

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



Evaluación de un modelo de Acuaponía en la producción de biomasa de tilapia
(*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en El Salvador.

Por:

Br. Silvia Vanessa Ascencio Quintanilla

Br. Gerardo Ernesto Del Valle Campos

Br. Gabriela Amairany Velásquez Alfaro

Ciudad Universitaria, enero de 2019

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



Evaluación de un modelo de Acuaponía en la producción de biomasa de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en El Salvador.

Por:

Br. Silvia Vanessa Ascencio Quintanilla

Br. Gerardo Ernesto Del Valle Campos

Br. Gabriela Amairany Velásquez Alfaro

Ciudad Universitaria, enero de 2019

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL**



Evaluación de un modelo de Acuaponía en la producción de biomasa de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en El Salvador.

Por:

Br. Silvia Vanessa Ascencio Quintanilla
Br. Gerardo Ernesto Del Valle Campos
Br. Gabriela Amairany Velásquez Alfaro

Requisito para optar al título de:

Ingeniero(a) Agroindustrial

Ciudad Universitaria, enero de 2019

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Lic. M. Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

Lic. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

Ing. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO:

Ing. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL:

Ing. y Lic. EDGAR MARROQUÍN MENA

DOCENTES DIRECTORES:

Ing. M. Sc. EFRAÍN ANTONIO RODRÍGUEZ URRUTIA

Ing. ALVARO CESAR VANEGAS MATHEU

Lic. SAÚL PATRICIO PACHECO REYES

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

Ing. RAFAEL ANTONIO ESPINO BARAHONA

Resumen

La investigación se realizó con el propósito de evaluar tres densidades de siembra de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un diseño acuapónico comparando los rendimientos de biomasa animal y vegetal, en la Estación Acuícola del Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA), del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), ubicada en el municipio de Santa Cruz Porrillo, departamento de San Vicente, El Salvador, desde julio de 2017 a enero de 2018.

Se diseñó un sistema acuapónico, el cual contaba con un tanque para el cultivo de tilapia de 0.96 m³, dos filtros mecánicos, un filtro biológico, una cama para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) de 4 m² bajo la modalidad de raíz flotante y un tanque al final del sistema de 25 galones (94.63 litros), con una bomba de recirculación que lleva el agua al inicio del sistema siendo este el tanque de peces.

Se evaluó la producción de biomasa de tilapia (g/m³) y se midieron las tallas de éstas (cm/unidad) en tres densidades de siembra de tilapia de 50, 75 y 100 tilapias por m³ de agua y la biomasa vegetal (g/m²) de lechuga acuapónica variedad Longifolia.

Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar, con tres bloques para cada tratamiento, el nivel de significancia fue del 5% por ser una investigación de campo.

En los resultados de la biomasa animal el tratamiento con más ganancia de peso fue el T₁ (50 peces/m³), con un peso promedio de 76.1 g, obteniendo el mejor peso en el bloque III con 90.7 g; y la mayor ganancia de biomasa vegetal se tuvo en el tratamiento T₁, con un peso promedio de 131.8 g, obteniendo el mejor peso en el bloque I con 142.8 g.

El análisis de datos se realizó con el software estadístico INFOSTAT 9.0, además se realizó un cuadro de costos de inversión y operación donde el tratamiento con menor costo fue el T₁ con un valor de \$403.96.

Palabras claves: Acuaponía, acuicultura, hidroponía, tilapia, *Oreochromis niloticus*, lechuga, *Lactuca sativa*, biomasa, recirculación, agua.

Abstract

The research was carried out with the purpose of evaluating three stocking densities of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in an aquaponic design comparing the yields of animal and vegetable biomass, in the Aquaculture Station of the Fisheries and Aquaculture Development Center (CENDEPESCA), of the Ministry of Agriculture and Livestock (MAG), located in the municipality of Santa Cruz Porrillo, department of San Vicente, El Salvador, from July 2017 to January 2018.

An aquaponic system was designed, which had a tank for the culture of tilapia of 0.96 m³, two mechanical filters, a biological filter, a bed for the cultivation of lettuce (*Lactuca sativa*) of 4 m² under the modality of floating root and a tank at the end of the system of 25 gallons (94.63 liters), with a recirculation pump that takes the water to the beginning of the system being this the fish tank.

The production of tilapia biomass (g/m³) was evaluated and their sizes were measured (cm/unit) at three tilapia stocking densities of 50, 75 and 100 tilapias per m³ of water and plant biomass (g/m²) of Longifolia variety aquaponic lettuce.

A Design of Complete Blocks at Random was used, with three blocks for each treatment, the level of significance was 5% for being a field investigation.

In the results of the animal biomass, the treatment with more weight gain was T₁ (50 fish/m³), with an average weight of 76.1 g, obtaining the best weight in block III with 90.7 g; and the highest gain of plant biomass was in the T₁ treatment, with an average weight of 131.8 g, obtaining the best weight in block I with 142.8 g.

The data analysis was performed with the statistical software INFOSTAT 9.0, in addition a table of investment and operation costs was made where the treatment with the lowest cost was T₁ with a value of \$ 403.96.

Keywords: Aquaponics, aquaculture, hydroponics, tilapia, *Oreochromis niloticus*, lettuce, *Lactuca sativa*, biomass, recirculation, water.

Agradecimientos

A DIOS.

Por darme el soplo de vida, cuidarme en mis caminos, regalarme sabiduría y entendimiento.

A mis padres y hermano.

Marta Silvia Quintanilla de Ascencio, Nelson Amilcar Ascencio Alfaro y Jeffry Isaac Ascencio Quintanilla, por apoyarme emocional y económicamente en la finalización de esta etapa de mi vida. ¡Los amo!

A mi familia materna y paterna.

Quiero decirles a mis tíos y tías y a mis primos y primas que todo el esfuerzo esta expresado en este resultado y es de cada uno de ustedes. ¡Gracias familia Hernández y Ascencio!

A mis asesores técnicos.

Ing. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia e Ing. Álvaro Cesar Vanegas Matheu por brindarme todos sus conocimientos.

A mis compañeros de tesis.

Ing. Gerardo Del Valle e Ing. Gabriela Alfaro porque cada risa y aventura vivida para la elaboración de esta investigación está en nuestros corazones y mentes.

