al final del estudio se concluye que la albahaca y la hierbabuena fueron las especies de plantas que mostraron mayor rendimiento, adaptación y rendimiento en el sistema acuapónico, así también el buen desarrollo de la tilapia nilótica dentro del sistema.

Hernández (2017) diseñó, construyó y comparó un sistema acuapónico de doble recirculación de agua con uno de diseño convencional , la evaluación se realizó analizando los parámetros físico-químicos del agua dentro de sistema a través de sensores electrónicos y su productividad a través del cultivo de tilapia roja y lechugas, dando como resultados que el sistema acuapónico de doble recirculación junto con un control estrictamente electrónico de las variables fisicoquímicas permite obtener buenos resultados de rendimiento en los sistemas acuapónicos comparados con los sistemas convencionales.

1.3. Objetivos

- Objetivo General

Diseñar y construir un sistema acuapónico prototipo aplicado a tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) y albahaca (*Ocimum basilicum*) evaluando su operatividad en función al cultivo de ambas especies.

- Objetivos específicos

- Determinar la variabilidad de la calidad del agua dentro del sistema acuapónico prototipo.
- Determinar el crecimiento y productividad de la tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) dentro del sistema acuapónico prototipo.

- Determinar el crecimiento y productividad de la albahaca (*Ocimum basilicum*) dentro del sistema acuapónico prototipo.

1.4. Justificación

La producción de alimentos en sistemas convencionales como la ganadería, agricultura, acuicultura, entre otras, utiliza en gran mayoría el recurso agua (sostén de vida) el cual día a día se hace más escaso para la población mundial.

La acuaponía como un sistema integrado de producción presenta varias ventajas sobre los sistemas convencionales de producción de alimentos: reduce la cantidad de nitrógeno peligroso en el volumen de agua del cultivo, la cantidad de agua por su neutralización, los costos de operación por acarreo de agua, además produce vegetales con un valor agregado porque pueden ser considerados como “productos orgánicos” y elimina el uso de químicos como fertilizantes contribuyendo al incremento en la eco eficiencia en el uso del suelo y nutrientes, también a la sanidad e inocuidad alimentaria (Diver, 2000).

La acuaponía, viene siendo una técnica relativamente nueva en el mundo, se presenta como una alternativa moderna y sustentable a la acuicultura tradicional e hidroponía. Con la ayuda de este método no solo se mejora la cosecha en cantidad, peso o calidad, sino que en una forma importante se ha comprobado que aumenta la productividad en el trabajo, el valor de la mano de obra, obteniendo mayor beneficio económico.

El pez más utilizado en la acuaponia es la Tilapia “*Oreochromis spp*” ya que tiene un ciclo corto desde el nacimiento hasta su aprovechamiento (seis a nueve meses), tolera fluctuaciones drásticas en la calidad del agua y es resistente a bajos niveles de oxígeno (Iturbide, 2008; Falcón, 2010).

En cuanto a plantas, lechuga (*Lactuca sativa*), espinaca (*Spinacea oleracea*) y albahaca (*Ocimum basilicum*) muestran bajos requerimientos nutrimentales, y pueden establecerse en sistemas acuapónicos sencillos.

La producción de hortalizas en un sistema acuapónico adquiere un alto valor comercial comparado con los cultivos tradicionales ya que se consideran cultivos orgánicos (libres de químicos, pesticidas y fungicidas). Además, mantiene el equilibrio ambiental, puesto que, al no utilizar productos peligrosos como fertilizantes químicos, eliminaríamos la posible contaminación de las fuentes del agua. De igual manera, el sistema permite que el agua empleada sea reutilizada ayudando a que el consumo sea mínimo y pueda usarse en otras actividades agrícolas.

Esta eco-tecnología debe encaminarse a nivel de las regiones, comunidades y zonas urbanas de nuestro país, para así, fomentar el uso de sistemas integrados de producción.

Por las razones expuestas y con la finalidad de poder generar tecnología y adaptarla a nuestro medio y que sirva realmente, a nuestros acuicultores, agricultores y en general a la población de nuestro Perú, se justifica el presente trabajo de investigación en el cual se diseña, construye y evalúa el funcionamiento de un sistema acuapónico prototipo, aplicado al cultivo de tilapia gris y albahaca.

1.5. Hipótesis

Es factible diseñar y construir un sistema acuapónico prototipo aplicado a tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) y albahaca (*Ocimum basilicum*) evaluando su operatividad en función al cultivo acuapónico entre ambas especies.

II. Marco Teórico

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. Definición de acuicultura.

La acuicultura se define como el cultivo de organismos acuáticos, que implica la intervención en el proceso de cría para aumentar la producción, como fuente de alimentación, empleo e ingresos, optimizando los beneficios económicos en armonía con la preservación del ambiente y la conservación de la biodiversidad, el uso óptimo de los recursos naturales y del territorio; garantizando la propiedad individual o colectiva del recurso cultivado (PRODUCE, 2016)

La acuicultura es la cría en cautividad y la producción de peces y otras especies acuáticas de animales y plantas en condiciones controladas. Muchas especies acuáticas han sido cultivadas, especialmente peces, crustáceos, moluscos, plantas acuáticas y algunas especies de algas. Los métodos de producción acuícola se han desarrollado en regiones importantes del mundo y por tanto se han adaptado a las condiciones climáticas específicas de dichas regiones. La principal categoría de sistemas de acuicultura son los sistemas de recirculación de agua o *recirculating aquaculture systems* (RAS) por sus siglas en inglés. En los sistemas RAS el agua se reutiliza para los peces después de un proceso de limpieza y filtrado, debido a estos los sistemas RAS pueden tener costos más elevados, debido a sus mayores costes de inversión, energía y gestión. Utilizando estos sistemas se aumenta considerablemente la productividad por unidad de tierra y es la tecnología de ahorro de agua más eficiente en la piscicultura. (FAO 2014)

La acuicultura impacta en el medio ambiente a través de tres procesos: el consumo de recursos, el proceso de transformación y la generación del producto final. Para producir el alimento de especies carnívoras, se está generando una alta presión sobre los bancos de peces, como la anchoveta; además, la intervención intensiva que generan las prácticas acuícolas va

degradando el medio ambiente: primero por la utilización del agua que recibe grandes cantidades de desechos, como el alimento no consumido por los peces que sedimenta en los fondos, dañando un espacio que no sólo es utilizado por los peces cultivados sino también por otras especies; segundo porque se introducen antibióticos y sustancias químicas al ecosistema, además la introducción de ovas foráneas aumenta la probabilidad de expansión de enfermedades en el medio, entre otros impactos, finalmente se genera una enorme cantidad de desechos en el proceso de faena del producto que muchas veces termina en los cursos de agua. A esto se agrega que una significativa porción de los nutrientes queda disuelta en la columna de agua, produciendo fenómenos de eutrofización. El concepto de huella ecológica considera que un centro de cultivo tiene una influencia en el medio ambiente diez mil veces superior a su superficie. Este impacto tiene un costo ambiental, económico y social. (Buschman, 2001).

2.1.2. Definición de hidroponía.

El vocablo hidroponía proviene de dos palabras griegas: *hydro* que significa agua y *ponos* que significa trabajo.

Se concibe a la hidroponía como una serie de sistemas de producción en donde los nutrientes llegan a la planta a través del agua, es aplicada en forma artificial y en donde el suelo no interviene en la nutrición. (Gilsanz, 2007). La hidroponía permite, en estructuras simples o complejas, producir plantas principalmente de tipo herbáceo aprovechando sitios o áreas como azoteas, suelos infértiles, terrenos escabrosos, invernaderos climatizados; medios libres de suelo fertilizado.

Los nutrientes disueltos para hidroponía pueden ser químicos o producidos por desechos de animales (Beltrano, 2015)

2.1.3. Definición de acuaponía

Con los conceptos de acuicultura e hidroponía ya establecidos se puede definir a la acuaponía como la actividad combinada del cultivo acuícola de peces con el cultivo hidropónico de vegetales, los cuales se mantienen unidos mediante un sistema de recirculación de agua. (Rakocy *et al.*, 2006). El sistema de producción acuícola asociado al hidropónico genera un sistema bio-integrado que junta la acuicultura de recirculación y la producción hidropónica. Los nutrientes, que son excretados directamente por los organismos acuáticos o generados por las reacciones microbianas sobre los desechos orgánicos, son absorbidos por las plantas cultivadas hidropónicamente. (Muñoz, 2012) haciendo, estas, el papel de organismos purificadores y reduciendo, considerablemente, la renovación del agua dentro del sistema.

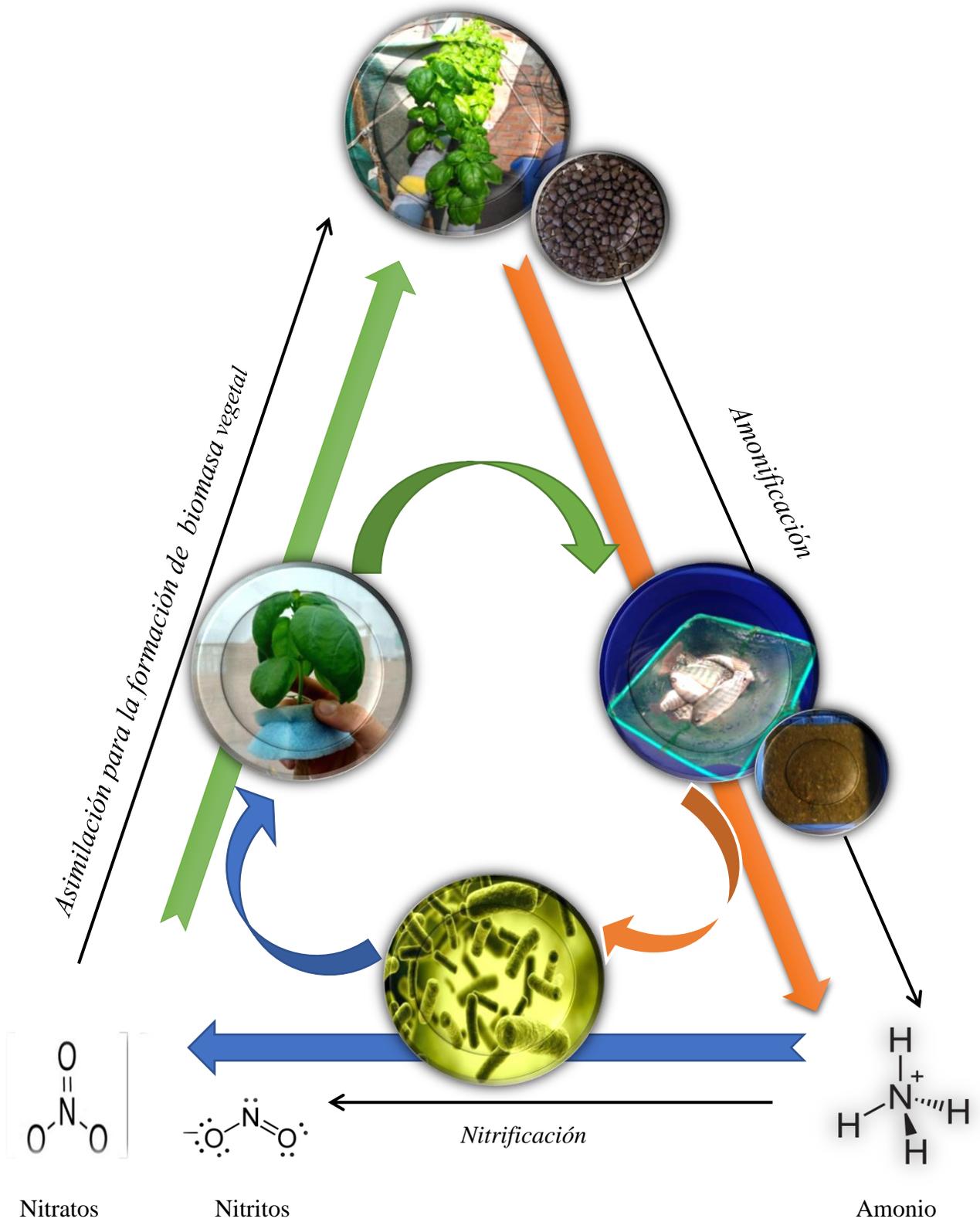


Figura 1: Ciclo de transformación de nutrientes y producción de biomasa en los sistemas acuapónicos. Fuente: Elaboración propia

2.1.3.1. Ventajas de los sistemas acuapónicos.

En los países de Latinoamérica se presenta baja tecnificación en el sector acuícola por ende suelen depender de altos recambios de agua para mantener la calidad de los cultivos; existe un desperdicio de agua y lodos ricos en nutrientes por parte del sector acuícola, y una necesidad de dichos insumos por parte del sector agrícola, así como la necesidad de minimizar el impacto ambiental Fracchia *et al.* (2015). En este contexto surge la acuaponía como respuesta a esta necesidad de reutilizar los lodos ricos en nutrientes para el sector agrícola.

Los sistemas acuapónicos ofrecen una serie de ventajas sobre aquellos sistemas de recirculación en los que solo se producen peces. La tasa de recambio de agua está dada aproximadamente del 5 al 10 % diario para evitar la acumulación de desechos metabólicos, CENACAD (2011). En los sistemas acuapónico por el contrario la mayoría trabaja sólo con un 1.5% del recambio total de agua o menos. (Citado por CENACAD, 2011 de Mc Murtry 1997)

Los desechos orgánicos producidos por los organismos acuáticos (por lo general peces) son convertidos a través de la acción bacteriana a nitratos, que sirven como fuente de alimento para las plantas, estas a su vez al tomar los nitratos, limpian el agua para los peces actuando como un filtro (Ramirez, Sabogal, Jimenez y Giraldo, 2008). Las plantas cumplen el papel de filtradores químicos, al absorber nitratos, fosfatos, sales minerales y otras sustancias bioquímicas.

Los sistemas de cultivo acuapónico disminuyen significativamente el impacto ambiental, ya que es un sistema cerrado por lo cual, se minimizan las descargas y con esto se optimizan los recursos mano de obra, agua, alimento balanceado y nutrientes para las plantas (en especial los compuestos nitrogenados) Martínez, 2013.

En términos generales, se puede estimar que por cada tonelada de pescado que se produce por acuaponía, por año, se pueden llegar a producir más o menos siete toneladas de algún cultivo vegetal. (Sánchez, 2008).

2.1.3.2. Partes de un sistema acuapónico

Los sistemas acuapónicos pueden ser diseñados de diferentes dimensiones y volumen de carga según la disponibilidad económica, el espacio disponible a utilizar y la producción que se desea obtener. No obstante, existen ciertas generalidades aplicadas al diseño de cualquier sistema acuapónico, como se muestra a continuación:

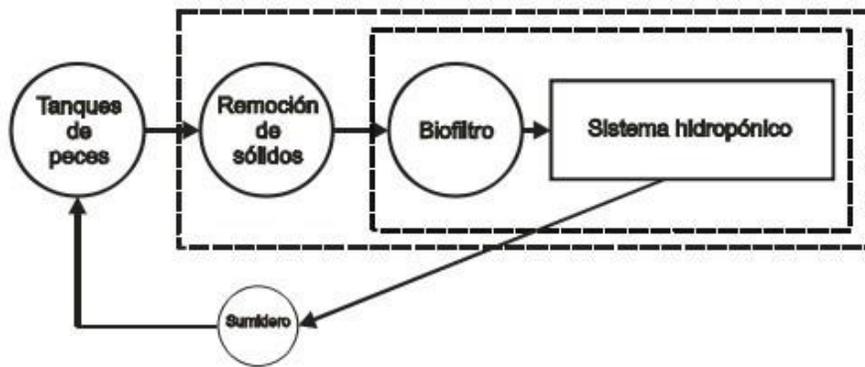


Figura 2. Esquema de un sistema acuapónico. Fuentes (2015)

A) Contenedor de los peces

El diseño apropiado para los tanques de producción acuícola debe ajustarse al comportamiento de los peces aplicando un caudal de agua óptimo para su actividad natatoria, facilidad en la remoción de sólidos y homogeneidad en el flujo y de la calidad del agua. Los tanques circulares tienden a mantener esta homogeneidad del flujo y la concentración de factores limitantes como el oxígeno, logrando una mezcla adecuada de los parámetros del agua (Timmons *et al.*, 1998)

B) Bombas para sistemas de recirculación acuícola

La piscifactoría requiere un suministro fresco de agua para ser recirculado para asegurar que el agua no se quede estancada esto depende de las bombas circulantes de agua.

Las bombas para sistemas de recirculación acuícolas son bombas hidráulicas con buena capacidad para manejar eficientemente la transferencia de energía mecánica al agua generando un buen caudal. (De las Heras, 2011)

C) Decantador.

Permite que el material sólido con partículas de mayor densidad que el agua, se asiente y se separe del líquido que lo rodea. En los decantadores suele agregarse un sistema de centrifuga para incrementar la fuerza y velocidad de separación de las partículas y el agua durante su asentamiento. (Kubitza ,2006).

Los decantadores permiten retener por gravedad y centrifugación, las partículas con diámetro mayores a 0.1mm. (Fuentes, 2015)

D) Filtro mecánico.

Se utilizan para retener del flujo de agua, partículas en suspensión. Las partículas más grandes que los orificios del material filtrante (cribas, esponjas, cajas de arena, etc.) no pueden pasar a través de ella, filtrando y limpiando así el caudal de agua. (Kubitza, 2006).

Los filtros mecánicos detienen el paso de partículas con tamaños menores a 0.1mm de diámetro. (Fuentes, 2015)

E) Filtro biológico.

En los sistemas cerrados de recirculación de agua utilizados en la acuicultura, se observa uno de los principales problemas para su manejo, es la eliminación de los metabolitos tóxicos como el amoniaco (NH_3) y el nitrito (NO_2^-). Los peces a través de sus branquias y la orina excretan el

nitrógeno amoniacal (NH_3 , NH_4^+) que disuelto en el agua es extremadamente tóxico para los peces. (Ingle de la Mora *et al.*, 2003).

El proceso de remoción del nitrógeno amoniacal se realiza, en mayor concentración en el filtro biológico, este proceso se denomina nitrificación y consiste en la sucesiva oxidación del amoníaco primero a nitrito y finalmente a nitrato. (Kubitza, 2006).

2.1.4. Sistema Nutrient Film Technique o NFT

El sistema NFT por su sigla en inglés (*Nutrient Film Technique*) o técnica de película de nutrientes se basa en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo por conductos cerrados como tuberías o canales, no existiendo pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se constituye como un sistema de recirculación cerrada. FAO (1996).

2.1.5. Descripción de la planta de albahaca (*Ocimum basilicum*)

La planta de albahaca, *Ocimum basilicum*, es originaria de la India, esta es muy utilizada a nivel mundial tanto en la actividad culinaria como en la industria. Las hojas de la albahaca tienen un alto contenido de aceites esenciales y distintos aromas que pueden ser utilizados tanto en seco como en fresco para la condimentación de diferentes platos de comida.

La albahaca es una planta aromática y medicinal. Herbácea, de tallo recto y ramificado, frondosa. Las hojas de 2 a 5 cm suaves, oblongos, opuestos y ligeramente dentados. Las flores son blancas, dispuestas en espigas alargadas en la parte superior del tallo o en los extremos de las ramas Vega, Escandón, Soto, y Mendoza (s.f.)

2.1.5.1. Taxonomía:

- Reino : Plantae
- División : Magnolophyta
- Orden : Lamiales
- Familia : Lamiaceae
- Tribu : Ocimae
- Género : Ocimum
- Especie : *Ocimum basilicum*

FAO (1996)

2.1.5.2. Condiciones para su cultivo

La planta de albahaca requiere climas cálidos para su óptimo cultivo, por lo que en el sistema NFT y en invernadero, es posible obtenerla en forma anticipada a la época de verano.

Tabla 1.
Condiciones para el cultivo de albahaca

Condiciones para el cultivo de albahaca	
Rango de temperatura óptimo de germinación	20 °C
Tiempo aproximado de germinación	10 – 20 días
Nº aproximado de semillas/gramo	80
Nº plantas/m ² en sistema de recirculación con solución Nutritiva	20
Tiempo de cosecha aproximado desde trasplante	25 – 35 días
Solución nutritiva	
pH para la solución nutritiva	5,5 a 6,5
Canal de cultivo del sistema NFT	
Tipo de canal	bajo
Ancho mínimo de base de canal	6 cm

Ficha de cultivo de albahaca en sistema NFT según la FAO (1996)

Tabla 2.
Requerimientos nutricionales

Nutriente	Composición en mg/L o ppm
Nitrógeno	150
Fosforo	50
Potasio	200
Calcio	150
Magnesio	80
Azufre	60
Hierro	2,8
Cobre	0,2
Manganeso	0,8
Zinc	0,3
Boro	0,7
Molibdeno	0,05

Solución nutritiva óptima para la producción de albahacas según la Universidad de Florida (Hochmuth, 2003)

2.1.6. Descripción de la tilapia gris (*Oreochromis niloticus*)

Las tilapias son peces endémicos originarios de África y del cercano Oriente, su crianza se ha extendido a casi todo el mundo debido a sus características rústicas y “aparente facilidad para el cultivo”.

2.1.6.1. Taxonomía

- Phylum : Vertebrata
- Sub Phylum : Craneata
- Serie : Piscis
- Clase : Teleostei
- Subclase : Actinopterygii
- Orden : Perciformes
- Suborden : Percoidei
- Familia : Cichlidae
- Género : *Oreochromis*
- Especie : *Oreochromis niloticus*

Manual de cultivo de tilapia - FONDEPES (2004)

La tilapia *Oreochromis niloticus* presenta un cuerpo comprimido en los laterales, poseen una boca ancha y protráctil con dientes cónicos, además de ello posee dos orificios nasales uno a cada lado de la cabeza. Los machos poseen cabezas más grandes que las hembras por ende tienen un mayor tamaño. (Morales, 2003)

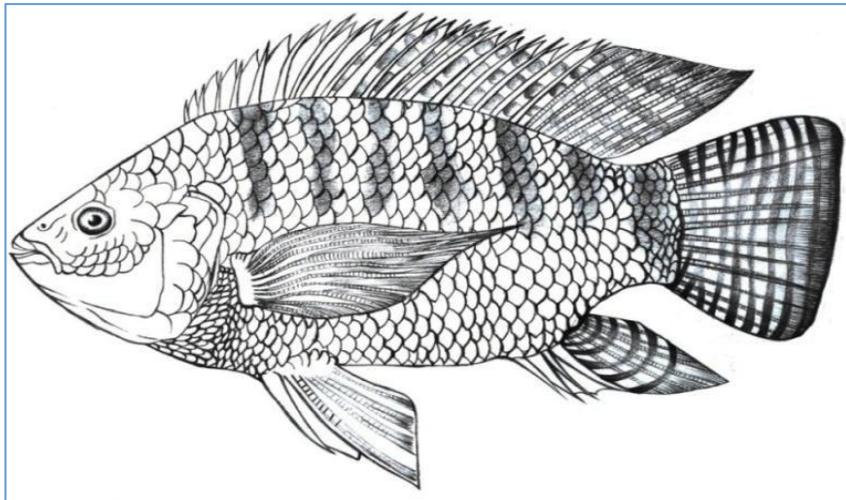


Figura 3. *Oreochromis niloticus* (extraído de Caballero, 2014)

2.1.6.2. Condiciones para su cultivo.

El crecimiento de los peces depende de gran parte de la calidad del agua; para lograr una buena producción, es necesario mantener las condiciones físico-químicas del agua dentro de los límites de tolerancia para la especie a cultivar. (García, 2010).

A) Oxígeno disuelto

Dentro de los parámetros de cultivo, es el más significativo. El grado de saturación del oxígeno disuelto es inversamente proporcional a la altitud y directamente proporcional a la temperatura y pH.

Tabla 3.
Escala de Oxígeno disuelto en los peces

Oxígeno en mg/L o ppm	Efecto
0 – 0,3	Los peces pequeños sobreviven por cortos periodos de tiempo
0,3 a 2,0	Letal a exposiciones prolongadas
3,0 a 4,0	Los peces sobreviven, pero crecen lentamente
Mayor a 4,5	Rango deseable para el crecimiento del pez

La tilapia es capaz de sobrevivir a niveles bajos de oxígeno disuelto (1,0 mg/l), pero esto provoca efectos de estrés en el animal. Flores (s.f.)

B) Aireación artificial.

La aireación artificial tiene el propósito de promover la difusión de oxígeno del aire al agua, manteniendo así, niveles constantes de oxígeno dentro del agua. Existen dos maneras de realizar esto, se puede forzar el aire a través del agua o levantar el agua por el aire.

En forzar el aire a través del agua, lo que se quiere es mover un gran volumen de aire a través de un sistema de difusión que termina en diminutos orificios, por debajo de la superficie del cuerpo de agua.

La difusión del O₂ al agua es por la superficie de cada burbuja. La transferencia del oxígeno es más eficiente desde de burbujas pequeñas, no grandes; se emplea para esto bombas, aireadores o difusores de alta potencia. (Meyer, 2004)

C) Temperatura

Los rangos óptimos de temperatura oscilan entre 20-30 °C, las tilapias pueden soportar temperaturas menores. A temperaturas menores de 15 °C no crecen. La reproducción se da con éxito a temperaturas entre 26-29 °C. Los límites superiores de tolerancia oscilan entre 37- 42 °C. (Saavedra, M., 2006)

El rango óptimo de temperatura para el cultivo de tilapias, fluctúa entre 28°C y 32°C, aunque ésta puede continuarse con una variación de hasta 5°C por debajo del rango óptimo. Flores (s.f.)

D) El pH

Las tilapias pueden tolerar un pH de entre 5 a 11, sin ningún tipo de efecto adverso para el animal; valores de pH menores a 5 pueden producir mortandad en un periodo de entre 3 a 5 horas por fallas respiratorias, como también pueden causar pérdidas de pigmentación e incremento excesivo de mucus por parte del pez. (Boyd, 1979).

E) Niveles de concentración de Amonio, nitrito y nitrato

El proceso de degradación o mineralización de todas las sustancias orgánicas del acuario o estanque de cultivo de peces (restos de alimentos y plantas, excretas de los peces) se lleva a cabo pasando por las fases de amonio-nitrito-nitrato.

Midiendo por separado las fases intermedias de amonio, nitrito y nitrato se pueden obtener información sobre las condiciones del sistema de cultivo. (Blessin H., 2017)

- El amonio/amoniaco ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$)

Por lo general las concentraciones de Amonio/amoniaco no deben superar los 0,2 mg/l o ppm, pero si esto ocurre, probablemente se deba a un problema en la colonización de y proliferación de la colonia bacteriana (bacterias benéficas).

El ion amonio (NH_4^+) es un nutriente importante para la planta y no suele ser toxico para los peces a diferencia del amoniaco (NH_3) que se forma a partir del ion amonio. Blessin H. (2017)

El amoniaco es toxico y dependerá del pH y de la temperatura del agua. Los niveles de tolerancia propiamente dichos para la tilapia se encuentran en un rango de 0.6 – 2.0 mg.L-1. Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero. (FONDEPES 2004).

- Nitritos NO_2

Son un parámetro de vital importancia por su gran toxicidad y por ser un poderoso agente contaminante. Se generan en el proceso de transformación del amoníaco a nitratos. La toxicidad de los nitritos depende de la cantidad de cloruros, temperatura y concentración de oxígeno en el agua. Flores P., (s.f.)

Las tilapias muestran sensibilidad a concentraciones elevadas de nitritos, mayores a 0,2 mg/l o ppm. (Mejía, 2014).

Recomienda mantener los niveles de nitrito por debajo de los 5 mg/l o ppm. Watanabe, Losordo, Fitzsimmons & Hanley (2010).

- Nitratos NO_3

Las bacterias encargadas de transformar el aminio a nitrito y luego a nitratos son las denominadas *Nitrosomas sp* y *Nitrobacter sp*. Las transformaciones que llevan a cabo estas bacterias son importantes en sistemas de recirculación puesto que el Amonio y el nitrito son

tóxicos a niveles bajos en concentración a diferencia de los nitratos que son más tolerables y necesitan concentraciones elevadas para ser tóxicos.

En acuaponía las plantas son las responsables de aprovechar, asimilar, absorber el nitrato (NO_3) de la columna de agua, para sus procesos de nutrición y desarrollo. (Nelson, 2019).

En el caso de nitratos (N-NO_3) la concentración de 600 a 700 mg/L afecta el consumo de alimento para los peces de cultivo, como la tilapia. (Rakocy *et al.*, 2006)

F) Dureza de carbonatos (KH)

El agua puede contener diferentes cantidades de sales alcalinotérreas (Calcio, magnesio, entre otras). La mayoría de estas sales está representada por los bicarbonatos debido a la acción del CO_2 . Se define dureza de carbonatos a la proporción de sales de calcio y magnesio presentes en forma de carbonatos.

Con valores por debajo de los 20 ppm es necesario agregar carbonatos para el cultivo de tilapia. Flores P. (s.f.)

Los efectos de la alcalinidad y la dureza del agua no afectan directamente sobre las tilapias, sino más bien sobre la productividad primaria del estanque de cultivo. FONDEPES (2004).

G) Dureza total (GH)

La dureza se refiere a la cantidad de bicarbonato de calcio $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ y de magnesio $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, sulfato de calcio (CaSO_4) y de magnesio (MgSO_4), y cloruro de calcio (CaCl_2) y de magnesio (MgCl_2) presentes en el agua.

Los niveles deseables de alcalinidad y dureza total en el agua apropiadas para el cultivo de peces son de 20 a 300 mg/l o ppm. (Meyer, 2004).

2.1.7. Calidad de agua en los sistemas acuapónicos

La suma de la concentración de todos los nutrientes disueltos en el agua para el cultivo se puede medir como Sólidos Disueltos Totales (TDS) expresados en ppm.

Para los sistemas hidropónicos la concentración recomendada de TDS es de 1000 a 1500 ppm aproximadamente. En los sistemas acuapónicos el rango de TDS son considerablemente más bajos, de entre 200 a 400 ppm aproximadamente y esto está dado porque los nutrientes se absorben y se generan continuamente. Un problema frecuente con los sistemas acuapónicos es la acumulación de nutrientes. Si los nutrientes se acumulan hasta un punto cercano de 2000 ppm de TDS se recomienda hacer algún recambio de agua o reducir la cantidad de peces en el cultivo (Rakocy *et al.*, 2006).

Los fosfatos son resultado de la actividad biológica de los peces y la sobrealimentación de los peces con el alimento balanceado. Su concentración alta causa aumento de la población de fitoplancton. Su valor fluctúa entre los 0,6 a 1,5 ppm como PO₄. Flores (s.f.).

Los cloruros y sulfatos al igual que los fosfatos se derivan de la actividad metabólica de los peces. El límite de concentración para cada compuesto es de 10 ppm y 18 ppm respectivamente. Flores (s.f.)

Los iones principales que aumentan el TDS son el nitrato (NO₃), fosfato (PO₄³⁻) sulfato (SO₄²⁻) K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺. Los niveles de NO₃, PO₄³⁻ y así, son generalmente suficientes para un buen crecimiento vegetal, mientras que los niveles de K⁺ y Ca²⁺ son generalmente insuficientes. El potasio se agrega externamente al sistema en forma de hidróxido de potasio (KOH) y Ca se agregan externamente en forma de hidróxido de calcio [Ca(OH)₂]; estas bases son agregadas al sistema de cultivo no solo como nutriente sino también para equilibrar el pH del agua.

Los micronutrientes como el Fe + 2, Mn + 2, Cu + 2, B + 3 y Mo + 6 no se acumulan significativamente en sistemas acuapónicos con respecto a la entrada de alimentación acumulada. El Fe + 2 derivado del alimento para peces es insuficiente para cultivos hidropónicos y debe complementarse con Fe + 2 quelado para que la concentración de Fe + 2 sea de 2.0 mg / L, necesarios para el desarrollo correcto de las plantas. (Rakocy *et al.*, 2006).

2.1.8. Determinación del volumen de siembra y alimentación.

El factor más importante en el diseño de un sistema acuapónico, es la de dimensionar los dos componentes principales del sistema a estructurar; el componente acuícola y el componente hidropónico.

Los sistemas acuapónicos deben estar equilibrados entre la cantidad de residuos que logren liberar los peces y la cantidad de estos residuos que las plantas logren filtrar del total del volumen de agua, para así, mantener un flujo constante de nutrientes dentro del sistema.

Este equilibrio puede ser difícil de encontrar en un sistema acuapónico de diseño nuevo o prototipo. (FAO, 2014).

Pasos que se recomiendan a seguir

1. Determinar cuántas plantas y la especie que se desea cultivar
2. Determinar el área de cultivo para las plantas
3. Determinar la tasa de alimentación de alimento balanceado que se necesitara suministrar por cada metro cuadrado plantado.
4. Determinar la cantidad de peces de cultivo capaces de consumir esa cantidad de alimento balanceado.

2.1.9. Relación de velocidad de alimentación

Es la mejor forma de equilibrar un sistema acuapónico; esta proporción es el cálculo más importante para equilibrar las necesidades de los peces y las plantas en simbiosis.

Se estima la proporción de alimento balanceado que se debe agregar al sistema acuapónico y se calcula sobre la base del área disponible para el cultivo hidropónico. Esta proporción depende del tipo de planta y del tipo de alimento balanceado, según esta descripción se debe utilizar alimento estándar de la industria acuícola.

Según sea el estadio, tamaño y especie; los peces tienen diferentes requerimientos y regímenes de alimentación. (FAO, 2014).

Tabla 4.

Proporción de alimento balanceado por área de cultivo

Proporción de alimento balanceado por área de cultivo	
Vegetales de hojas verdes	Vegetales con fruto
40-50 g de alimento balanceado/m ² /día	50-80 g de alimento balanceado/m ² /día

Fuente: FAO, 2014.

La biomasa necesaria para consumir la tasa de alimento balanceado establecida también dependerá del estadio, tamaño y especie del pez a utilizar dentro del cultivo acuapónico.

(FAO, 2014)

Las plantas a cultivar se pueden sembrar a la densidad de siembra que se indican en la siguiente tabla

Tabla 5.

Relación del área de cultivo y el número de plantas a cultivar

Relación del área de cultivo y el número de plantas a cultivar	
Plantas de hoja verde	Plantas con fruto
20 – 25 plantas / m ²	4 – 8 plantas / m ²

Fuente: FAO, 2014.

Estas cifras, expuestas en las tablas anteriores, son únicamente promedios, y existen muchas variables dependiendo del tipo de planta, el tipo de pez, el tipo de alimento balanceado; por ello es recomendable usar estos datos solo como directrices parciales a seguir. (FAO ,2014).

III. Método

3.1. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo empírica experimental y se dividió en tres etapas, la primera se subdividió en producir tres sistemas: el 1er sistema acuapónico prototipo se produjo con materiales reciclados, el 2^{do} se rediseñó aumentando la capacidad de carga y el 3^{ero} se volvió a rediseñar aumentando la capacidad de carga, mejorando el flujo de agua, la filtración y manteniendo limpias las raíces de las plantas. El diseño final fue utilizado para su evaluación en función al cultivo acuapónico.

En la segunda etapa se evaluó un cultivo “piloto” entre una corrida de tilapias por una corrida de albahacas, para determinar cómo se desarrolla la tilapia gris y la albahaca dentro del sistema prototipo, en la tercera etapa, teniendo en cuenta lo obtenido en el piloto, se decidió evaluar dos corridas de albahaca por una corrida de tilapia en un solo cultivo; la evaluación constó en determinar el crecimiento de la tilapia, de la dos poblaciones de albahaca y la calidad del agua dentro del sistema acuapónico prototipo.

3.2. Ámbito temporal y espacial.

El proyecto de investigación fue realizado en la ciudad de Lima, en el distrito de los Olivos, en una zona urbanizada y residencial con dirección: Calle las verbenas, asociación de vivienda el Olivar Mz B Lt 33. La construcción y evaluación del funcionamiento del sistema acuapónico prototipo se llevó a cabo dentro de un semi-invernadero, para controlar de manera tangencial, las condiciones ambientales de la zona, plagas y/o depredadores.