Silvia Vanessa Ascencio Quintanilla

Agradecimientos

A DIOS.

Por ser la fortaleza espiritual en esta vida llena de pruebas y adversidades.

A mi madre y abuela.

Rubelia Alfaro y Paula Morales por su apoyo incondicional, confianza, amor y fe sin límites. No hay palabras para expresar todo el amor y gratitud que siento hacia ustedes y el sacrificio que han sabido realizar para verme culminar mi carrera profesional.

A Salvador Barraza.

El tener un padre que se enorgullece del camino que he decidido tomar ha sido el motor que me ha hecho llegar a este punto de mi carrera profesional.

A la familia Escoto Morales.

Por la guía y el apoyo que me han brindado desde el día uno de esta travesía. Su ayuda y ejemplo ha sido la clave que me ha hecho superar este reto con éxito.

A CENDEPESCA.

Por el apoyo y nuestro asesor Cesar Vanegas Matheu. De igual manera al coordinador de la estación acuícola de Santa Cruz Porrillo Ing. Armando Romero y todo el personal involucrado en la realización del proyecto.

A la Universidad de El Salvador.

A todos aquellos catedráticos que día a día adquieren el compromiso de formar nuevos profesionales en el área de las ciencias agronómicas.

Gabriela Amairany Velásquez Alfaro

Agradecimientos

A DIOS.

Por permitirme culminar con éxito la carrera y ser mi guía en la vida, dándome la sabiduría para avanzar siguiendo sus pasos.

A mi familia.

Siendo mi madre, mi abuela y mi hermana los pilares de esta, agradezco en general a todos los miembros por el apoyo emocional y físico que me brindaron.

A CENDEPESCA y a la Facultad de Ciencias Agronómicas.

Por el apoyo incondicional de la institución para la realización de este proyecto. Por ser mi casa de estudio durante todos estos años y brindarme docentes que proporcionaron sus conocimientos para contribuir a mi formación profesional.

A mis asesores.

Al Ing. Cesar Vanegas y el Ing. Efraín Rodríguez Urrutia por su apoyo, sus consejos, su paciencia y su asesoría respecto al tema evaluado en esta investigación.

A mis amigos.

Por sus palabras de ánimo y su comprensión en los momentos de dificultad.

A Gabriela y Vanessa.

Por ser excelentes compañeras y amigas de tesis y formar parte fundamental en la elaboración del proyecto, aportando todas sus habilidades físicas e intelectuales en las diferentes etapas de este.

Gerardo Ernesto Del Valle Campos

Índice

Página

Resumen	iv
Abstract	v
Agradecimientos.....	vi
Índice.....	ix
Índice de Cuadros	xiii
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Anexos.....	xvii
1. Introducción	1
2. Revisión Bibliográfica.....	3
2.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	3
2.2. La acuaponía y su relación con los ODS.....	4
2.3. Desarrollo rural y local.....	4
2.4. Usos del agua en el mundo y en El Salvador	5
2.5. Calidad del agua en la producción acuapónica	6
2.5.1. Parámetros de calidad del agua en el sistema acuapónico	6
2.6. Crianza de tilapia.....	8
2.6.1. Morfología y clasificación taxonómica de la tilapia	9
2.6.2. Selección de sitios productivos para tilapia.....	10
2.6.3. Infraestructura para crianza de tilapia	10
2.6.4 Técnicas de manejo de los estanques.....	10
2.6.5. Densidades de siembra.....	11
2.6.6. Calidad del alimento	11

2.6.7.	Alimentación.....	11
2.6.8.	Cosecha de tilapia.....	12
2.7.	Cultivo de lechuga.....	13
2.7.1.	Variedades de lechuga.....	13
2.7.2.	Factores para el desarrollo de la lechuga.....	14
2.7.3.	Plagas y enfermedades en la lechuga.....	16
2.7.4.	Etapas de producción de lechuga hidropónica.....	17
2.8.	Hidroponía.....	17
2.9.	Acuaponía.....	18
2.9.1.	Ventajas de la acuaponía.....	18
2.9.2.	Técnica de cultivos en aguas profundas.....	20
2.9.3.	Funcionamiento de un sistema acuapónico.....	20
2.9.4.	Elementos principales de una unidad de acuaponía.....	22
3.	Materiales y Métodos.....	23
3.1.	Ubicación de la investigación.....	23
3.1.1.	Ubicación temporal.....	23
3.1.2.	Ubicación ambiental.....	24
3.2.	Metodología de campo.....	24
3.2.1.	Diseño y construcción del sistema acuapónico.....	24
3.2.2.	Manejo del cultivo de tilapia.....	30
3.2.3.	Manejo del cultivo de lechuga.....	33
3.2.4.	Actividades realizadas diariamente.....	34
3.3.	Metodología de laboratorio.....	35

3.4.	Metodología estadística.....	35
3.5.	Costos de inversión	36
4.	Resultados y Discusión.....	39
4.1.	Peso en gramos de las tilapias.....	39
4.1.1.	Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilks (modificado)	40
4.1.2.	Análisis de Varianza	40
4.1.3.	Prueba de Contrastes Ortogonales	40
4.2.	Longitud en centímetros de las tilapias	41
4.2.1.	Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilks (modificado)	42
4.2.2.	Análisis de Varianza	42
4.3.	Calidad del agua en el cultivo de tilapias.....	42
4.3.1.	Temperatura.....	43
4.3.2.	Oxígeno disuelto	44
4.3.3.	Potencial de hidrógeno (pH).....	45
4.3.4.	Nitritos y nitratos.....	47
4.4.	Peso en gramos de las lechugas.....	49
4.4.1.	Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilks (modificado)	50
4.4.2.	Análisis de Varianza	50
4.4.3.	Prueba de Contrastes Ortogonales	51
4.5.	Calidad del agua en el cultivo de lechuga	51
4.5.1.	Temperatura.....	52
4.5.2.	Potencial de hidrógeno (pH).....	53
4.5.3.	Conductividad eléctrica	54

4.6.	Respuesta a la hipótesis planteada.....	55
5.	Conclusiones	56
6.	Recomendaciones	57
7.	Bibliografía.....	58
8.	Anexos.....	64