3.3. Variables.

Las variables que se tomaron en cuenta son las siguientes

3.3.1. Variables independientes

- Temperatura ambiente
- Temperatura del agua
- pH
- Nitritos
- Nitratos
- Amonio/amoniaco
- Dureza de carbonatos (GH)
- Dureza total (GH)

3.3.2. Variables dependientes

- Ganancia en peso fresco de la tilapia
- Crecimiento del tamaño de la tilapia
- Crecimiento del tallo albahaca
- Ganancia en peso de la albahaca
- Tamaño de la raíz de la albahaca
- Grosor del tallo de la albahaca
- Cantidad de hojas obtenidas por planta de albahaca

3.4. Población y muestra

El primer cultivo fue un “piloto” de 36 alevinos de tilapia gris “*Oreochromis niloticus*” y 9 plantas de albahaca “*Ocimum basilicum*”. El segundo cultivo acuapónico, del cual se realizó el estudio experimental, constó de 36 alevinos de tilapia gris y 36 plantas de albahaca.

Los alevinos de tilapia gris fueron adquiridos de la empresa “Acuaponía Perú Proecocíclicos” procedentes de la región San Martín; selva central del Perú.

La semilla de albahaca fue comprada en la tienda PROMART Home Center en el área de jardinería, urbanización Pro, los Olivos. Las semillas fueron sembradas en solución hidropónica comercial hasta producir un almacigo con 4 a 6 hojas verdaderas, para luego hacer el trasplante al sistema acuapónico prototipo.

3.5. Instrumentos

3.5.1. Materiales de plástico y construcción

- Tanque para agua de 200L
- Tanque para agua de 45 L – 3 unidades
- Tanque para agua de 25 L
- Tubo de PVC para agua de 1 pulgada, 5 m de longitud
- Tubo de PVC para agua de ½ pulgada, 5 m de longitud
- Tuvo de PVC de 3 pulgadas, 1,5 m de longitud – 2 unidades
- Codos de 90° de ½ pulgada – 08 unidades
- Codos de 45° de ½ pulgada – 02 unidades
- Codos de 90° de 1 pulgada – 04 unidades
- Codos de 45° de 1 pulgada – 02 unidades
- Uniones de ½ pulgada – 06 unidades
- Uniones de 1 pulgada – 04 unidades
- Conectores de ½ pulgada – 06 unidades
- Unión universal de ½ pulgada – 03 unidades

- Unión universal de 1 pulgada – 04 unidades
- Manguera de jardín de 5 m
- Pegamento OATEY azul
- Cinta de Teflón – 06 unidades
- Silicona acética – 04 unidades
- Mesa de madera para soporte
- Cemento
- Listones de madera de 3 m – 02 unidades
- Malla raschel con paso de luz de 80%
- Malla antiafida para invernaderos.
- Rollo de plástico azul doble ancho
- Sierra de mano
- Taladro
- Nivel manual de burbuja

3.5.2. Materiales para acuariofilia

- Esponjas para acuario – 08 unidades
- Perlón 4 m² de área
- 1 kg de canutos para biofiltración (sustrato para bacterias)
- Mangueras de silicona 10 metros de longitud
- Piedras difusoras – 06 unidades

3.5.3. Materiales para hidroponía

- Bandejas para almácigo de 120 orificios – 02 unidades

- Quelato de hierro (100g) – Universidad Nacional Agraria la Molina
- Sales para solución hidropónica (1kg) – Universidad Nacional Agraria la Molina

3.5.4. Equipos

- Bomba sumergible de 3000 l/h
- Bomba de aireación – 02 unidades
- Termostatos de 100 watts
- Termostato de 200 watts
- Extensión eléctrica – 02 unidades
- Termómetro para acuario
- Countdown timer
- Smartphone Motorola “moto g 4 play” con cámara de 8 megapíxeles

3.5.5. Test colorimétrico para análisis de calidad de agua

- Test para Amonio/amoniaco ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$)
- Test para Nitritos (NO_3^-)
- Test para Nitratos (NO_2^-)
- Test para Dureza de carbonatos (KH)
- Test para Dureza total (GH)
- Papel colorímetro para pH

3.5.6. Unidades de cultivo

- Alevinos de tilapias gris (*Oreochromis niloticus*)
- Semillas de albahaca (*Ocimum basilicum*)

3.6. Procedimientos

3.6.1. Diseño del sistema acuapónico prototipo

3.6.1.1. *Primer sistema acuapónico prototipo*

En este análisis empírico, in situ, se estudió el funcionamiento básico del sistema integrado de cultivo para formar una simbiosis entre los peces, las plantas y las bacterias dentro de un sistema acuapónico. Por ende, se diseña, construye y evalúa el 1^{er} sistema acuapónico prototipo, ver figura en el **Anexo 5**.

Primer sistema acuapónico echo con materiales reciclados y de forma artesanal. En la imagen se muestra la estructura inicial del sistema acuapónico prototipo; evaluando el funcionamiento se optó por cambiar la manguera de sifón por una de salida más delgada y doble, evitando la absorción de los alevinos de tilapia.

El sistema contó con:

- Un acuario con un sifón para la salida de agua
- Un filtro mecánico y decantador
- Filtro biológico con sustrato de esponjas
- Un sumidero de nutrientes
- Un sistema NFT de dos filas con una entrada y salida de agua menor de ½ pulgada
- Lechuga y albahaca para el cultivo hidropónico empírico
- Alevines de tilapia gris, con tamaños similares, para el cultivo empírico acuícola
- No se agregaron bacterias nitrificantes y el ciclado del agua fue de unos 7 días

Se determinó que los nutrientes fueron insuficientes, algunas plantas de lechuga se tornaban blanquecinas y no crecían adecuadamente, las plantas de albahaca demostraron tener mejor

absorción de nutrientes, pero no desarrollaron a tamaños comerciales. El cultivo duró aproximadamente 20 días.

3.6.1.2. Segundo sistema acuapónico prototipo

En este segundo análisis empírico, in situ, se quiere evidenciar que, al aumentar el número de peces, dará aumento al número de nutrientes en el agua para las plantas y obtener así un mejor desarrollo de estas, ver figura en el **Anexo 7**.

Segundo prototipo, en este sistema se aumentó a tres acuarios con 80 peces en total distribuidos en ellos, producir mayor cantidad de desechos por ende nutrientes para las 20 plantas.

- Tres acuarios con sifones para la salida de agua
- Un filtro mecánico y decantador
- Filtro biológico con sustrato de esponjas
- Un sumidero de nutrientes
- Un sistema NFT de dos filas con una entrada y salida de agua menor de ½ pulgada
- Lechuga para el cultivo hidropónico empírico
- Alevines de tilapia gris, tamaños diferentes, para el cultivo empírico acuícola
- Se agregaron bacterias benéficas comerciales.

Se evidenció el aumento de tejido vegetativo (hojas y tallos) pero las raíces fueron tapadas por materia orgánica en desecho por ello el desarrollo fue parcial y las hojas tuvieron un color blanquecino por falta de nutrientes. El cultivo acuapónico duro 25 días. Ver figura en el **Anexo 8**

Tomando en cuenta las deficiencias encontradas en el 1^{er} y 2^{do} diseño, se optó por rediseñar el sistema acuapónico prototipo mejorando el suficiente espacio para los peces, filtros más grandes

y especializados para retener los sedimentos mejorando el proceso de degradación de la materia orgánica, manteniendo las raíces limpias y controlando la calidad de agua para el sustento de los peces, plantas y bacterias benéficas.

Se procedió al diseño, construcción y evaluación del 3^{er} sistema acuapónico prototipo. Este diseño mejorado se construyó para su evaluación en función al cultivo acuapónico experimental entre dos corridas de albahacas por una corrida de tilapia gris en un periodo de 42 día. Ver figura en el **Anexo 9 y 26** respectivamente.

3.6.1.3. Obtención de los materiales para la construcción del 3^{er} sistema acuapónico prototipo.

Los materiales a utilizar para la construcción del sistema acuapónico prototipo fueron adquiridos en la tienda PROMART Home Center, área de gasfitería, urbanización Pro, los Olivos. Los cilindros para agua de 200 L, 45 L y 25 L fueron obtenidos de un proveedor de cilindros para almacenamiento de agua potable, en la Av. Canta Callao, en el Distrito de San Martín de Porres, Lima.

La bomba de agua fue adquirida en la tienda de acuariofilia “Acuario Amazonas” Av. 28 de julio 1276 La Victoria Lima.

Las bombas de aire, los Kits colorimétricos JBL y los accesorios para la filtración biológica y mecánica fueron adquiridos de la empresa “Acuario Rokasd” Jr Ayacucho 550 Int. 7 y 20. Av. Abancay.

3.6.2. Construcción del sistema acuapónico prototipo

Para el diseño y construcción del sistema se tomó como referencia adicional el manual digital *Sistemas alternativos para la producción acuagrícola (2019)* de la empresa “Acuaponia Perú Proecociclicos”

Se realizó la nivelación, grosso modo, del área a utilizar con una mezcla de cemento, arena y agua, tapando algunas imperfecciones del suelo. Se construyeron dos pilares compuestos de dos listones de madera de 4 m y una base rectangular de ladrillo de 40 cm de alto, para cada listón; los pilares tuvieron una separación de 3 m. Estos soportaron el peso de las tuberías del sistema hidropónico y la malla “rachel” que daría parte a la construcción del semi invernadero.

Se realizó la limpieza a profundidad de los materiales con abundante agua, detergente, y lejía, solución de hipoclorito de sodio, para la desinfección de los materiales a utilizar.

Para el tanque acuícola se utilizó un tanque plástico para agua de 200 L al cual se le realizó un corte rectangular en la parte externa de unos 30 cm x 90 cm para la entrada de luz, alimento, aireación, fácil acceso para manipular a los peces y su limpieza.

El decantador (45 L), el filtro mecánico (45 L), el filtro biológico (45L) y el sumidero de nutrientes (25L) fueron perforados con un taladro circular, de 1 pulgada de diámetro, a unos 7 cm de la tapa del tanque, cada uno. El filtro mecánico o clarificador tuvo otra perforación de 1 pulgada a 5 cm de la base hacia arriba en la cara opuesta al primer orificio. El filtro biológico también tuvo otra perforación de 1 pulgada de diámetro a 5 cm de la base hacia arriba en la cara opuesta al primer orificio.

Las tuberías de PVC de 1 pulgada, fueron cortadas y adaptadas para el sistema de conexión de agua entre: el decantador-filtro mecánico-filtro biológico-sumidero de nutrientes respectivamente.

Los cuatro tanques fueron puestos a desnivel para que el flujo de agua sea de arriba hacia abajo, el agua debe fluir por reboce, empezando con un desnivel de 10 cm de alto para el decantador, para el filtro mecánico un desnivel de 4 cm de alto, el filtro biológico al ras del suelo y el sumidero de nutrientes que contiene a la bomba de agua en su interior también al ras del suelo.

Se adaptó una mesa de madera con dos soportes extras en la parte central de la misma para soportar el peso del tanque de agua de 200 L. La mesa tuvo las siguientes medidas: 180 cm x 60 cm x 90cm (LxAxH)

Para la construcción del sistema NFT se utilizó dos tuberías para desagüe de 3 pulgadas de diámetro y 2 metros de largo. Cada tubo fue perforado en la parte externa con un taladro con broca circular, para dar forma a diez orificios de 7 cm de diámetro, cada uno, con una separación de 10 cm entre estos; cada orificio será un espacio destinado para una plántula de albahaca con un soporte de esponja para sostener la plántula.

El primer tubo fue colocado a 1.9 m de altura sobre el suelo, con una pendiente de inclinación de 2.10 % (de izquierda a derecha), el segundo tubo fue colocado a 1,7 m de altura sobre el suelo con la misma pendiente de inclinación, pero en sentido inverso (de derecha a izquierda), los tubos fueron anclados a los pilares de madera y cemento ya construidos, a través de sogas y retazos de madera.

Los tubos de 3 pulgadas para el sistema NFT fueron conectados al tanque de los peces por medio de tubería de PVC de ½ pulgada, codos de media y una union universal.

Para los sistemas de tuberías de 1 y ½ pulgada fue necesario incorporar “uniones universales” de 1 y ½ para facilitar el desarme del sistema y así poder realizar las limpiezas de las tuberías por dentro.

Se utilizó pegamento azul para tubo “oatei”, cinta teflón blanca para obstruir cualquier abertura entre uniones y conexiones; así también, al final de cada unión, corte o abertura entre tubos, se aplicó silicona transparente por la parte exterior, para sellar todo el sistema y hacerlo hermético evitando fugas de agua.

Se terminó de cubrir con malla “raschel” verde a 80% de entrada de luz y malla antiáfida, todo el perímetro del área de cultivo, estructurando de esta manera un semi invernadero cubriendo al sistema acuapónico prototipo.

3.6.3. Acondicionamiento del sistema acuapónico prototipo para su funcionamiento

Una vez diseñado y construido el sistema acuapónico prototipo se realizó el llenado con agua potable de la zona de los Olivos, dejando reposar el agua por unos 5 días para luego encender la bomba sumergible haciendo recircular el agua a través de todo el sistema acuapónico, la recirculación de agua será continua y se mantendrá recirculando por un periodo de 35 días para madurar el agua (declaración y acondicionamiento) y generar dentro del filtro biológico una saludable población de bacterias benéficas (nitrificantes, heterótrofas, etc.)

En el periodo de acondicionamiento se agregaron algunos alevines de tilapia gris para generar amoniaco y subministrando alimento balanceado, se mantuvo en actividad la generación de bacterias benéficas, al final del periodo de ciclado (transcurriendo unos 40 en total) se analizará

la calidad del agua evidenciando una disminución en la concentración de amonio, un aumento parcial de los nitritos y un mayor aumento de los nitratos, demostrando que el sistema acuapónico prototipo obtuvo una saludable colonia de bacterias benéficas.

3.6.4. Acondicionamiento y preparación de las unidades biológicas experimentales

3.6.4.1. Acondicionamiento y preparación de los peces

Los peces de la especie *Oreochromis niloticus* fueron traídos a pedido, desde la región San Martín por medio de la empresa “*Acuaponia Perú Proecociclicos*” empresa dedicada a la elaboración de sistemas de producción orgánica. Los peces fueron aclimatados por un periodo de 14 días en agua reposada a temperatura ambiente y sometidos a un tratamiento preventivo con azul de metileno 1ml/L de agua en un tanque para agua de 75 litros con aireación artificial constante.

Se le proporciono alimento balanceado extruido con 40% de proteína, pellet de 2x2 mm, especial para tilapia gris, “Inicio tilapia 40” siendo proveedora la empresa “Aquatech”.

3.6.4.2. Acondicionamiento y preparación de la albahaca

Las semillas de albahaca fueron sembradas en bandejas para almácigo de la siguiente manera: se colocó un cubo de esponja de 1x1 cm en el fondo de cada segmento de la bandeja, luego se añadió una mezcla de arena fina con arena gruesa como “sustrato inerte”, el sustrato no debe estar compactado. La semilla de albahaca fue sembrada una a una en cada segmento de la almaciguera poniendo cada semilla en la superficie, luego se cubrió cada semilla con una fina capa de sustrato inerte, llenando así la bandeja para almácigos.

La bandeja para almácigos fue colocada dentro de una bandeja metálica de mayor volumen recubierta con plástico negro para evitar la formación de microalgas. Se procedió al llenado con

solución hidropónica, para dejar cultivar de la siguiente manera de abajo hacia arriba: bandeja metálica-solución hidropónica-bandeja para almacigo.

La semilla de albahaca una vez sembrado, se procedió a taparla, dejándola en oscuridad por unos 3 a 5 días.

Luego de estar en penumbra, se expuso a las plántulas a sol y aire del ambiente para que continúe con su normal desarrollo por unos 18 días aproximadamente. Pasado ese tiempo se trasladó el almacigo a un cultivo hidropónico de raíz flotante, usando una plancha de tecnopor agujereada como sostén de las plántulas y se instaló una bomba de aireación artificial para oxigenar el agua y las raíces.

Las plántulas se adecuaron a esas condiciones llegando a desarrollar de 4 a 6 hojas verdaderas con un tamaño entre 8 a 10 cm cada una, en un periodo de 8 a 10 días. Un periodo total de 30 días desde la siembra, posteriormente las plántulas de albahaca fueron trasladadas al sistema acuapónico prototipo, empezando, así, el cultivo experimental.

3.6.5. Funcionamiento del sistema acuapónico prototipo

En un tanque de 200 L de capacidad se siembro 36 alevinos de tilapia gris, desde este tanque el agua fluye a hacia el decantador por medio de tuberías de PVC de ½ pulgada, llegando al fondo de este cilindro, el agua sube desde el fondo girando en sentido anti horario, los sedimentos más pesados se quedan en el fondo y el agua decanta, por arriba, hacia el siguiente cilindro. El filtro mecánico receptiona el agua decantada y filtra por medio de esponja “perlón” sustancias suspendidas en el agua, el agua vuelve a decantar y pasa al filtro biológico en donde hay un termostato y sustrato inerte para bacterias. Las poblaciones de bacterias presentes toman las partículas en suspensión ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$) y las oxidan para transformarlas en nitritos (NO_2^-) y luego a nitratos (NO_3^-), el agua tratada pasa a un sumidero de nutrientes en donde está la bomba sumergible ($Q = 3000\text{L/h}$) que bombea el agua a lo alto hasta una altura de 2 m donde se

encuentra montado el sistema NFT. Las raíces de las 18 albahacas son inundadas con una solución rica en nutrientes; estas absorben los compuestos disueltos en el agua, limpiándola en el proceso. El agua regresa al tanque de los peces repitiéndose el circuito.



Figura 4. Descripción de cada parte del sistema según el recorrido del agua: “1” tanque de los peces, “2” decantador, “3” filtro mecánico o clarificador, “4” Filtro biológico”, “5” sumidero de nutrientes y bomba sumergible, “6” Sistema hidropónico NFT. Fuente: Elaboración propia.

3.6.6. Biometrías, limpieza y agregado de Quelatos de hierro

Tabla 6.
Biometrías

Cronograma de biometrías						
0	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	*18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31	32	33	34
35	36	37	38	39	40	41
42						

El color azul indica biometría, el color rojo es una diapausa en el cultivo. El día *18 se realizó la biometría a las nuevas plantas de albahaca. El alimento balanceado fue subministrado por siete días seguidos, al octavo día no se da alimento para no alterar los resultados de la biometría.

- Día 17 1^{er} diapausa. Se procedió al desmontaje y limpieza del sistema NFT, quitando todo resto de materia vegetal. Se preparó la solución de quelatos de hierro disuelta en agua reposada, se disolvió 0.67g en 2 litros de agua para obtener una solución diluida. Se agregó la solución de quelatos de hierro en un transcurso de dos días para evitar cambios bruscos en la calidad del agua, estrés y/o mortandad en los peces y alteraciones en la población de microorganismos benéficos. No se agregó alimento balanceado.
- Día 18 2^{do} diapausa. Se continuó agregando la solución de quelatos de hierro hasta obtener una concentración final de 0.67g/338L o 2mg/L. Se evaluó la calidad del agua y la mortandad en los peces, no habiendo mortandad. Se realizó la primera biometría a las nuevas plantas, para luego ser sembradas al sistema acuapónico prototipo. No se agregó alimento balanceado.

La solución de quelatos de hierro fue agregada al sistema en bajas concentraciones, así también, no se agregó alimento balanceado, esto se realizó para evitar alteraciones bruscas en la calidad de agua. Se monitoreo los parámetros del agua y se mantuvo constante vigilancia a los peces, no habiendo mortandad.

3.6.7. Densidad de siembra

La densidad de siembra fue de 36 tilapias / 18 albahacas, en la primera corrida (del día 0 al 16), se cosechó y se sembró la segunda corrida de albahaca con los mismos peces continuando el cultivo (día 18 al 42). La proporción de siembra fue de 2:1 en cada corrida.

3.6.8. Determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua.

Se evaluaron las concentraciones (mg/L o ppm) de amoníaco/amonio, nitritos, nitratos, dureza de carbonatos, dureza total estas se realizaron cada 7 días utilizando un kit colorimétrico para acuariofilia de la marca JBL, el pH se evaluó utilizando tiras de papel indicador, cada 7 días, la temperatura del agua se controló diariamente con el uso de un termostato de 200 Watts y se evaluó si había algún cambio significativo en un transcurso de 7 días.

3.6.9. Determinación del crecimiento y productividad

3.6.9.1. Determinación del crecimiento y productividad de la tilapia gris

Con la finalidad de establecer un parámetro homogéneo en la evaluación y evitar el estrés de los animales, se realizó la biometría de los peces cada 8 días en un periodo de cultivo de 42 días utilizando un ictiómetro artesanal a pequeña escala (0 a 20 cm) y para el peso se utilizó una balanza digital de valores de 1g a 1000g ($\pm 0,01g$).

Se midió:

- Longitud estándar (cm)

- Longitud total (cm)
- Peso total (g)

Peso promedio: Σ Pesos / total de individuos

Longitud promedio: Σ Longitudes / total de individuos

$GPT = PF - PI;$ GP: Ganancia en peso total

PF: Peso final

PI: Peso inicial

$GPp = Pf - Pi;$ GP: Ganancia en peso promedio

Pf: Peso promedio final

Pi: Peso promedio inicial

$GL = Ltf - Lti;$ GL: Ganancia en Longitud

Ltf: Longitud total promedio

Lti: Longitud total promedio

$FCA = A / PF - PI;$ FCA: Factor de conversión alimenticia

A: Alimento suministrado

$TCA = (Y2 - Y1) / (T2 - T1);$ TCA: Tasa de Crecimiento Absoluto

Y1 y Y2: Peso o talla promedio al inicio y final

T1 y T2: Tiempo inicial y final

3.6.9.2. Determinación del crecimiento y productividad de la albahaca.

Se evaluó el crecimiento de las plantas, por corrida, cada 8 días usando una cinta métrica de 100 cm y para el peso se utilizó una balanza digital de valores de 1g a 100g ($\pm 0,01g$)

Se midió:

- Longitud del tallo (cm)
- Longitud de la raíz (cm)
- Número total de hojas
- Peso total (g)
- Grosor del tallo (cm)

Peso promedio: Σ Pesos / total de individuos

Longitud promedio: Σ Longitudes / total de individuos

Número total de hojas: Σ del total de hojas del cultivo

$GPT = PF - PI$; GPT: Ganancia en peso total

PF: Peso final

PI: Peso inicial

$GPp = Pf - Pi$; GP: Ganancia en peso promedio

Pf: Peso promedio final

Pi: Peso promedio inicial

$GL = Ltf - Lti$; GL: Ganancia en Longitud

Ltf: Longitud promedio final

Lti: Longitud promedio inicial

$TCC = (W2 - W1) / (T2 - T1)$; TCC: Tasa de crecimiento del cultivo

W1 y W2: Peso o tamaño al inicio y final del cultivo

T1 y T2: Tiempo al inicio y final del cultivo.

3.6.10 Tasa de alimentación.

Se consideró la tasa de alimentación recomendada del 8.5% de la Biomasa según lo indica la empresa proveedora AQUATECH. La tasa de alimentación se mantuvo constante para evitar sobrecargar de nutrientes el sistema acuapónico.

El mayor problema de los sistemas acuapónicos es la sobrecarga de nutrientes puesto que no hay recambios de agua significativos y el agua recircula todo el tiempo.

$T = (W) (\%P)$; Tasa de alimentación: T

Biomasa total: W

Porcentaje en peso de biomasa: %P

3.6.11. Determinación de la mortandad

Utilizando un cuaderno de bitácora se fue registrando los datos acontecidos a diario en la evaluación del sistema acuapónico prototipo. El registro de mortandad fue nulo.

3.6.12. Frecuencia de alimentación

El alimento fue suministrado en dos raciones diarias para no generar exceso de residuos acuícolas dentro del sistema de tuberías manteniendo un flujo constante de agua. Se alimentó a las 8:00 horas y a las 16 horas. 7 días seguidos dejando un día sin alimentar. La alimentación balanceado diario a suministrar fue registrado en el cuaderno de bitácora. La tasa de alimentación se mantuvo constante evitando sobrecargar el agua.

3.6.13. Determinación de volumen total dentro del sistema

Para el cálculo del volumen total del sistema, se consideró el tanque de los peces, el decantador, el filtro mecánico, el filtro biológico, el sumidero de nutrientes y el sistema NFT, con su volumen útil.

Además de un resguardo de un 10 % por concepto del agua que se encuentra de toda la tubería 1 y ½ pulgada del sistema. (Huerta, 2017)

Tabla 7
Determinación de volumen total dentro del sistema

	Volumen total	Volumen útil
Tanque de los peces	200L	180 L
decantador	45 L	40L
Filtro mecánico	45 L	36L
Filtro biológico	45 L	33L
Sumidero de nutrientes	25 L	10L
Sistema NFT	18 L	9 L
Volumen total	378 L	308 L
10 % por concepto de tuberías		30,8 L
Volumen total útil a recircular		338,8 L

Fuente: Elaboración propia

3.6.14. Determinación del caudal dentro del sistema

El caudal del flujo de agua fue determinado por la bomba sumergible; este fue óptimo para el flujo constante de nutrientes, para el libre desplazamiento de los peces y la adecuada absorción de nutrientes realizada por las raíces de las plantas.

La bomba sumergible de recirculación de agua tiene un caudal de 3000 L/h \diamond 50 L/min \diamond 0,8 L/s.

3.6.15. Determinación de la tasa de recirculación de agua

La tasa de recirculación de agua fue constante y se mantuvo todo el día con un cese del flujo 1 hora al día para evitar desgaste en los ejes de la bomba sumergible. Los sistemas de recirculación

de agua deben tener recambios completos de agua mínimo de 1 a 2 renovaciones por hora. Al-Hafedh *et al.* (2008).

Caudal de la bomba sumergible 3000 L/h \sphericalangle 3000 L/60min \sphericalangle 50 L/min

El volumen útil total a recircular es de 338,8 L

Aplicando una regla de tres:

50 L -----1 min

338,8 L -----x min = 6,7 \approx 7min

En 7 min se logra un recambio total del volumen útil.

El porcentaje de la tasa de recirculación de agua por cada hora fue de

$$(3000 \text{ L} / 338,8 \text{ L}) \times 100 \% = 885,47 \%$$

Es decir, los recambios del total de volumen de agua dentro del sistema acuapónico prototipo fueron de 8 a 9 renovaciones por hora.

3.7. Análisis de los datos

El análisis de los datos se realizó con el software *SPSS* versión N° 24. Para la variación se utilizaron gráficos lineales y tablas de clasificación en Microsoft Excel 2010.

3.8. Consideraciones éticas

Ley N° 30728. Ley que modifica el artículo 2 del Decreto legislativo N° 1195, Decreto legislativo que aprueba la ley general de acuicultura, sobre la declaración de interés nacional de la acuicultura sostenible.

IV. Resultados

4.1. Análisis químicos y físicos de la calidad del agua

Los valores obtenidos en cada análisis de fisicoquímico del agua se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 8.

Variabilidad de los valores de las concentraciones de Amonio/Amoniaco, Nitritos, Nitratos, Dureza total, Dureza de carbonatos, pH y la temperatura promedio del agua

Parámetros	Semana	Semana	Semana	Semana	Semana	Semana	Semana
	1	2	3	4	5	6	7
NH4 mg/L o ppm	0.05	0.2	0.4	0.6	1.5	1.5	0.2
NO2 mg/L o ppm	1	0.8	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6
NO3 mg/L o ppm.	80	20	20	10	20	20	20
Dureza total expresada en mg/L de CaCO ₃ .	0.50	0.50	0.50	0.56	0.62	0.56	0.78
Dureza de carbonatos en mg/L de Bicar.	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6
pH.	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
T° del agua promedio semanal °C	Prom. 26.6	26.7	26.23	26.38	26.28	25.9	25.19
	Min. 25	25	24	24	24	23	23
	Max. 30	30	29	29	29	28	28

Calidad de agua dentro del sistema acuapónico prototipo en un periodo de 42 días. Fuente: Elaboración propia

4.2. Evaluación del crecimiento y productividad de la tilapia gris “*Oreochromis niloticus*” dentro del sistema acuapónico prototipo.

Principales indicadores del cultivo que demuestran el funcionamiento viable del sistema acuapónico prototipo en cuanto al cultivo de la tilapia gris.

Tabla 9.

Análisis del crecimiento de la tilapia gris dentro del sistema acuapónico prototipo.

	Biometría 1	Biometría 2	Biometría 3	Biometría 4	Biometría 5	Biometría 6
Tiempo	0 días	8 días	16 días	26 días	34 días	42 días
Peso total (g)	219	299	401	553	675	755
Peso promedio (g)	6.08	8.3	11.14	16.75	19.85	21.57
Ganancia en Peso total (g)	0	80	182	334	456	536
Ganancia en peso promedio (g)	0	2.22	5.06	10.67	13.77	15.49
Longitud estándar (cm)	4.58	6.14	7.83	8.29	8.73	8.97
Longitud total (cm)	5.73	7.37	9.33	10	10.41	10.67
Ganancia en longitud total (cm)	0	1.64	3.6	4.27	4.68	4.94

Parámetros físicos de la tilapia gris obtenidos en cada biometría a lo largo del periodo de cultivo de 42 días. Fuente: Elaboración propia.

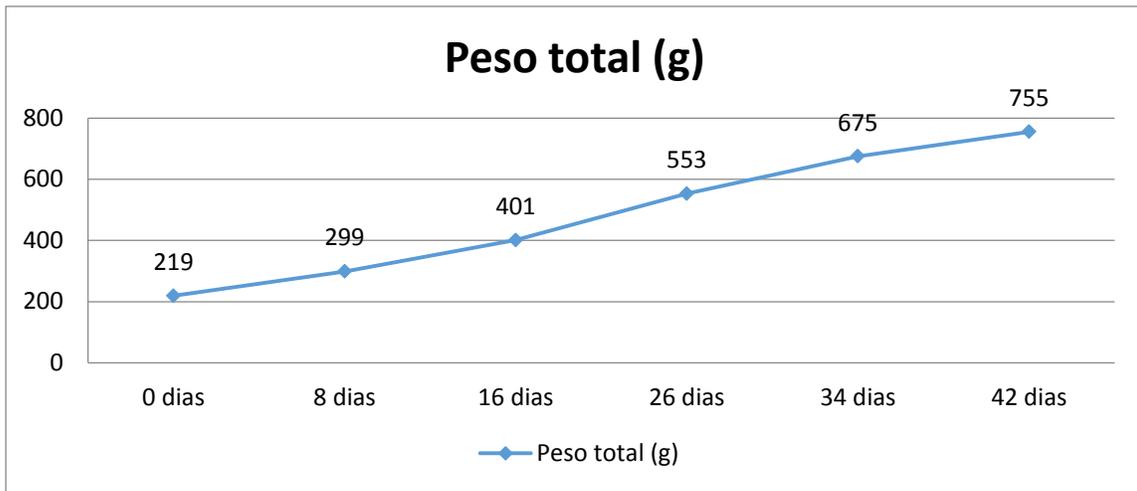


Figura 5. Peso total del cultivo de tilapia gris obtenido en cada biometría

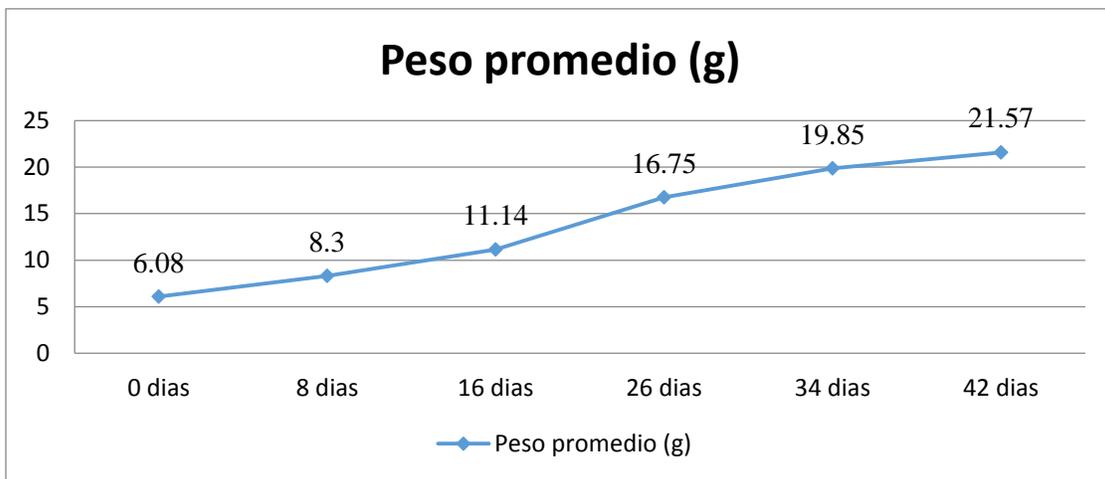


Figura 6. Peso promedio de tilapia gris obtenido en cada biometría

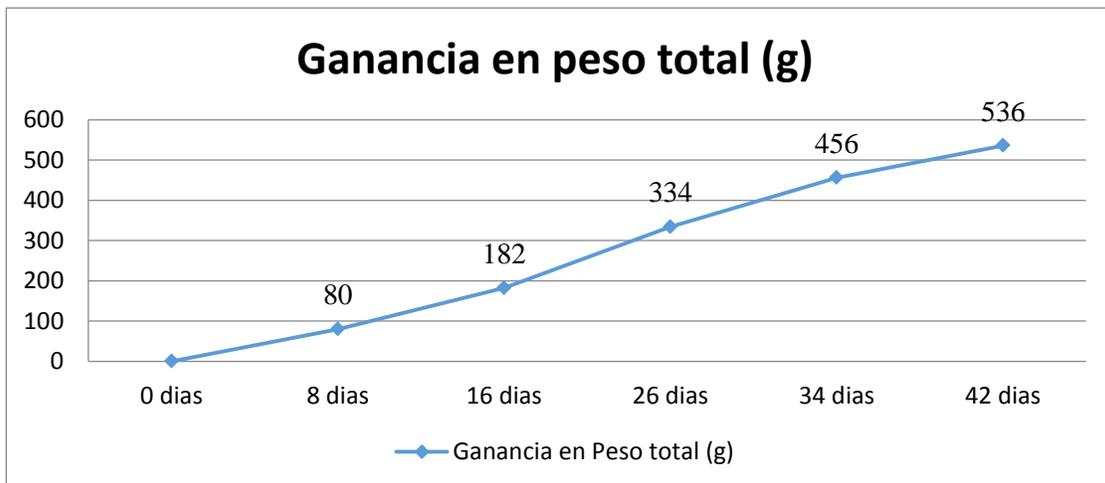


Figura 7. Ganancia en peso total del cultivo de tilapia gris obtenido en cada biometría

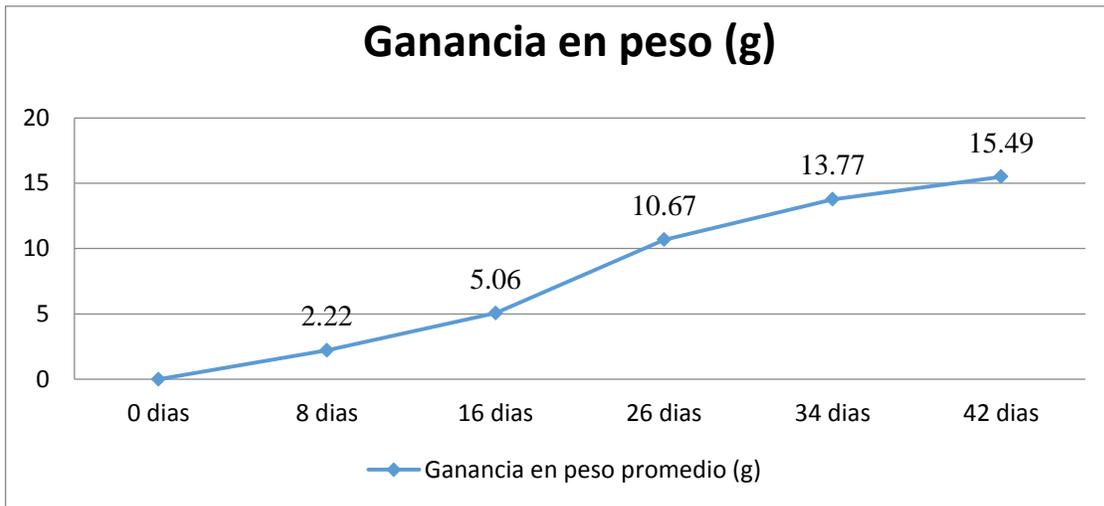


Figura 8. Ganancia en peso promedio de la tilapia gris obtenido en cada biometría