Índice de Cuadros

	Página
Cuadro 1. Parámetros de calidad del agua para sistemas acuapónicos.....	7
Cuadro 2. Clasificación taxonómica de la tilapia.....	9
Cuadro 3. Cálculo del porcentaje de alimento según el peso de los peces.....	12
Cuadro 4. Clasificación taxonómica de la lechuga.....	13
Cuadro 5. Soluciones nutritivas para lechugas hidropónicas.....	15
Cuadro 6. Cantidad de alimento proporcionado según muestreos.....	31
Cuadro 7. Densidad de tilapia y lechuga por tratamiento.....	36
Cuadro 8. Costos de los equipos.....	37
Cuadro 9. Costos de inversión y de operación de materiales.....	38
Cuadro 10. Peso promedio (g) de tilapias.....	39
Cuadro 11. Normalidad de Shapiro Wilks para peso en gramos de tilapia.....	40
Cuadro 12. Coeficiente de variación para peso en gramos de tilapia.....	40
Cuadro 13. Análisis de Varianza (SC tipo III) para peso en gramos de tilapia.....	40
Cuadro 14. Coeficientes de los Contrastes Ortogonales.....	41
Cuadro 15. Contrastes Ortogonales para peso en gramos de tilapia.....	41
Cuadro 16. Longitud promedio (cm) de las tilapias.....	41
Cuadro 17. Prueba de Normalidad de Shapiro Wilks para longitud de tilapia.....	42
Cuadro 18. Coeficiente de variación para longitud en centímetros de tilapia.....	42
Cuadro 19. Análisis de Varianza (SC tipo III) para longitud (cm) de tilapia.....	42
Cuadro 20. Temperaturas promedio en los estanques de tilapias.....	43
Cuadro 21. Oxígeno disuelto (mg/l) en los tanques de tilapias.....	44
Cuadro 22. Resultados promedio de pH en los estanques de tilapias.....	45
Cuadro 23. Resultados promedio de nitratos en el sistema acuapónico.....	47
Cuadro 24. Resultados promedio de nitritos en el sistema acuapónico.....	49
Cuadro 25. Peso promedio (g) de la lechuga.....	50
Cuadro 26. Prueba de Normalidad de Shapiro Wilks para peso de lechuga.....	50
Cuadro 27. Coeficiente de variación para peso en gramos de lechuga.....	50
Cuadro 28. Análisis de Varianza (SC tipo III) para peso en gramos de lechuga.....	51
Cuadro 29. Coeficientes de los Contrastes.....	51

Cuadro 30. Contrastes Ortogonales para peso en gramos de lechuga.....	51
Cuadro 31. Temperaturas promedio en camas hidropónicas.....	52
Cuadro 32. pH promedio en las camas hidropónicas.....	53
Cuadro 33. Conductividad eléctrica promedio en las camas hidropónicas.	54

Índice de Figuras

	Página
Figura 1. Extracción de agua en El Salvador por sectores productivos.	5
Figura 2. Sistema acuapónico DWC.	20
Figura 3. Procesos del sistema acuapónico.	21
Figura 4. Ubicación de la investigación.	23
Figura 5. Sistema acuapónico de raíz flotante.	24
Figura 6. Delimitación y limpieza de área del ensayo.	25
Figura 7. Esquema de distribución del sistema acuapónico.	26
Figura 8. Montaje de pila asbesto, barriles y cama acuapónica.	26
Figura 9. Techo de madera de dos aguas asimétrico.	27
Figura 10. Techo cubierto con tela sarán para proteger del sol.	27
Figura 11. Barril receptor y bomba sumergible.	28
Figura 12. Instalación del sistema eléctrico.	29
Figura 13. Sistema de aireación.	29
Figura 14. Raciones y sacos de concentrado.	30
Figura 15. Instrumentos para el muestreo de tilapia.	31
Figura 16. Inspecciones visuales en campo y laboratorio.	32
Figura 17. Monitoreo de la anatomía y comportamiento de los peces.	32
Figura 18. Peso y medición de tilapias.	32
Figura 19. Siembra de lechugas en el sistema acuapónico.	33
Figura 20. Insectos encontrados dentro del sistema acuapónico.	33
Figura 21. Cosecha y medición de lechugas.	34
Figura 22. Control de fugas y llenado de agua.	34
Figura 23. Instrumentos utilizados para las mediciones físico-químicas.	35
Figura 24. Temperaturas promedio en los estanques de tilapias.	44
Figura 25. Oxígeno disuelto (mg/l) en los estanques de tilapia.	45
Figura 26. pH promedio en estanques de tilapia.	46
Figura 27. Resultados promedio de nitratos.	48
Figura 28. Resultados promedio de nitritos.	49
Figura 29. Temperatura promedio en camas hidropónicas con lechuga.	53

Figura 30. pH promedio en camas hidropónicas.....	54
Figura 31. Conductividad eléctrica promedio en camas hidropónicas.....	55

Índice de Anexos

	Página
Anexo 1. Datos de parámetros recolectados en estanques de tilapias.	64
Anexo 2. Resultados de parámetros del agua en camas hidropónicas.	69
Anexo 3. Resultados del rendimiento de biomasa vegetal.	72
Anexo 4. Resultados del rendimiento de biomasa animal.	74
Anexo 5. Análisis de laboratorio en agua de estanque de tilapia.	78

1. Introducción

La acuaponía es un sistema de producción que consiste en la integración de un cultivo hidropónico y uno acuícola, siendo la base la recirculación del agua con los desechos orgánicos de los peces, que son transformados en nutrientes utilizados por las plantas, gracias a bacterias propias del entorno (Avalos 2013).

En El Salvador la acuaponía es una práctica incipiente debido a la prevalencia de los sistemas de producción convencionales y al desconocimiento de los beneficios del método. Por otro lado, la preservación de los mantos acuíferos de agua dulce y el abastecimiento a la población atraviesan una etapa crítica provocando escasez de agua y competencia por el recurso entre el ser humano, los sistemas de producción y otros seres vivos.