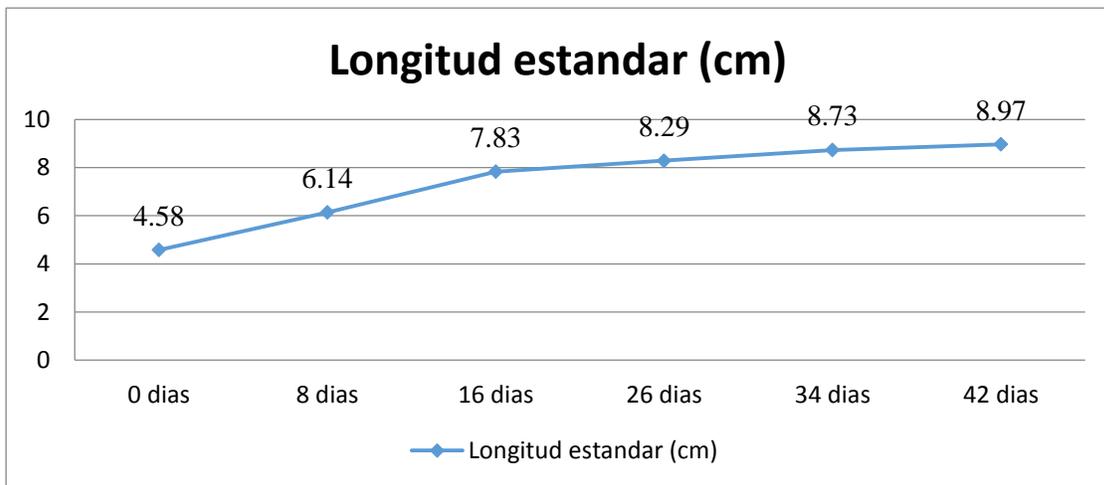


Figura 9. Longitud estándar de la tilapia gris obtenido en cada biometría

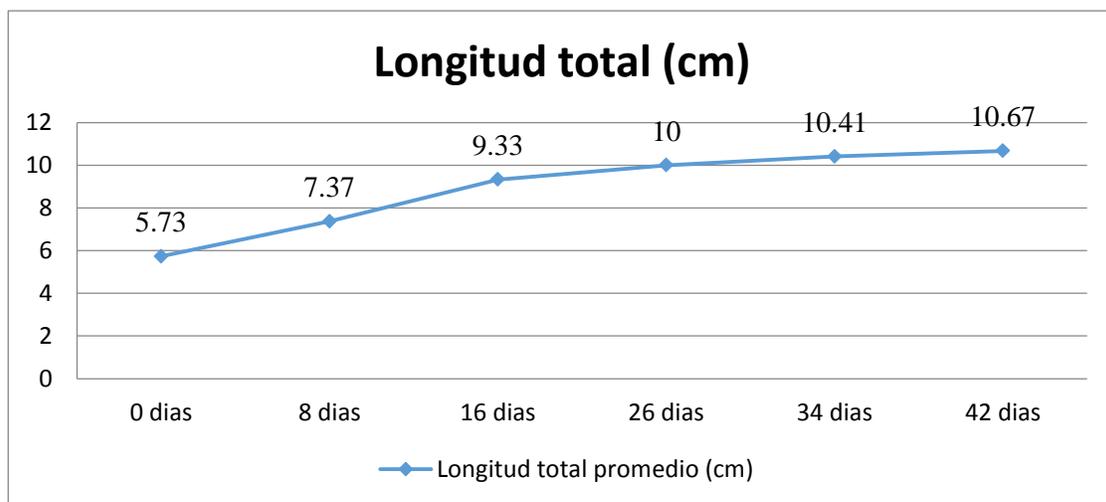


Figura 10. Longitud total de la tilapia gris obtenido en cada biometría

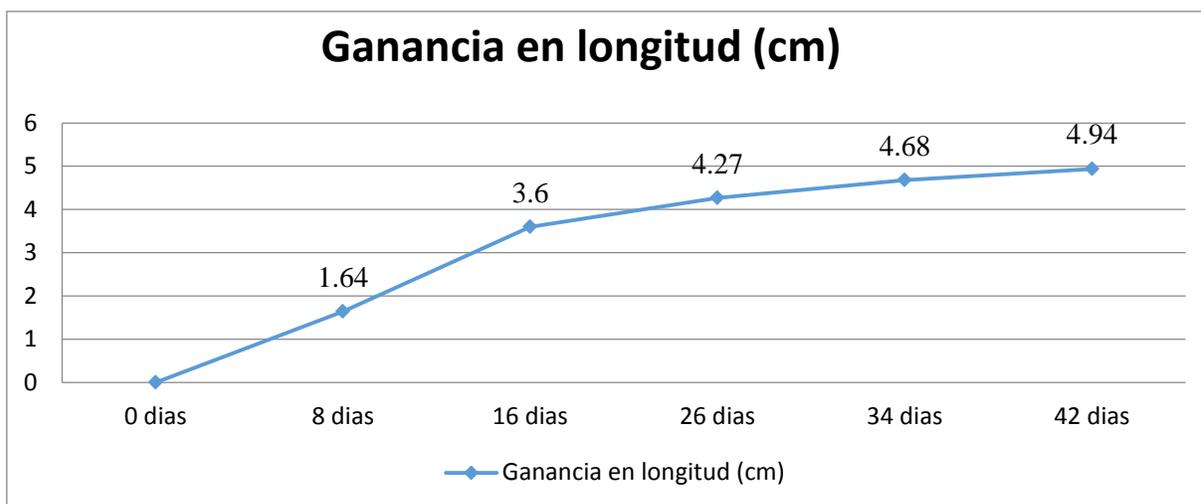


Figura 11. Ganancia en longitud total de la tilapia gris obtenido en cada biometría

Tabla 10.

Parámetros productivos de la tilapia gris "*Oreochromis niloticus*" dentro del sistema acuapónico prototipo.

PARÁMETROS	1	2	3	4	5	6
	Biometría	Biometría	Biometría	Biometría	Biometría	Biometría
Peso total (g)	219	299	401	553	675	755
Tiempo (días)	0	8	16	26	34	42
Peso ganado en el transcurso del cultivo (g)	0	80	182	334	456	536
Alimento gastado en el transcurso del cultivo (g)	0	130,2	260,4	390,6	520,8	651
Factor de conversión alimenticia (FCA) ^b	0	1,62	1,43	1,16	1,14	1,21

^b (alimento gastado) / (Peso final - peso inicial) Fuente. Elaboración propia.

Tabla 11.

Tasa de crecimiento total de la tilapia gris “Oreochromis niloticos” dentro del sistema acuapónico prototipo.

Parámetros	
Peso total inicial (g)	219
Peso total final (g)	755
Ganancia en peso total (g)	536
Tiempo evaluación (días)	42
Tasa de crecimiento absoluto ^a (g/día)	12,76

^a(Peso final - peso inicial)/(Tiempo final - tiempo inicial) Fuente: Elaboración propia.

4.3. Evaluación del crecimiento y productividad de la albahaca “*Ocimum basilicum*” dentro del sistema acuapónico prototipo

Principales parámetros indicadores que demuestran el funcionamiento viable del sistema acuapónico prototipo en cuanto al cultivo de dos corridas de albahaca.

Tabla 12.

Análisis del crecimiento de las dos corridas de albahaca dentro del sistema acuapónico prototipo

	Primera Corrida			Segunda Corrida			
	Biometría 1	Biometría 2	Biometría 3	Biometría 4	Biometría 5	Biometría 6	Biometría 7
Tiempo	0 días	8 días	16 días	18 días	26 días	34 días	42 días
Peso total (g)	54	619	1909	79	541	1453	2850
Peso promedio (g)	3	34.38	106.05	4.38	30.05	80.72	158.33
Grosor del tallo (cm)	1.14	2	2.93	1.21	1.81	2.5	3.36
Longitud de la raíz (cm)	12.17	28.92	46.55	18.22	31.76	33.77	30.94
Longitud del tallo (cm)	9.72	27.35	47.61	10.96	24.83	27.55	47.55
Número total de hojas producidas	294	764	1570	180	562	1065	1722

Parámetros físicos de la albahaca obtenidos en cada biometría a lo largo del periodo de cultivo de 42 días. Fuente: Elaboración propia.

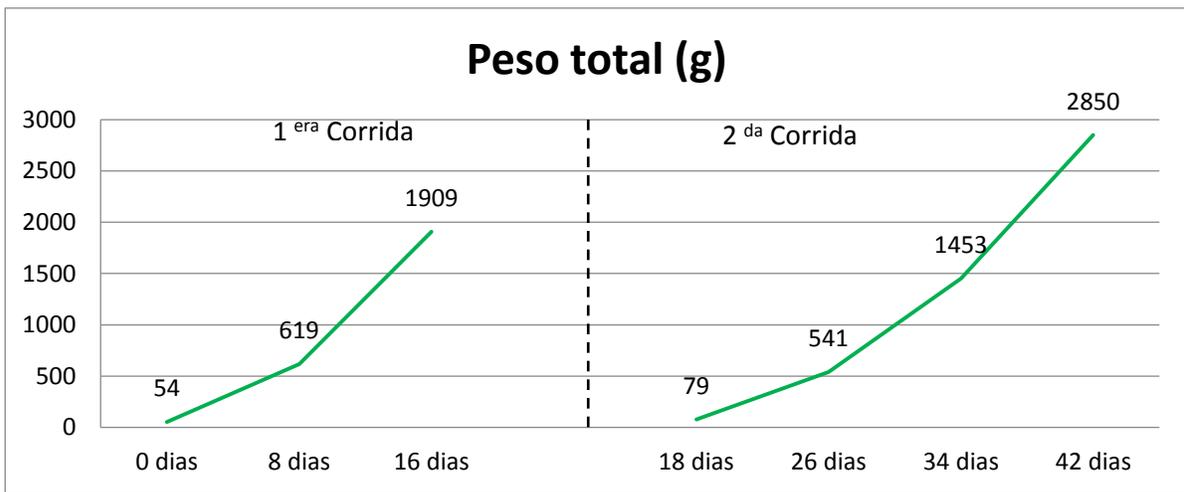


Figura 12. Peso total de la 1era y 2da corrida de albahacas en cada biometría

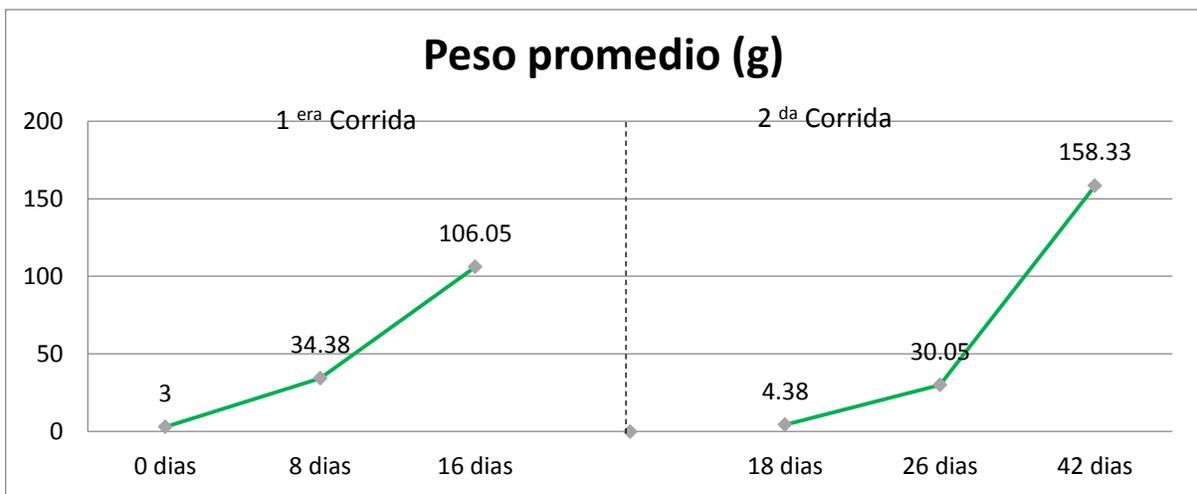


Figura 13. Peso promedio de la 1era y 2da corrida de albahacas en cada biometría

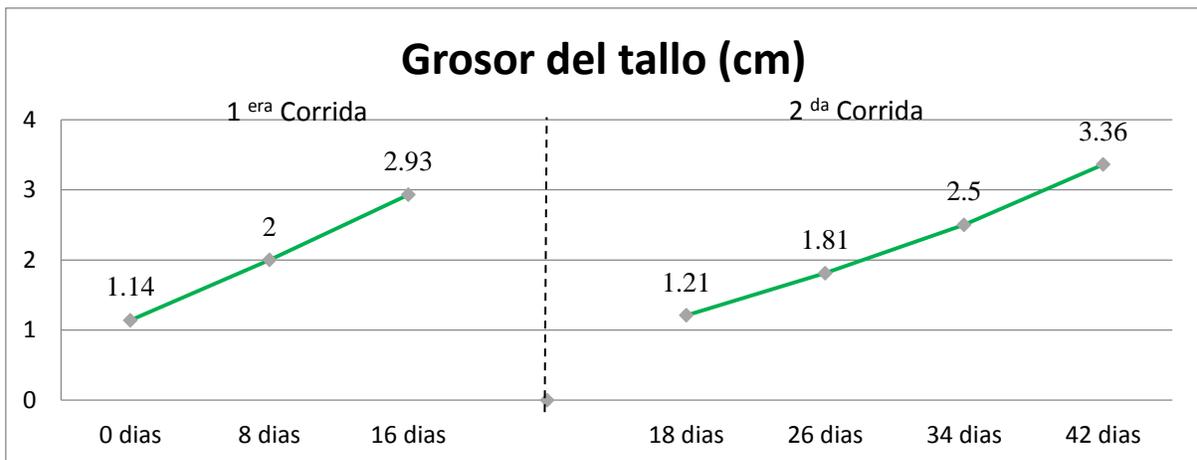


Figura 14. Grosor del tallo promedio de la 1era y 2da corrida de albahacas en cada biometría

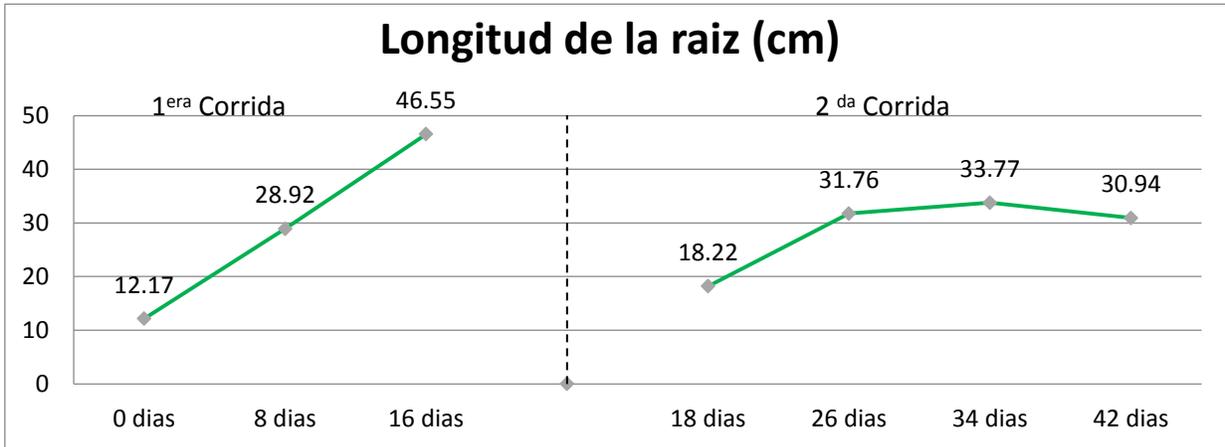


Figura 15. Longitud promedio de la raíz de la 1era y 2da corrida de albahacas en cada biometría.

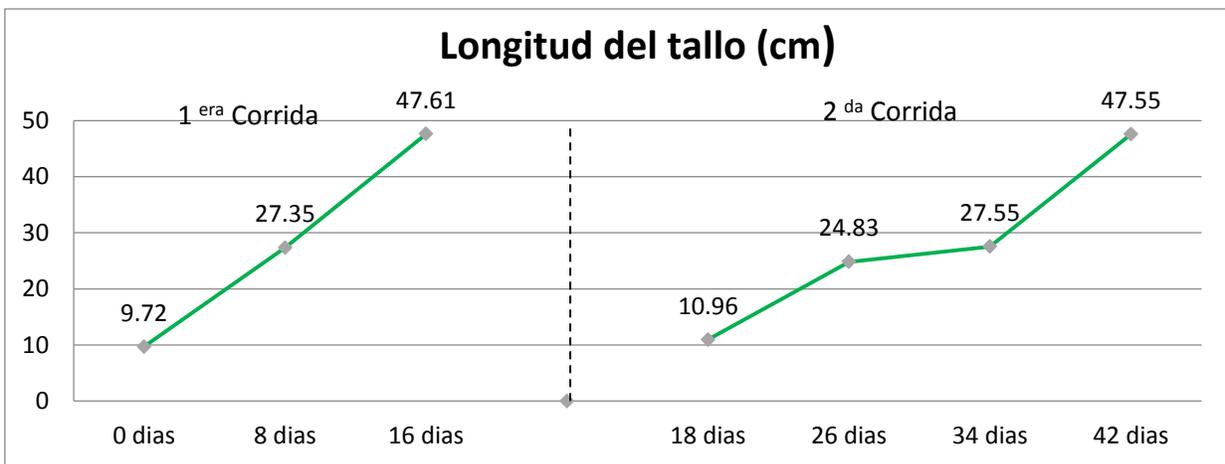


Figura 16. Longitud promedio del tallo de la 1era y 2da corrida de albahacas en cada biometría.

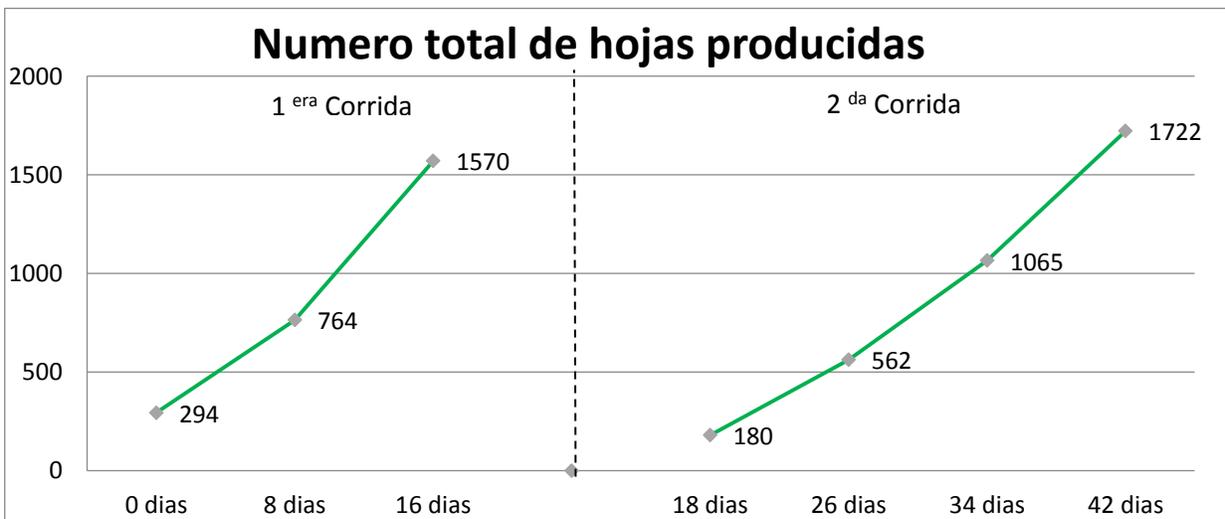


Figura 17. Total de hojas producidas de la 1era y 2da corrida de albahacas en cada biometría.

Tabla 13

Parámetros productivos y tasa de crecimiento del cultivo de albahaca “Ocimum basilicum” dentro del sistema acuapónico prototipo. 1era corrida

Parámetros de la 1 ^{era} corrida de albahacas	
Peso total inicial (g)	54.0
Peso total final (g)	1909
Ganancia en peso total (g)	1855
Ganancia en peso promedio (g)	103
Tiempo evaluación (días)	16
Tasa de crecimiento del cultivo ^b (g/día)	115.9

^b(Peso final - peso inicial)/(Tiempo final - tiempo inicial) Fuente: Elaboración propia

Tabla 14.

Parámetros productivos y tasa de crecimiento del cultivo de albahaca “Ocimum basilicum” dentro del sistema acuapónico prototipo. 2^{da} corrida.

Parámetros de la 2 ^{da} corrida de albahacas	
Peso total inicial (g)	79
Peso total final (g)	2850
Ganancia en peso total (g)	2771
Ganancia en peso promedio (g)	153.9
Tiempo evaluación (días)	24
Tasa de crecimiento del cultivo ^b (g/día)	112.16

^b(Peso final - peso inicial)/(Tiempo final - tiempo inicial) Fuente: Elaboración propia

V. Discusión de resultados

5.1. Discusión

A partir de los resultados obtenidos, aceptamos la hipótesis que establece que es factible el diseño y construcción del sistema acuapónico prototipo aplicado a tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) y albahaca (*Ocimum basilicum*) evaluando su operatividad en función al cultivo de ambas especies.

Entendiendo que “la naturaleza se encarga del resto” los sistemas acuapónicos vienen a ser los sistemas de cultivos más eficientes, óptimos y prácticos; se aplican a nivel industrial y doméstico. A pesar de sus dificultades técnicas muchos autores creen que en la actualidad somos capaces de llevar la acuaponía a escala urbana. (Roa, 2016) Esta apreciación guarda relación con el diseño del sistema acuapónico prototipo pues se llega a utilizar el espacio aéreo, construcción del sistema en vertical y escalonado, optimizando el espacio de cultivo; el agua fluye por gravedad, se expone el cultivo vegetal a más luz y mejor aireación. El sistema acuapónico prototipo fue construido a escala urbana.

La construcción de sistemas acuapónicos en zonas urbanizadas puede servir para promover en la población el uso de nuevas tecnologías, inducir al conocimiento de la hidroponía y fomentar la acuicultura. Según los resultados obtenidos por Gonzales (2017) en la encuesta que realizó según su estudio, entre alumnos universitarios de la Universidad de Sevilla, mostro que la mayoría de personas conoce “Nada” o “Poco” sobre sistemas acuapónicos. El presente diseño del sistema acuapónico prototipo puede promover y fomentar el uso de nuevas tecnologías de producción de alimentos en la población.

El crecimiento de la albahaca dentro del sistema acuapónico prototipo fue visible en pocos días obteniendo al final del cultivo una ganancia por peso promedio de 103.05 g y 153.95 g en 16

y 24 días de cultivo respectivamente, estos resultados distan de lo obtenido en la investigación de Valdez *et al.* (2018) en un sistema acuapónico a pequeña escala y con sistema NFT, la albahaca, en un periodo de cultivo de 90 días, obtuvieron como ganancia en peso promedio 37,3 g por cada planta. La longitud promedio fue de 22.4 cm; en el caso del presente estudio la longitud promedio (tallo + raíz) arroja un resultado de 94.16 cm y 78.5 cm para la primera y segunda corrida, respectivamente, al final del cultivo. Estos resultados pueden derivarse del proceso de filtración en cada sistema, donde el sistema de Valdez *et al.* (2018) cuenta con un solo filtro que hace todo el trabajo, mientras que en el sistema acuapónico prototipo existen 3 procesos de filtrado, separados uno del otro, evitando el paso de desechos a las raíces y por consiguiente una mejor absorción de nutrientes por parte de la albahaca para este caso.

En cuanto a la tilapia gris, Valdez *et al.* (2018) obtuvo un mejor desarrollo, esto puede derivar al volumen de siembra significativamente menor (entre 25 a 30 peces) en un espacio casi cuatro veces mayor (750 L) que el establecido en el sistema acuapónico prototipo.

Se evidencio una ganancia de peso y talla durante el proceso de cultivo en el sistema acuapónico prototipo por parte de la tilapia, los promedio en peso y talla concuerda con la experiencia de Hernández (2017) en donde el sistema acuapónico diseñado también fue hecho en vertical, pero a menor escala, el periodo de cultivo, y el volumen de siembra también fue similar, sin embargo, las plantas utilizadas fueron lechugas que poseen un requerimiento nutricional no igual al de la albahaca.

El desarrollo de la tilapia en el sistema acuapónico prototipo, con densidad de 36 alevinos/0.18 m³ o 200 alevinos/m³ muestra resultados en peso promedio aproximado de 22 g en un periodo de 42 días; parecido a lo obtenido en cultivos netamente acuícolas experimentales como es el caso de Baltazar *et al.* (2007) evaluando el crecimiento de la tilapia con densidades de

2 alevines /m³ obtuvo un peso promedio de 25 a 30 g entre los periodos de 34 a 45 días de cultivo, así también de acuerdo a la curva de crecimiento en peso propuesta por SIPSA (2014) se evidencia para la etapa de alevinaje (con densidades de 40 alevinos/m³) un crecimiento progresivo, tipo lineal, parecido a lo obtenido en el presente proyecto.

Cerdá *et al.* (1998) experimentaron con dietas con diferentes porcentajes de proteínas, el alimento con 40 % tuvo mejor asimilación y dio mejor resultados respecto al crecimiento, con un peso inicial a 6.6 g pasando por un periodo de cultivo de 60 días se obtuvo peces con un peso promedio de 14.69 g evidenciándose un crecimiento menor pero cercano al obtenido en el sistema acuapónico prototipo, el alimento utilizado en la investigación también conto con un porcentaje en proteína del 40 %.

En los sistemas acuapónicos las plantas actúan como un filtro (filtro químico), purifican los efluentes, ampliando la reutilización del agua y eliminando la necesidad de un filtro separado (Al-Hafedh *et al.*, 2008). Los valores de nitratos, que son los nutrientes que más absorben las plantas, se mantuvieron constantes a lo largo de la evaluación e indicaron una estable eficiencia de la nitrificación, por el contrario los niveles de amonio/amoniaco y nitritos estuvieron medianamente altos de mitad al final del periodo de cultivo, en este estudio, tras evaluar de forma empírica in situ algunos pilotos anteriores consideramos que algunas posibles causas de esto puede ser la alta concentración de peces/m³, una requerimiento de más plantas/m², una mala desnitrificación por parte de los microorganismos en los “lodos” retenidos en el decantador, pues la extracción de estos se hizo periódicamente.

Al-Hafedh *et al.* (2008) mencionan que en los sistemas acuapónicos la recirculación del agua da paso a la absorción de nutrientes por las plantas equilibrando la generación y absorción, constantes de estos compuestos nutritivos en todo el sistema. Los sistemas de recirculación de

agua deben tener recambios completos de agua mínimo de 1 a 2 renovaciones por hora. El diseño y construcción del sistema acuapónico prototipo registro una tasa de recambio de agua del 885,47 % es decir de 8 a 9 veces el volumen total de agua recirculada cada hora, este resultado sigue la tendencia de los resultados obtenidos por Trang *et al.* (2017) quienes probaron una tasa de recirculación de agua de 400% dando un excelente proceso en la recirculación de nutrientes hacia las plantas y manteniendo la calidad del agua.

VI. Conclusiones

- El diseño y construcción de un sistema acuapónico prototipo aplicado a tilapia gris y albahaca evaluando su operatividad en función al cultivo de ambas especies, es factible.
- El crecimiento en peso de la tilapia tuvo como inicial un promedio de 6.08 g transcurrido el periodo de cultivo (42 días), con una tasa de conversión alimenticia de 1.2, un volumen de carga de 36 peces/0.18 m³ o 200 peces/m³ se obtuvo un peso promedio final de 21.57 g dentro del sistema acuapónico prototipo. La productividad del cultivo en base a la tasa de crecimiento absoluto (TCA) fue de 12.76 g/día.
- El crecimiento de la albahaca en cada corrida tuvo como peso inicial promedio 3 g y 4.38 g en un periodo de cultivo de 16 y 24 días, con una concentración de 18 plantas/0.44 m² o 40 plantas/m² se obtuvo un peso promedio final de 106.05 g y 158.33 g respectivamente dentro del sistema acuapónico prototipo. La productividad del cultivo fue en base a la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) 115.9 g/día y 112.16 g/día respectivamente.
- En general se evidencia que en el sistema acuapónico prototipo los parámetros fisicoquímicos y ambientales fluctuaron y se estabilizaron al final del cultivo, no habiendo mortandad.

VII. Recomendaciones

- Se recomienda seguir con la investigación en sistemas acuapónicos con diferentes estadios de crecimiento de los peces, cultivos escalonados de las plantas, estructurando sistemas de cultivo en vertical.
- Se recomienda utilizar diferentes tipos de plantas herbáceas autóctonas de nuestro país y plantas empleadas en la gastronomía nacional como: la hierba buena, el perejil, el apio, la col, la muña, el huacatay, entre otras.
- Se recomienda analizar la preparación de alimento balanceado para cultivos acuapónicos que nutran al pez y puedan dar sustento a las plantas ya que estos no cuentan con la carga nutricional completa para cubrir todas las necesidades nutricionales de estas últimas.
- Se recomienda seguir realizando ensayos en acuaponía con respecto a los recambios de agua y caudal mínimos para distribuir los nutrientes y minimizar los gastos de consumo eléctrico en el caso de las bombas de agua, termostatos, aireadores, etc.
- Se recomienda realizar más trabajos aplicados a nuevas tecnologías y sistemas integrados de producción con la acuicultura, como la acuaponía en sus diversos diseños y escalas, los sistemas Biofloc y sistemas de recirculación de agua en general.

VIII. Referencias

- Aguilera-Morales, E., Hernandez-Sanchez, F., Mendieta-Sanchez, E., Herrera y Fuentes, C. (2012). Producción integral sustentable de alimentos. *Ra Ximhai*, 8 (3). 71-74.
- Al-Hafedh, Y. S., Alam A., and Beltagi M. S. (2008) Food Production and Water Conservation in a Recirculating Aquaponic System in Saudi Arabia at Different Ratios of Fish Feed to Plants, *Journal of the world aquaculture society*, 39(4), 511_519. Recuperado de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1749-7345.2008.00181.x>
- Baltazar, P., Aguilar, J. y Castañeda, M. (2007). Tasa de crecimiento de *Oreochromis niloticus* y *Cyprinus carpio* en condiciones de cautiverio. *Revista peruana de biología* 13(3), 267-273
- Beltrano, J. (2015) Introducción al cultivo hidropónico. En: Beltrano J.; Giménez D. (Coordinadores) *Cultivo en Hidroponía* (pág. 10) Buenos Aires – Argentina: Universidad de la Plata
- Blessin, H. (2017) Laboratory Comparator System to Compensate the Intrinsic Colour of the Water [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <https://www.jbl.de/en/blog/detail/255/laboratory-comparator-system-to-compensate-the-intrinsic-colour-of-the-water?>
- Boyd, C.E. (1979). *Water quality in warm water fish ponds*. Auburn University Agricultural Experimental Station, Auburn, US .359p.
- Buschman, A. (2001). Impacto ambiental de la acuicultura. El estado de la investigación en Chile y el mundo. *Un análisis bibliográfico de los avances y restricciones para una producción sustentable en los sistemas acuáticos*. Universidad de Los Lagos Osorno, Chile: Terram publicaciones.

Caballero, C. (2014) Asociación de *Oreochromis niloticus* y *Lactuca sativa* bajo dos sistemas acuapónicos en Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca (Informe de licenciatura).https://www.academia.edu/10436361/ASOCIACION_DE_Oreochromis_niloticus_Y_Lactuca_sativa_BAJO_DOS_SISTEMAS_ACUAPONICOS_EN_NAZARENO_XOXOCOTLAN_OAXACA.

Canalías, L. (2011) Bioasis: Sistema acuapónico para el pequeño y mediano productor nacional (Anteproyecto para optar el título de Diseñador Industrial). Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Diseño Industrial. Costa Rica

Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENACAD, 2011). *Introducción a la Acuaponía*. Recuperado de: <http://chilorg.chil.me/download-doc/86262>

Cerdá J., Pérez L., Zaragoza L., y Fernández J. (1998). Crecimiento de tilapias (*Oreochromis niloticus*, L.) con piensos extruidos de diferente nivel proteico. Archivos de zootecnia, 47(177), 12-20

Coral, D. (2015). *Diseño de un sistema acuapónico en la Unidad de Agricultura Orgánica*. (Tesis de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras.

Cáceres, D. I. (2013) *Efecto del agua residual del cultivo de Oreochromis niloticus "tilapia" sobre el crecimiento de Lactuca sativa "lechuga" en un sistema acuapónico continuo* (Tesis de grado) Universidad Nacional de Trujillo. Perú.

De las Heras, S. (2011) *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36653/9788476538937.pdf>

Diver, S. (2000) Aquaponics-Integration of Hydroponic with Aquaculture. Horticulture Systems Guide. National Center for Appropriate Technology. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas, USA. pp 37

Flores, P. (s.f.) *Manual de Crianza de tilapia*. Recuperado de <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>

Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, (2004). *Manual de cultivo de tilapia* .Recuperado de :http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/manual_tilapia.pdf

Falcón, E. (2010). Más vida en el desierto. *Revista Día Siete. Semanal* (502), pp. 40-47.

Food and Agriculture Organization (1996). *La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT")*.
Recuperado de:http://www.fao.org/tempref/gi/reserved/ftp_faorlc/old/docrep/rlc1050s.pdf

Food and Agriculture Organization (2008). *Estado Mundial de la Pesca y Acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i0250s.pdf>

Food and Agriculture Organization (2011) *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i1688s.pdf>

Food and Agriculture Organization (2014) *Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming*. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i4021e.pdf>

Food and Agriculture Organization. (2014). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Oportunidades y desafíos*. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i3720s.pdf>

Food and Agriculture Organization (2017) *Technical workshop on advancing aquaponics: an efficient use of limited resources*. . Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i7953e.pdf>

Food and Agriculture Organization (2018). *Libro de consulta sobre la agricultura climáticamente inteligente, Segunda edición*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/I7994ES/i7994es.pdf>

Food and Agriculture Organization (2019). *Sistema de información sobre alimentos y recursos fertilizantes para acuicultura*. Recuperado de <http://www.fao.org/fishery/affris/perfilesdelasespecies/niletilapia/formulacion-y-preparacion-produccion-de-alimentos/es/>

Fracchia A. G., Malpica A. D. y Ayala L.A. (2015). *El aprovechamiento de desechos del sector acuícola como área de oportunidad en México*. Recuperado de: http://congresos.cio.mx/memorias_congreso_mujer/archivos/sesion4/S4-BCA15.pdf

Fuentes, F. (2015). *Estudio de factibilidad técnico-económica de la implementación de un sistema de cultivo acuapónico de pequeña y mediana escala en la octava región*. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile.