A nivel global ya existen empresas de tamaño mediano que incorporan esta forma de producción a distinta escala, la cual es una alternativa productiva y comercial para pequeños y medianos productores en el país, y posibilita su uso en zonas con poca abundancia de agua y que no son necesariamente aptas para el agro.

Para implementar este sistema de producción es necesario tener en cuenta todos los factores involucrados: mecanismos de remoción de sólidos, filtros, inyectores de oxígeno, motores de recirculación de agua, manejo agronómico del cultivo, factores ambientales, entre otros. Todo, dependiendo de la magnitud del modelo que se seleccione (Colagrosso 2014).

En esta investigación se planteó como objetivo evaluar tres densidades de siembra de tilapia (*Oreochromis niloticus*), en un diseño acuapónico, para comparar los rendimientos de biomasa animal y vegetal en lechuga (*Lactuca sativa*), obtenidos en Santa Cruz Porrillo, departamento de San Vicente, en El Salvador.

La ejecución de esta investigación científica tuvo el apoyo del Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA), del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de El Salvador, con el propósito de orientar esfuerzos para el cumplimiento de algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y desarrollar la acuaponía como uno de los puntos en el proyecto de acuicultura familiar realizando la divulgación de nuevo conocimiento y nuevas tecnologías que contribuyan a la búsqueda de la seguridad alimentaria del país.

2. Revisión Bibliográfica

2.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible

El 25 de septiembre de 2015, los países pertenecientes a la ONU adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos. Los nuevos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) u Objetivos Mundiales, orientan la política de desarrollo y financiamiento durante los próximos 15 años y cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse (ONU 2015).

Según la ONU (2015), los Objetivos de Desarrollo Sostenible son los siguientes:

- 1) Fin de la pobreza.**
- 2) Hambre cero.**
- 3) Salud y bienestar.
- 4) Educación de calidad.
- 5) Igualdad de género.
- 6) Agua limpia y saneamiento.**
- 7) Energía asequible y no contaminante.
- 8) Trabajo decente y crecimiento económico.
- 9) Industria innovación e infraestructura.
- 10) Reducción de las desigualdades.
- 11) Ciudades y comunidades sostenibles.
- 12) Producción y consumo responsables.**
- 13) Acción por el clima.
- 14) Vida submarina.
- 15) Vida de ecosistemas terrestres.
- 16) Paz, justicia e instituciones sólidas.
- 17) Alianzas para lograr los objetivos.

2.2. La acuaponía y su relación con los ODS

La producción de alimentos en sistemas de producción acuapónicos conlleva ventajas y beneficios que ayudan a cumplir con los siguientes ODS:

Objetivo 1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo. Actualmente, 836 millones de personas aún viven en pobreza extrema. Se espera reducir a la mitad la proporción de personas que viven en pobreza y garantizar que todos los habitantes del planeta tengan los mismos derechos.

Objetivo 2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible. La nutrición deficiente provoca el 45% de las muertes de niños y niñas menores de 5 días de nacido.

Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible, y el saneamiento para todos. Existen 884 millones de personas en todo el mundo que todavía no tienen acceso a agua potable y es necesario lograr el acceso equitativo a servicios de saneamiento e higiene adecuados para todos.

Objetivo 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles para reducir a la mitad el desperdicio mundial de alimentos per cápita en el año 2030 (EDP 2016).

2.3. Desarrollo rural y local

Según Jiménez (2013) la acuaponía es un modelo holístico para el desarrollo urbano y rural que presenta beneficios en el aspecto social, económico, productivo y educativo. De esta manera existen cuatro líneas de acción para el desarrollo de cada modelo:

- 1) **Eco-negocio:** El principal objetivo es generar ingresos monetarios a la población, teniendo en cuenta el desarrollo sostenible.
- 2) **Inclusión de género:** Las faenas diarias no están basadas en las técnicas convencionales de acuicultura y agricultura, ambos géneros pueden realizarlos.
- 3) **Seguridad alimentaria:** Una estructura de cultivo continuo tipo escalonado permite según las capacidades y el diseño del sistema, obtener hasta cosechas diarias para autoconsumo o comercialización.

4) Educación productiva: Estos son considerados como ejes principales de una educación productiva, dinámica, libre y moderna, para crear y dar valor a los recursos naturales derivados de la biodiversidad, ecosistemas y la industria.

2.4. Usos del agua en el mundo y en El Salvador

El agua del planeta Tierra se encuentra naturalmente en varias formas y lugares. El agua dulce representa sólo el 2,5% del agua de la Tierra. Esta agua dulce se encuentra en su mayoría congelada en glaciares y casquetes glaciares, el resto se presenta principalmente en forma de agua subterránea y solo una pequeña fracción se encuentra en la superficie o en la atmósfera (Green Facts 2009).

Se estima que el 70% de las extracciones de agua se realizan a través de recursos hídricos superficiales, y el 30% a través de recursos hídricos subterráneos. La extracción hídrica total en El Salvador para el 2005 alcanzó los 2.118 km³. El sector agrícola extrajo 1.431 km³, equivalente al 68% del total de las extracciones. De este 68%, 1.389 km³ corresponden al riego, 0.018 km³ al sector pecuario y 0.024 km³ al sector acuícola (figura 1) (ANDA/SNET 2007 citado por AQUASTAT 2016).

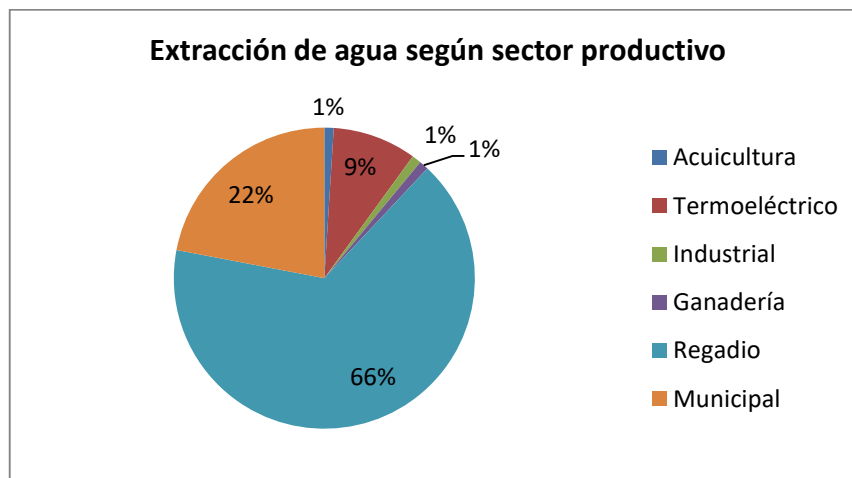


Figura 1. Extracción de agua en El Salvador por sectores productivos (ANDA/SNET 2007 citado por AQUASTAT 2016).