- Galli, O. & Miguel, F. (2007) *Sistemas de Recirculación y Tratamiento de agua*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (CENADAC).
- Recuperado de https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/otros/_archivos//000003Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf
- García, M. (2010). *Estudio y análisis del pescado tilapia y propuesta gastronómica*. Universidad tecnológica equinoccial (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador.
- Garcia-Ulloa, M., Leon, C., Hernandez, F. y Chavez, R., (2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponía. *Revista de investigación y difusión científica* 9(1), 1-5.
- Gilsanz, J. C., (2007). *Hidroponía*. Recuperado de :<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/520/1/11788121007155745.pdf>
- Gonzales, A. M. (2017). *Diseño, construcción y análisis de funcionamiento inicial de un sistema de acuaponía que combina un estanque ornamental con un jardín vertical exterior* (Tesis de pregrado) Universidad de Sevilla., Sevilla-España.
- Gordillo, S. (2017). *Residuo sólido acuapónico, como solución nutritiva hidropónica: una alternativa de producción sustentable*. (Tesis de maestría). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Chiapas, México.
- Goddek, S. Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K., Jijakli, M., & Thorarinsdottir, R. (2015) Challenges of sustainable and commercial aquaponics, *Sustainability*, 7(4), 199–224, Doi: 10.3390/su7044199

- Hernández, F. (2017). *Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación en el cultivo de Tilapia Roja (Oreochromis Mossambicus) y Lechuga Crespa (Lactuca Sativa)*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Huerta, M. A. (2017). *Selección y dimensionamiento de las unidades de tratamiento de agua para un sistema de recirculación en el liceo técnico profesional Dr. Rigoberto Iglesias Bastías de Lebu* (Tesis de grado) http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-2500/UCC2844_01.pdf
- Ingle de la Mora, G., Villareal, E., Arredondo, J., Ponce, J. y Barriga I. (2003) *Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura, sometido a diferentes cargas de biomasa de peces. Hidrobiología 2003. 13(4), 247-253* Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v13n4/v13n4a1.pdf>
- Iturbide, K. (2008). *Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación*. (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala. [En línea]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0157_MT.pdf
- Kanchi, D. (2013). *Implementación de un sistema acuapónico urbano bajo invernadero en la ciudad de Xalapa, Veracruz*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Veracruzana. Xalapa de Enríquez, Veracruz, México.
- Kubitza, F. (2006) *Sistemas de Recirculación Cerrada*. (s.n). Recuperado de www.minagri.gpb.ar/site/pesca/acuicultura/01=cultivos/03-otros_sistemas/archivos/000004/Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20cerrada.pdf

- Lennard, W. y Leonard B. (2006) A comparison of three different hydroponic sub systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system. *Aquaculture international*. 14: 539-550.
- Lewis, W. M., Yopp, J. H., Schramm, H. L. & Brandenburg, A. M. (1978) Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. *Transactions of the American Fisheries Society*. 107(1):92–99 Doi: 10.1577/1548-8659(1978)107<92::CO;2
- Martínez, R. (2013) La Acuaponía como alternativa de producción agropecuaria sostenible ¿Una posibilidad para tener en casa? *Revista de divulgación científica de nutrición ambiental y seguridad alimentaria*, 2(5), 16-23.
- Ministerio de la producción (PRODUCE, 2016) Norma Acuícola. Ley general de acuicultura, reglamento y normas complementaria. Decreto Legislativo N° 1195 D.S. N° 003-2016-PRODUCE. Lima- Perú: PRODUCE.
- Meyer, D. (2004) *Introducción a la acuicultura*. Recuperado de:
https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2490/1/208986_0363%20-%20Copy.pdf
- Mejía, C. (2014). Dinámica del nitrógeno en biorreactores de un sistema de producción de alevinos machos de tilapia (*Oreochromis niloticus*) con tecnología biofloc. Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1917/M12.M43T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Morales, D. (2003). *Biología, Cultivo y Comercialización de la Tilapia*. México D.F.: AGT Editor.
- Moreno, E. W. (2014) *Sistema acuapónico del crecimiento de Lactuca sativa “lechuga” con efluentes de cultivo de tilapia* (Tesis de grado) Universidad Nacional de Trujillo. Perú.

- Muñoz, G. (2012). Sistemas de recirculación acuapónicos. *Informador Técnico*, 76(123), pp. 123-129. doi: <https://doi.org/10.23850/22565035.36>
- Muños, M. (2012) *Sistemas de recirculación acuapónico*. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Sao Paulo, Brasil: Centro de Acuicultura de la UNESP.
- Nelson, R. (7 de septiembre de 2019). Aquaponic Food Production: growing fish and vegetables for food and profit: Nelson and Pade [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://aquaponics.com>
- Oca J. y Masalo I. (2009) *Diseño de tanques en acuicultura intensiva*, *IP.acuicultura*.1415. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/114534/ingrid.pdf;jsessionid=4B4DABDC297F9CB307611745566F450D?sequence=1>
- Ontiveros, L. (2013). *Sistema de producción acuapónico de traspatio*. (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de Querétaro. México.
- Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (2019) *RESOLUCIÓN DE PRESIDENCIA EJECUTIVA N° 0552019 SANIPES*. Recuperado de: https://www.sanipes.gob.pe/documentos_sanipes/rde/2019/573c7fc8b38366e69cd636f27a820c0b.pdf
- Pandales, L. A. y De Jesús Santos H. (2017) *Evaluación del desempeño de un sistema acuapónico con tres variedades de albahaca (Ocimum basilicum L.) bajo condiciones de invernadero como una alternativa de producción limpia*. (Tesis de grado) Universidad Militar Nueva Granada. Colombia.

- Pilco, J. (2015). *Comportamiento productivo de dos densidades de siembra de Piaractus brachyomus "Paco" en un sistema Acuapónico supeintensivo, en el IESPPB.* (Tesis de pregrado) .Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia, Yarinacocha, Perú.
- Rakocy, J. E. (julio 31 al 5 de Agosto de 1994) Aquaponics: the integration of fish and vegetable culture in recirculating systems. En K. Garcia (Presidencia) *Caribbean Economic Stabilization Through Agricultural Development Strategies.* Simposio llevado a cabo en el Congreso en el XXX Caribbean Foods Crops Society., Isabela, Puerto Rico.
- Rakocy, J. E., Masser M.P. & Losordo T.M. (2006) Recirculating Aquaculture tank Production Systems: Aquacuaponics-Integrating fish and plant culture. *SRAC Publication.* No. 454, 1-16 pp.
- Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez P. y Giraldo H. H. (2008) La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 4(1), 32-51.
- Regalado, A. (2013). *Diseño y evaluación de un sistema acuapónico para la producción de animales acuáticos y plantas para consumo humano.* (Tesis de Maestría). Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México.
- Roa, A. (2016). *Diseño de un nuevo modelo sostenible para el área de Corabastos y el humedal la Vaca* (Tesis de pregrado) Pontificia Universidad Javeriana, Bogota-Colombia.
- Rossta, H. R. y Hamidpour, M. (2011). Effects of foliar application of some macro and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae.* 129(1): 392-402.

Saavedra, M. (2006). *Manejo de cultivo de tilapia*. Recuperado de:

<https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>

Sánchez, J. A y López, A. (2008). Caracterización del flujo de masa de un sistema cerrado para el aprovechamiento de sus efluentes en hidroponía (Tesis de maestría) Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. México.

Sanz, F. (2009) *La nutrición y alimentación en acuicultura. Volumen I* Recuperado de:

<https://books.google.com.pe/books?id=NEqkj2By-kEC&pg=PA49&lpg=PA49&dq=fracci%C3%B3n+del+alimento+es+aprovechado+por+los+peces&source=bl&ots=TMebINaOkf&sig=ACfU3U0OSGZOhq-hMjRyBq6z3gBgpJ12g&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwiT4dOxg531AhVGJrkGHcRXcY4ChDoATACegQICRAB#v=onepage&q=fracci%C3%B3n%20del%20alimento%20es%20aprovechado%20por%20los%20peces&f=false>

Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA), 2014. *El cultivo de tilapia roja (Oreochromis sp) en estanques de tierra, fuente de proteína animal de excelente calidad*. Recuperado de

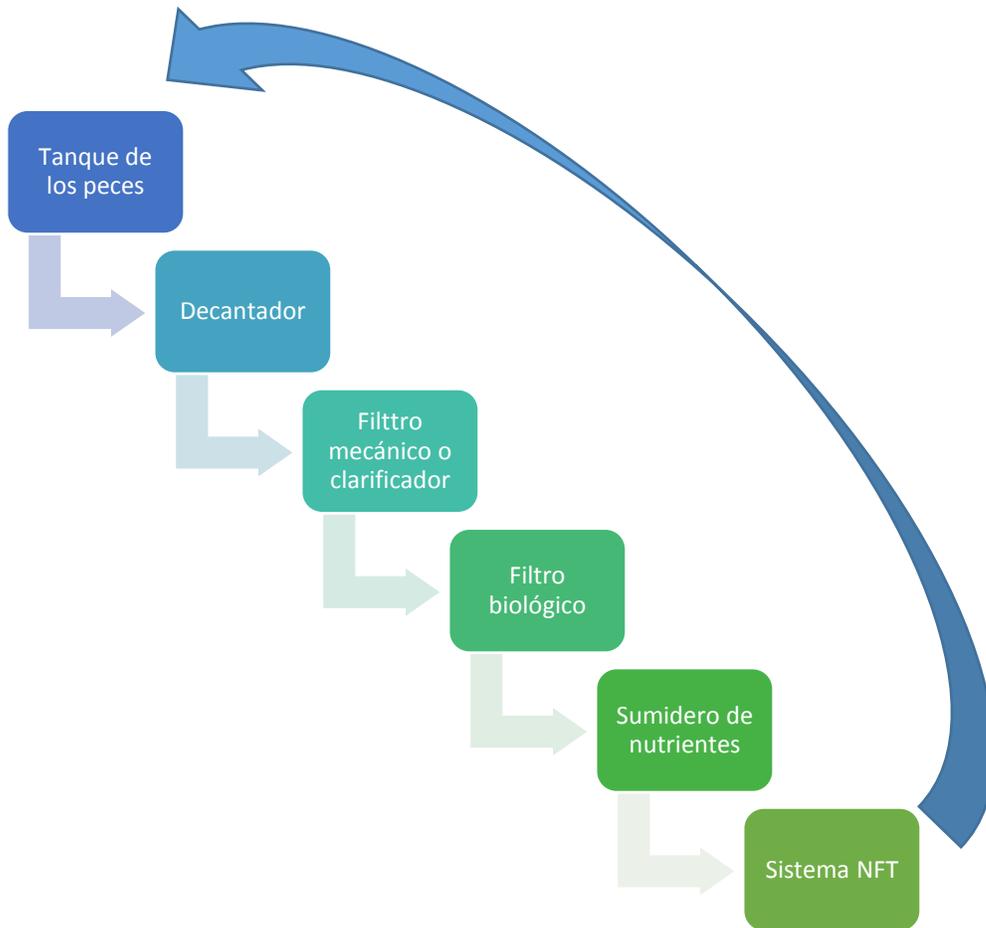
<https://es.scribd.com/document/260441372/El-Cultivo-de-La-Tilapia-Roja-en-Estanques-de-Tierra-Fuente-de-Proteina-Animal-de-Excelente-Calidad>

Segura, S. H. y Balois, R. J. (2017) *Producción acuaponica de “Lactuca sativa” “lechuga” utilizando efluentes del cultivo de “Oreochromis niloticus” Tilapia gris” (línea chitralada), en laboratorio*. (Tesis de grado) Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote, Perú.

- Trang, N. T. D., Konnerup, D., Brix, H. (2017) Effects of recirculation rates on water quality and *Oreochromis niloticus* growth in aquaponic systems *Aquacultural Engineering*, 78 parte B, 95-104. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.05.002>
- Timmons M. B & Greiner A. D. (1998) Evaluation of the nitrification rates of microbead and trickling filters in an intensive recirculating tilapia production facility. *Aquacultural Engineering*, 18(3), 189-200
- Valdez, J.C., Guerra, D., Díaz, M. y López J. (2018). *Productividad de ocho especies de plantas culinarias populares en Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia nilotica* (Informe de investigación) Universidad de San Carlos de Guatemala., Guatemala.
- Vargas A. (2017). *Uso de un Sistema de Recirculación Acuapónico para Conservar la Calidad del Agua en los Estanques de Producción de Tilapia (*Oreochromis niloticus*) de la empresa Lima Vías Express, Chorrillos-Lima.* (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.
- Vega G., Escandón C. M., Soto R., y Mendoza A. (s.f.). *Instructivo técnico del cultivo de la albahaca* Recuperado de: <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5178/albahaca.pdf>
- Watanabe W. O., Losordo T. L., Fitzsimmons K. & Hanley F. (2010) Tilapia Production Systems in the Americas: Technological Advances, Trends, and Challenges. *Reviews in Fisheries Science* 10(3-4) 465-498. doi: 10.1080/20026491051758

IX. Anexos

Anexo 1.- Diagrama del flujo de agua dentro del sistema acuapónico prototipo



Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Resultados del cultivo piloto / Tilapia gris

Tabla 1.

Análisis del crecimiento de la tilapia gris dentro del sistema acuapónico prototipo.

	Biometría 1	Biometría 2	Biometría 3	Biometría 4
Tiempo	0 días	14 días	28 días	42 días
Peso total del cultivo (g)	134	192	284	385
Peso promedio (g)	3.82	5.33	7.88	10.69
Ganancia en peso del cultivo (g)	0	58	150	251
Ganancia en peso (g)	0	1.51	4.06	6.87
Longitud estándar (cm)	5.05	6.67	7.15	7.96
Longitud total (cm)	6.07	8.04	8.67	9.51

Parámetros físicos de la tilapia gris obtenidos en cada biometría a lo largo del periodo de cultivo piloto de 42 días.

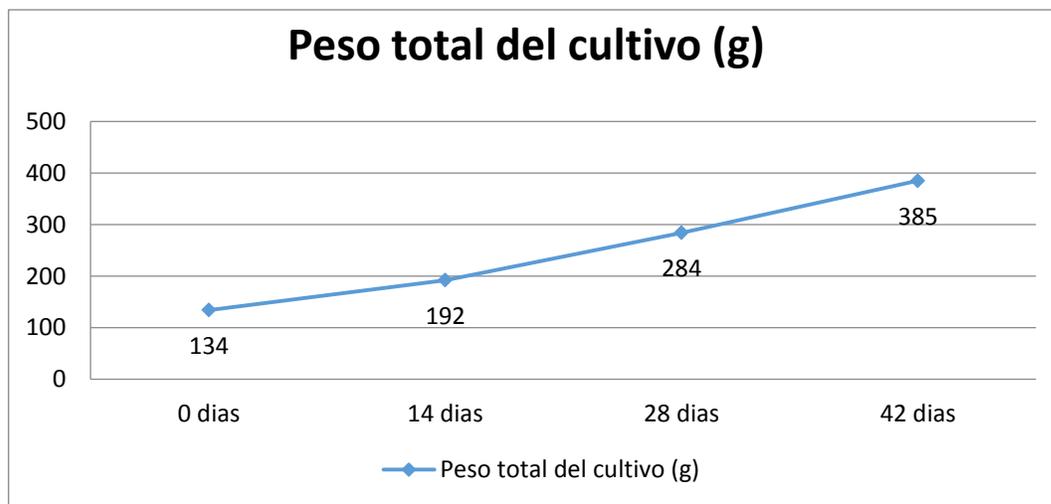


Figura 1. Peso total del cultivo de tilapia gris obtenido en cada biometría

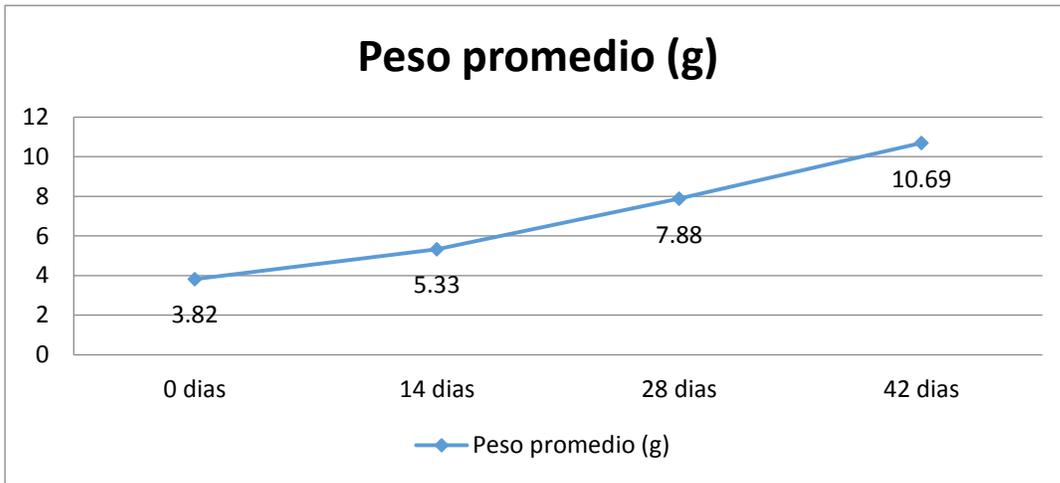


Figura 2. Peso de la tilapia gris obtenido en cada biometría

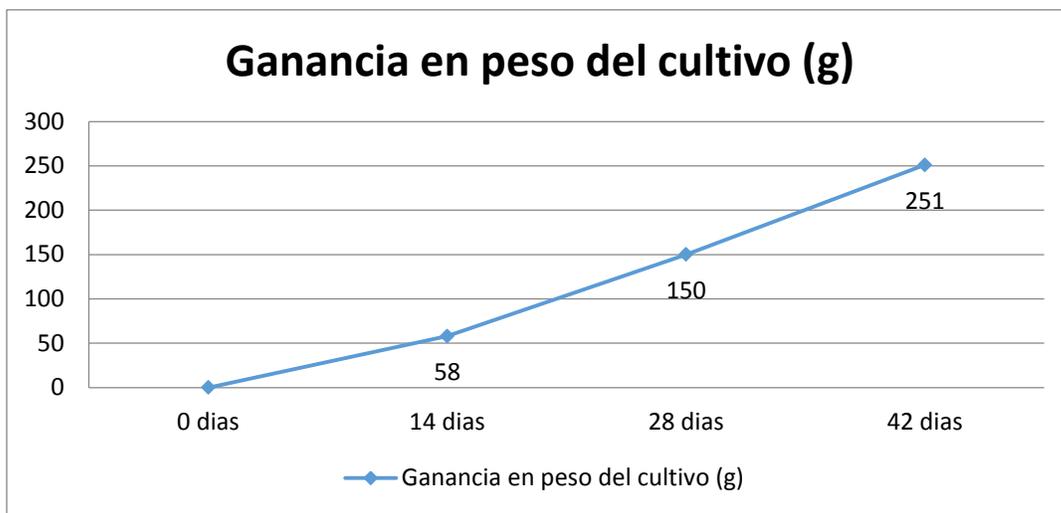


Figura 3. Ganancia en peso del cultivo de tilapia gris obtenido en cada biometría.