2.5. Calidad del agua en la producción acuapónica

Según FAO y TECA (2017), el agua es vital e indispensable para el buen funcionamiento de un sistema de acuaponía, porque es a través del agua que las plantas se alimentan de los nutrientes y los peces obtienen su oxígeno.

La calidad es una condición general que permite que el agua se emplee para usos concretos y ésta es determinada por:

- 1) La biología de la masa de agua.
- 2) Las características hidrológicas, porque indican el origen, cantidad del agua y el tiempo de permanencia.
- 3) La cantidad de agua dentro del sistema.
- 4) La temperatura.
- 5) El cultivo de peces.
- 6) Las condiciones físico-químicas del agua dentro de los límites de tolerancia para la especie a cultivar.

En algunos estudios se reporta que la concentración de minerales influye principalmente en la calidad del agua y los peces se ven afectados a nivel de branquias, reduciendo su capacidad respiratoria y metabólica, provocando lento crecimiento que se expresa en bajos rendimientos (Saavedra 2006).

2.5.1. Parámetros de calidad del agua en el sistema acuapónico

Según FAO y TECA (2017), los parámetros que afectan la calidad del agua son:

- 1) Tasa de oxígeno disuelto.
- 2) Potencial de hidrógeno (pH).
- 3) Temperatura del agua.
- 4) Concentraciones de nitrógeno total (amoníaco, nitrito, nitrato).
- 5) Dureza del agua (indicador de la mineralización de agua debido a la presencia de iones de calcio y magnesio).

Cuadro 1. Parámetros de calidad del agua para sistemas acuapónicos.

Parámetro	Rango
Temperatura (° C)	18-30
pH	6-7
Amoniaco (mg/litro)	Menor a 1
Nitrito (mg/litro)	Menor a 1
Nitrato (mg/litro)	5-150
Oxígeno disuelto (mg/litro)	Mayor de 5

Fuente: Elaborado con base en FAO y TECA (2017).

Según CENDEPESCA (2008), los parámetros más importantes de la calidad del agua para crianza de tilapia son:

- 1) Temperatura:** el rango óptimo es de 28-32° C, cuando disminuye a 15° C los peces dejan de comer y cuando desciende a menos de 12° C no sobreviven mucho tiempo. Durante los meses fríos los peces dejan de crecer y el consumo de alimento disminuye, cuando se presentan cambios repentinos de 5° C en la temperatura del agua el pez se estresa y algunas veces muere. Cuando la temperatura es mayor a 30° C los peces consumen más oxígeno. Las temperaturas letales se ubican entre los 10-11° C (Colagrosso 2014).
- 2) Nitratos y nitritos:** debido a sus propiedades físicas, no pueden olerse ni sentirse, y su presencia en concentraciones potencialmente peligrosas es detectada cuando se manifiesta un problema de salud en organismos de cultivo. Niveles de nitrato entre 0 y 40 ppm son generalmente seguros para los peces. Cualquier valor superior a 80 ppm puede ser tóxico. A menudo es difícil precisar el origen de un alto contenido de nitratos, debido a que puede provenir de muchas fuentes. La entrada de los nitratos a las aguas subterráneas es resultado de procesos naturales y del efecto directo o indirecto de las actividades humanas. Los procesos naturales incluyen la precipitación, el constante movimiento de los minerales y la descomposición de la materia orgánica. Niveles de nitritos superiores a 0,75 ppm en el agua pueden provocar estrés en peces y mayores de 5 ppm pueden ser tóxicos (Colagrosso 2014).

- 3) **Amoníaco:** el amoníaco es más tóxico a altas temperaturas (más a 32° C que a 24° C, por ejemplo). La disminución del oxígeno disuelto también aumenta la toxicidad del amoníaco, disminuyendo el apetito y el crecimiento en los peces, a concentraciones tan bajas como 0,08 mg/l (Colagrosso 2014).
- 4) **Oxígeno:** la concentración y disponibilidad de oxígeno disuelto son factores críticos para el cultivo de tilapia. Es uno de los aspectos más difíciles de entender, predecir y manejar, y tiene mucho que ver con las mortandades, enfermedades, baja eficiencia en conversión de alimento y la calidad del agua. Normalmente en los cuerpos de agua ricos en nutrientes, el oxígeno es abundante a mediados de la tarde y bastante limitado al amanecer. Un factor que causa considerables variaciones en los niveles de oxígeno en el agua es el estado del tiempo y particularmente si el tiempo está nublado. La luz solar y el plancton, a través del proceso de fotosíntesis, son responsables de gran parte del oxígeno producido. Por lo tanto, cuando se dan condiciones de baja luminosidad y se restringe el proceso de fotosíntesis se dan problemas con niveles críticos de oxígeno (FAO 2011).
- 5) **Salinidad:** los peces pueden tolerar diferentes salinidades, pero son sensibles a los cambios bruscos de la misma. El agua de mar contiene 34 ppm (partes por millón) de salinidad, el agua dulce tiene muy poco o nada, normalmente menor o igual a 1 ppm. La tilapia puede vivir, crecer y reproducirse a una salinidad de 24 ppm (Colagrosso 2014).
- 6) **pH:** interviene determinando si un agua es dura o blanda, la tilapia crece mejor en aguas de pH neutro o levemente alcalino. Su crecimiento se reduce en aguas ácidas y toleran hasta un pH de 5; un alto valor de pH (de 10 durante las tardes) no las afecta y el límite, aparentemente es de 11. Los valores ideales para el cultivo van de 6.5 a 9 (FAO 2011).