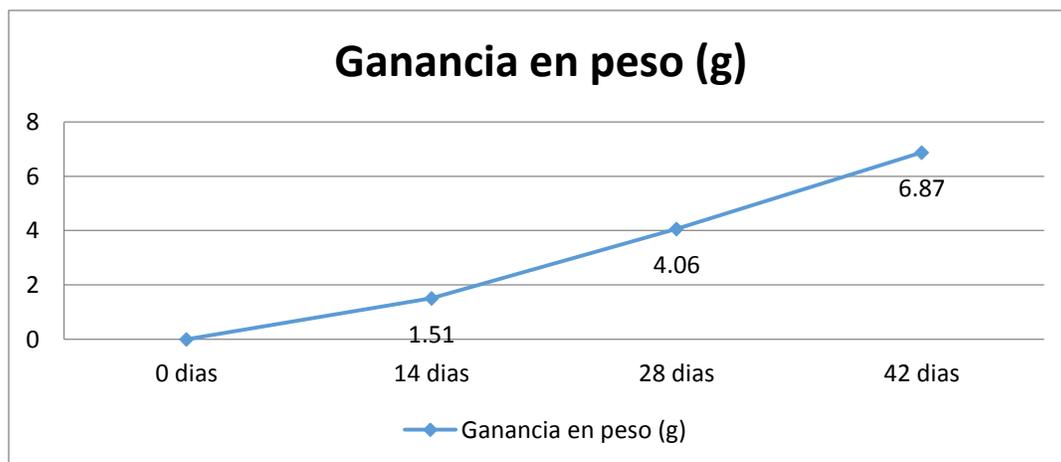


Figura 4. Ganancia en peso de la tilapia gris obtenido en cada biometría.

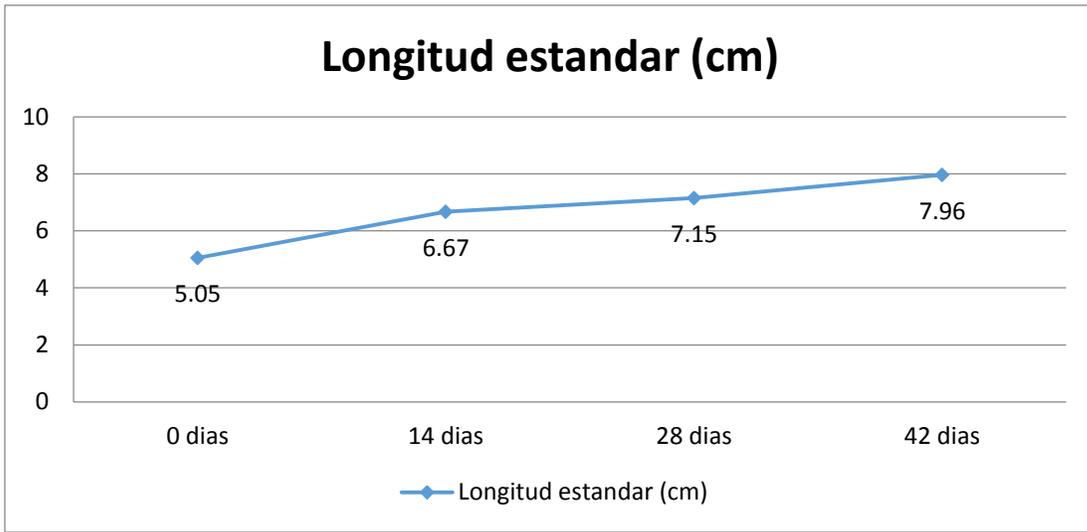


Figura 5. Longitud estándar (boca a pedúnculo) de la tilapia gris obtenido en cada biometría.

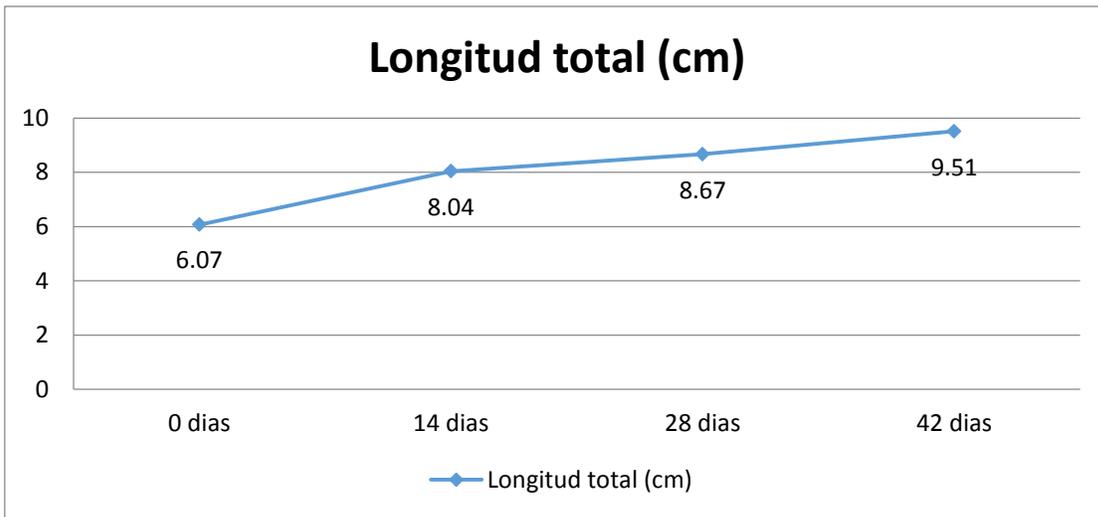


Figura 6. Longitud total (boca a cola) de la tilapia gris obtenido en cada biometría.

Anexo 3. Resultados del cultivo piloto / albahaca

Tabla 2.

Análisis del crecimiento de la albahaca dentro del sistema acuapónico prototipo

	Biometría 1	Biometría 2	Biometría 3	Biometría 4
Tiempo	0 días	14 días	28 días	42 días
Peso total del cultivo (g)	11	155	780	2208
Peso promedio (g)	1.22	17.22	86.66	245.33
Longitud del tallo (cm)	7.33	20.55	37.77	56.66
Longitud de la raíz (cm)	12.25	19.77	31.77	34.22
Número total de hojas producidas	54	148	488	1298

Parámetros físicos de la albahaca obtenidos en cada biometría a lo largo del periodo de cultivo piloto de 42 días. Fuente: Elaboración propia

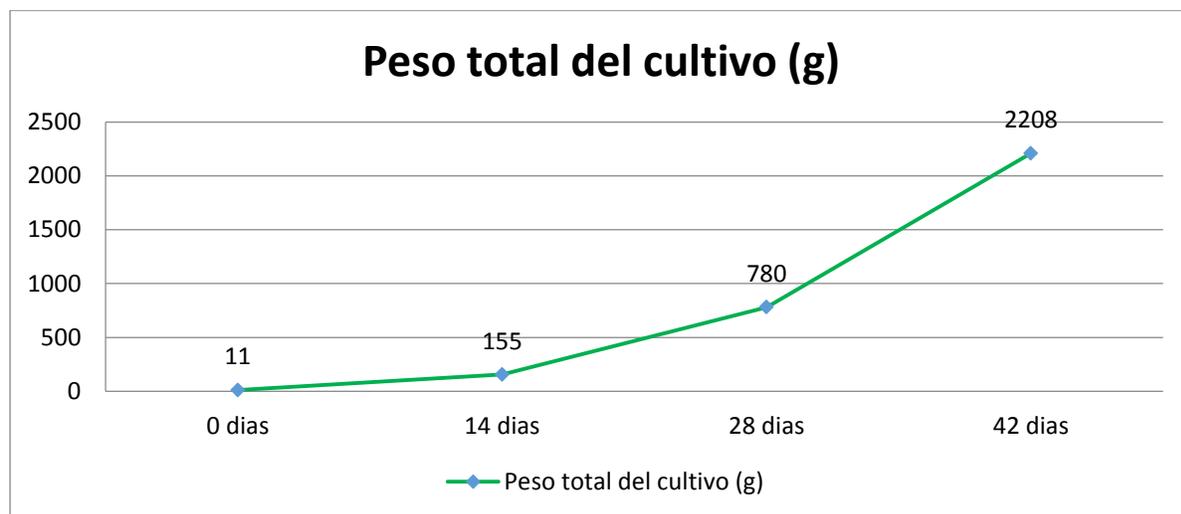


Figura 6. Peso total del cultivo de albahaca en cada biometría

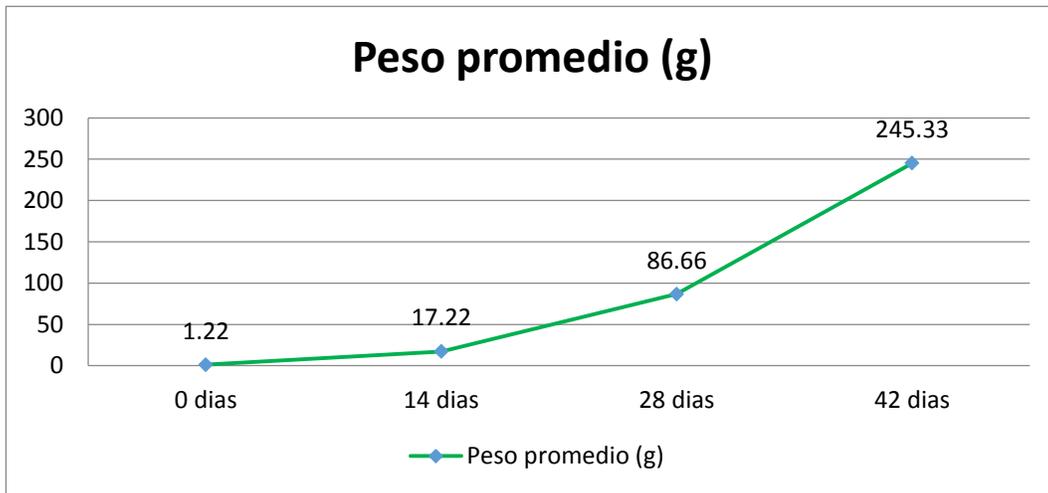


Figura 7. Peso promedio de la albahaca en cada biometría

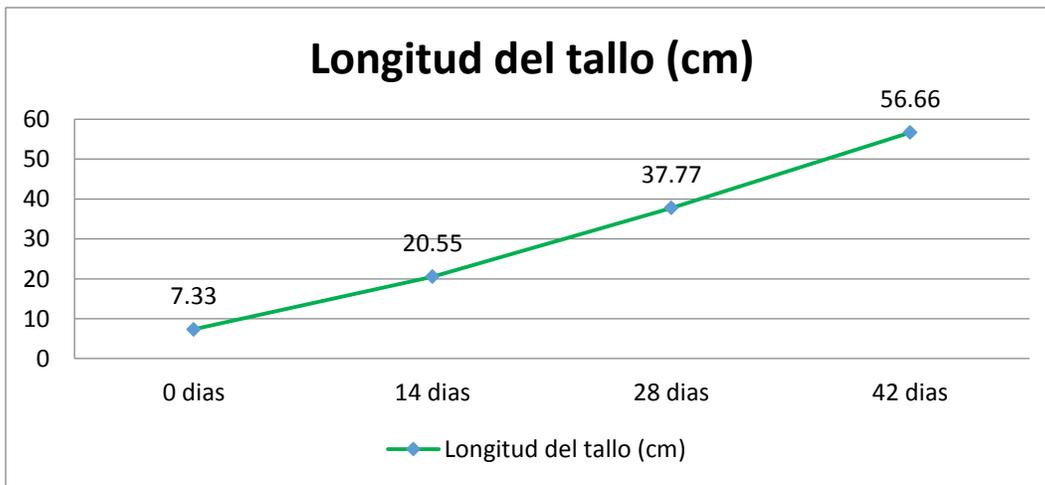


Figura 8. Longitud promedio del tallo de la albahaca en cada biometría

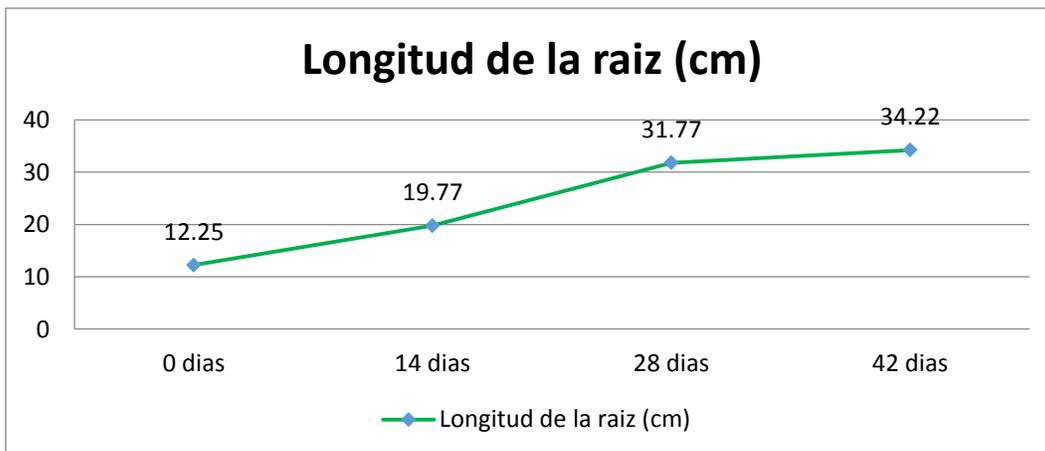


Figura 9. Longitud promedio de la raíz de la albahaca en cada biometría

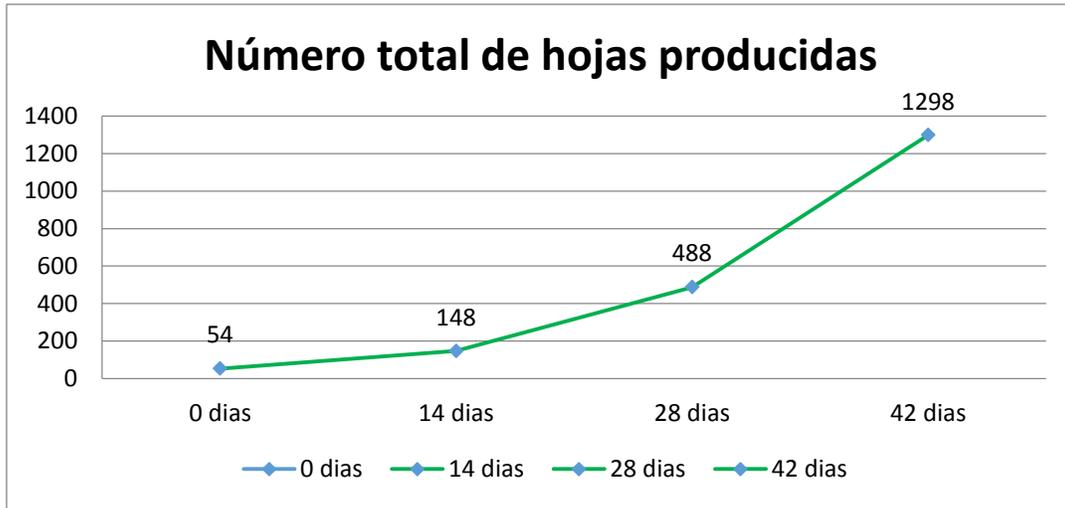


Figura 10. Número total de hojas producidas del cultivo la albahaca en cada biometría

Anexo 4.- Construcción del semi-invernadero



Anexo 5. Construcción del 1^{er} prototipo



Anexo 6. Filtro mecánico, biológico y sumidero del 1er prototipo



Anexo 7.- Construcción del 2^{do} prototipo



Anexo 8. Plantas con déficit de nutrientes y raíces tupidas / 2do prototipo



Anexo 9. Construcción del 3er prototipo, sistema acuapónico final.



Anexo 10. Decantador



Anexo 11. Filtro mecánico



Anexo 12. Filtro biológico



Anexo 13. Sumidero de nutrientes y bomba sumergible



Anexo 14. Siembra de la albahaca y acondicionamiento para la obtención del almácigo



Anexo 15. Selección, traslado, recepción y acondicionamiento de los alevines de tilapia



Anexo 16. Traslado de las plántulas de albahaca al sistema NFT



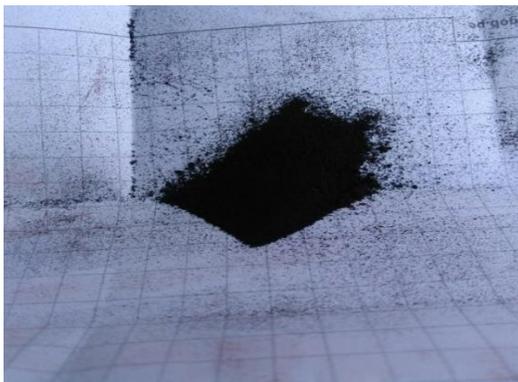
Anexo 17. Plantas del cultivo piloto con deficiencia o falta de hierro, suelen mostrar un amarillo en las hojas, más conocido como clorosis férrica



Anexo 18. Retiro de las plantas mal nutridas y acondicionamiento de las plantas más aptas



Anexo 19. Control de la clorosis férrica agregando al sistema 2mg/L de Quelatos de hierro por cada litro de agua, dentro del sistema, en dosis diluidas



Anexo 20. Evaluación y control del cultivo piloto



Anexo 21. Recuperación de las plantas y estabilización del cultivo piloto



Anexo 22. Cultivo experimental / 1^{era} corrida de albahacas



Anexo 23. Cultivo experimental / 2^{da} corrida de albahacas



Anexo 24. Parámetros físico-químicos y biometría



Anexo 25. Comparativa entre sistemas: acuaponía vs hidroponía / acuaponía vs acuicultura



Anexo 26. Sistema acuapónico prototipo, final del cultivo experimental