2.6. Crianza de tilapia

Los parámetros de crianza de tilapia son imprescindibles dentro del sistema acuapónico. Según FAO y TECA (2017), la acuicultura es la cría de peces en cautiverio o la producción de otros animales y plantas acuáticas en condiciones controladas.

2.6.1. Morfología y clasificación taxonómica de la tilapia

La tilapia presenta bandas negras verticales en la aleta caudal, abdomen blanco que comprende desde la aleta abdominal anterior hasta la parte anterior del ano, presenta una aleta dorsal con 16 a 18 espinas duras y 12 a 13 espinas suaves, la aleta caudal presenta 3 espinas duras y de 8 a 11 espinas suaves, a lo largo de la línea lateral contiene de 31 a 35 escamas, 5 escamas hacia arriba y 12 hacia debajo de la línea lateral.

Presenta un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal. El cuerpo es generalmente comprimido y discoidal, raramente alargado. La boca es protráctil, generalmente ancha, a menudo bordeada por labios gruesos; las mandíbulas presentan dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos (CENDEPESCA 2008).

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

La aleta caudal es redonda, trunca y raramente cortada, como en todos los peces, esta aleta le sirve para mantener el equilibrio del cuerpo durante la natación y al lanzarse en el agua (CENDEPESCA 2008).

Cuadro 2. Clasificación taxonómica de la tilapia.

Reino	Animal
Phyllum	Chordata
Subphyllum	Vertebrata
Clase	Actinopterygii
Orden	Perciforme
Familia	Cichlidae
Género	<i>Oreochromis</i>
Especie	<i>niloticus</i>

Fuente: Elaborado con base en Rubio Cabrera (2012).

2.6.2. Selección de sitios productivos para tilapia

Antes de dedicarse al cultivo de tilapia hay que realizar un diagnóstico general y considerar los siguientes criterios:

- 1) La topografía del terreno y accesos al lugar.
- 2) Calidad y cantidad del agua.
- 3) Origen y fuentes de agua.
- 4) El mercado para comercializar el producto.
- 5) Asesoramiento técnico y capacitación antes de iniciar el cultivo (CENDEPESCA 2015).

Es importante elegir un sitio de construcción donde el piso sea estable y nivelado. Algunos elementos son pesados; por lo tanto, existe un riesgo potencial de que las bases de las estructuras (tanques de cría o cisternas) se hundan en el suelo. Esto puede causar la interrupción del flujo de agua, la inundación de los cultivos o colapso completo del sistema (FAO y TECA 2017).

2.6.3. Infraestructura para crianza de tilapia

Los tipos de infraestructuras que se utilizan en el cultivo de tilapia son: estanques de arcilla, lodocreto, asbesto cemento, pilas de concreto y geomembranas, corrales y jaulas con infraestructuras de hierro o empotrados en el suelo dependiendo de los sistemas de cultivo tradicionales como: extensivo, semi-intensivo, intensivo y súper intensivo (Saavedra 2006).

2.6.4 Técnicas de manejo de los estanques

Se recomienda después de la construcción del estanque, limpieza y lavado constante utilizando cal hidratada con una proporción de 2 onzas por metro cuadrado, eliminar el lodo del fondo, controlar entradas y salidas de agua, realizar recambios de agua durante el ciclo del cultivo.

Después de cada cosecha se debe de realizar limpieza general para eliminar bacterias, hongos y parásitos, se debe exponer al sol el estanque vacío durante una semana y después lavarlo con cal para corregir la acidez (pH) o con cloro para quitar resto de bacterias, hongos y parásitos. Luego, volver a llenar el estanque y realizar el proceso de siembra nuevamente con una relación de 10-20 alevines por metro cuadrado (CENDEPESCA 2008).

2.6.5. Densidades de siembra

Se refiere a la cantidad de alevines por metro cuadrado (m²) que se siembran en el estanque de producción y generalmente el incremento de la cantidad de alevines dependerá de la disponibilidad y calidad del agua, que permita realizar recambios en un mínimo del 10% del agua del estanque, de las tecnologías a las que se pueda tener acceso (aireación, probióticos, tipos materiales de construcción de los estanques) y de la aplicación de las buenas prácticas acuícolas que se apliquen. Según CENDEPESCA (2016), con un caudal de 10 litros por minuto y haciendo un recambio de 50% de agua quincenal se puede sembrar hasta 15 peces/m² y realizar cosechas parciales de un 30 a 50% de los peces, al alcanzar tamaños de 3 a 4 por libra.

2.6.6. Calidad del alimento

Al inicio del ciclo de pre-cría, por un periodo de 30 días se recomienda aplicar alimento con 38% de proteína, luego, por 60 días aplicar alimento con 32% de proteína y después por 30 días aplicar alimento con 28% de proteína en el engorde final. Proporcionar cuatro raciones por día al voleo en todo el estanque (7:00 am, 10:00 am, 1:00 pm y 4:00 pm) (CENDEPESCA 2015).

2.6.7. Alimentación

La cantidad de alimento a proporcionar se calcula realizando muestreos cada 14 días, pesando un 2% de la siembra total. La muestra se saca con chinchorro o atarraya, colocándola en tinajas con agua del mismo estanque para luego proceder a medir las tallas y pesos individuales.

Los muestreos permiten calcular tallas y pesos promedios, biomasa y ración alimenticia. Estos muestreos también sirven para determinar el grado de salud del pez, a través de observaciones de la textura, coloración y órganos internos (sacrificando unos cuantos). Se tienen que realizar en cada estanque y llevar registros separados, por el hecho de que no todos se comportan de la misma forma (MAG 2001).

Cuadro 3. Cálculo del porcentaje de alimento según el peso de los peces.

Peso de peces (g)	Porcentaje por proporcionar (%)
11-35	10.0
36-65	5.0
66-85	4.0
86-125	3.5
126-150	3.0
151-180	2.8
181-230	2.5
231-260	2.3
261-290	2.0
291-450	1.8

Fuente: Elaborado con base en CENDEPESCA (2015).

2.6.8. Cosecha de tilapia

La cosecha es la etapa final del cultivo de tilapia, se pueden realizar cosechas totales o parciales, dependiendo de la cantidad y frecuencia con que se desee tener producto disponible para la comercialización. Las cosechas se realizan cuando los animales han alcanzado un tamaño adecuado para su venta. CENDEPESCA (2017) recomienda realizar tres cosechas durante el año, por lo que cada ciclo productivo debe durar 4 meses.

Para la cosecha se pueden utilizar atarrayas o chinchorros. Previo a la cosecha es necesario hacer contacto con el mercado para determinar cantidades y tamaños del pescado. También deben prepararse los recipientes para lavar y bajar la temperatura del pescado. Para mantener la calidad de frescura del pescado se recomienda el siguiente procedimiento (Saavedra 2006):

- 1) Una noche antes se baja el nivel del agua en el estanque y se mantiene un flujo de agua constante para evitar falta de oxígeno.
- 2) Temprano por la mañana se inicia la cosecha, para ello se usa una red de arrastre que tiene una línea con plomo en el fondo y la línea superior con flotadores. Esta red se pasa por el estanque encerrando los peces que posteriormente se cosechan con redes de mano.
- 3) Los pescados se lavan en agua limpia, después de colocar en agua helada para que se aquieten.
- 4) Finalmente se hace una disminución de temperatura y para ello se usa hielo en escamas o triturado en una proporción de 2:1 (2 unidades de pescado por una de hielo), para ser trasladados al mercado (MAG 2001).

2.7. Cultivo de lechuga

La lechuga es el segundo cultivo más producido a nivel hidropónico después del tomate (*Lycopersicon esculentum*). La lechuga germina y se desarrolla entre 50-60 días.

En la técnica hidropónica resulta muy económico y seguro producir lechugas, ya que se pueden aprovechar recursos como el agua y fertilizantes. Además, es mucho más fácil poder controlar y evitar las plagas y los ataques de insectos en este sistema (Alpizar (2008) citado por Grande y Luna (2010)).

Cuadro 4. Clasificación taxonómica de la lechuga.

Reino	Plantae
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Género	<i>Lactuca L.</i>
Especie	<i>sativa L.</i>

Fuente: Elaborado con base en Rubio Cabrera (2012).

2.7.1. Variedades de lechuga

Botánicamente, en lechuga se distinguen cuatro variedades botánicas (Maroto 2000):

- 1) ***Lactuca sativa* var. Longifolia Lam:** Son aquellas lechugas que se aprovechan por sus hojas, estas forman un verdadero cogollo, que tiene una forma generalmente aovada u oblonga, por la adaptación a una estación determinada se pueden clasificar en lechugas de invierno (Romana Larga Encarnada, Romana Larga Verde, Gorrión, Inverna, Valladolid, otras), y lechugas de primavera verano (Tres Ojos Verde, Tres Ojos blanca, Romea, Rubia de Verano, otras).
- 2) ***Lactuca sativa* var. Inybarcea Hort:** Son aquellas que poseen hojas sueltas y dispersas.
- 3) ***Lactuca sativa* var. Augustana Irish:** Estas lechugas se caracterizan por que la parte comestible es el tallo, sus hojas son puntiagudas y lanceoladas.
- 4) ***Lactuca sativa* var. Capitata Lam:** Se caracterizan por formar un cogollo apretado de hojas. La forma de sus hojas suele ser ancha, orbicular (lechugas acogolladas), por la consistencia de sus hojas se pueden dividir en dos grupos, las de hoja consistente (Garavan, Salinas, Halcón, Padrina, Montemar, Batavia, Astral, otras), y las de hoja mantequilla (Trocadero, Ravel, Corine, Elsa, Reina de Mayo, Clarion, Mirena, Aprilia, otras).

2.7.2. Factores para el desarrollo de la lechuga

La temperatura que requiere la lechuga permite que se cultive especialmente en las regiones templadas y subtropicales. Esta hortaliza es un cultivo que se adapta mejor a las bajas temperaturas que a las altas. La temperatura óptima para el crecimiento oscila entre 18 a 23° C durante el día y de 7 a 15° C durante la noche, como temperatura máxima se puede considerar los 30° C y como mínima puede soportar temperaturas de hasta -1° C (Jaques y Hernández 2005).

La lechuga requiere una intensidad de 8 watt/m² durante 14 a 15 horas luz y una intensidad de luz de 200 a 300 micromoles (μmol) por metro cuadrado (m⁻²) por segundo (s⁻¹), μmol·m⁻²/s⁻¹.

El pH ideal para crecer está entre 5.5 y 6. La conductividad eléctrica ideal de la solución nutritiva debe estar entre los 1 y 2.3 siemens por metro (S/m)/cm² (Gutiérrez2001).

La humedad relativa en este cultivo para su mejor desarrollo requiere de una humedad relativa del 60 al 80%, aunque puede tolerar humedades menores a 60% (Maroto 2000).

El requerimiento nutricional de acuerdo con los datos de extracción nutrimental para producir una tonelada de lechuga, se requiere 2 kg de nitrógeno, 0.5 kg de fósforo, 4.3 kg de potasio, 0.9 kg de calcio, 0.2 kg de magnesio (Ciampitti y García 2004).

Para un cultivo de lechuga tipo mantequilla que se manejó en sustrato de perlita en recirculación a lo largo de 4 ciclos de producción que coinciden con las cuatro estaciones del año, la absorción promedio por día de nitrógeno es de 8 a 16 mg, mientras que de fósforo es de 2.5 a 5 mg, en el caso de potasio varia de 11.5 a 23 mg (Schippers 1980).

En el siguiente cuadro se presentan soluciones nutritivas que se han manejado por diversos autores en hidroponía para lechuga:

Cuadro 5. Soluciones nutritivas para lechugas hidropónicas.

Nutrimento (mg·L ⁻¹)	Shippers, <i>et al.</i> , 1980	Ananda, <i>et al.</i> , 2000	Premuzic <i>et al.</i> , 2006	Valverde <i>et al.</i> , 2009	Scuderi, <i>et al.</i> , 2009
N	205	198	252	190	212
NO ³⁻	195	135	-	130	198
NH ⁴⁺	10	63	-	60	14
P	50	70	54	35	57
K	210	228	312	210	234
Ca	190	143	169	150	170
Mg	30	30	48	45	40
S	39	117	65	70	48
Fe	3	1.5	0.35	1	-
Cu	0.06	0.03	0.32	0.1	-
Mn	0.5	0.3	0.78	0.5	-
Mo	0.1	0.005	0.35	-	-
Zn	0.08	0.03	0.48	1.15	-

Fuente: Elaborado con base en Gutiérrez (2001).

2.7.3. Plagas y enfermedades en la lechuga

El manejo integrado de plagas y enfermedades en general, y los biopesticidas en particular, constituyen una alternativa al uso de los agroquímicos, garantizando a la vez la obtención de hortalizas sanas y seguras como la sobrevivencia de los peces. En los cultivos acuapónicos no se pueden utilizar pesticidas y fungicidas de origen químico porque son altamente tóxicos para los peces, por lo que deben considerarse otras opciones como el manejo integrado de plagas y enfermedades (Colagrosso 2014).

Según Colagrosso (2014) el manejo integrado de plagas y enfermedades es un conjunto de técnicas utilizadas para reducir los ataques que dañan los cultivos. Estas técnicas no son excluyentes entre sí, o sea, se pueden aplicar al mismo tiempo y al mismo cultivo. Las principales técnicas de manejo integrado de plagas y enfermedades compatibles con los cultivos acuapónicos son las siguientes:

- 1) **Combate cultural:** Es la aplicación o modificación de las prácticas agrícolas para prevenir la aparición de plagas o enfermedades en los cultivos. La rotación de los cultivos es una práctica de combate cultural que tiene como objetivo alternar en el tiempo los tipos de hortalizas sembradas en un determinado lugar, para evitar la atracción de enfermedades que se pueden generar por tenerse solamente plantas pertenecientes a la misma familia. El policultivo es también parte del combate cultural y consiste en sembrar diferentes tipos de hortalizas en un mismo lugar o en la misma cama.
- 2) **Combate mecánico:** Consiste en recolectar manualmente y destruir las partes de la planta afectada por una plaga o enfermedad. Esta práctica se le conoce también como poda sanitaria y se recomienda realizarla diariamente.
- 3) **Combate biológico:** Es el uso de los enemigos naturales de las plagas y los agentes causantes de las enfermedades de los cultivos. Con este tipo de combate se liberan en las áreas de cultivo insectos entomófagos, insectos parásitos, hongos entomo-patógenos y hongos antagonistas. También los extractos naturales con capacidad de controlar plagas y enfermedades son parte del combate biológico.

2.7.4. Etapas de producción de lechuga hidropónica

El proceso de producción de lechuga en hidroponía consta de los siguientes aspectos (Rodríguez 2000 citado por Rubio Cabrera 2012):

- 1) **Siembra:** Se utilizan charolas especiales para la siembra de plántulas, se utiliza un sustrato inerte como espuma de polietileno, escoria volcánica, fibra de coco, entre otros. Se siembra una semilla por orificio de la charola, se cubre de nuevo con sustrato y se riega y espera la germinación.
- 2) **Trasplante:** A las cuatro semanas de germinada la semilla o cuando hayan alcanzado el estado de 4 a 5 hojas verdaderas se procede al trasplante al sistema definitivo de cultivo.
- 3) **Cosecha:** Se cosecha cortando al ras de la raíz, dejando una porción del tallo y es necesario que se dejen algunas hojas exteriores en buen estado para que protejan la parte comestible y comercial de la planta, después de 60 días máximos, esto depende del tipo y variedad (Sorenson et al. (2009) citado por Grande y Luna (2010)).

2.8. Hidroponía

La hidroponía es una técnica de producción de cultivos en agua fertilizada sin utilizar el suelo, con esta técnica se elimina la necesidad de terrenos extensos y permite la producción de cultivos en invernaderos o incluso en lugares donde antes no se podían cultivar. Las técnicas de la hidroponía permiten proveer las cantidades necesarias de nutrientes directamente a las raíces de cada planta (Sorenson et al. 2009 citado por Grande y Luna 2010).

La hidroponía es el método más común de producción de plantas sin suelo (la agricultura de cultivos sin uso de la tierra), que consiste en cultivar plantas en un sustrato en contacto con una solución acuosa. El sustrato sirve para soportar la planta y hace posible retener la humedad. El sistema de riego está integrado dentro del sustrato para proporcionar a la raíz los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta (FAO y TECA 2017).

2.9. Acuaponía

La acuaponía constituye una integración entre un cultivo de peces y uno hidropónico de plantas. Estos se unen en un único sistema de recirculación, en el cual se juntan el componente acuícola y el componente hidropónico. En este sistema los desechos metabólicos generados por los peces y los restos de alimento son utilizados por los vegetales y transformados en materia orgánica vegetal.

De esta forma se genera un producto de valor a través de un subproducto desechable, con la ventaja de que el agua libre ya de nutrientes queda disponible para ser reutilizada. Gracias a esto, los sistemas acuapónicos trabajan sobre dos puntos de gran interés en producción, rentabilidad y tratamiento de desechos. Un sistema acuapónico es la integración de la acuicultura con la hidroponía en un sólo sistema de producción basado en el principio de recirculación de agua (Rakocy 1999 citado por Newacuaponia 2014).

Según FAO y TECA (2017), en un sistema acuapónico los efluentes de la acuicultura no se liberan en el medio ambiente, sino que se redirigen a las raíces de las plantas, al mismo tiempo que los nutrientes suministrados a las plantas provienen de una fuente sostenible, rentable y no química. Esta integración elimina algunos de los factores no sostenibles presentes en la hidroponía y acuicultura como sistemas independientes.

2.9.1. Ventajas de la acuaponía

Muchas expectativas y opciones productivas se han cifrado en la acuaponía a nivel mundial, especialmente en los países en desarrollo, para contribuir a la producción de alimentos, optimización en el uso de los recursos naturales y el alivio a la pobreza (Gestiopolis s.f.). Entre las ventajas obtenidas de la acuaponía están:

- 1) Reuso del agua dentro del sistema.** Al ser un cultivo en sistema de recirculación cerrado, permite la reutilización del agua en el inicio del sistema, ya que se le brinda un tratamiento físico y biológico que genera condiciones favorables para el desarrollo de los cultivos de peces y lechugas.

- 2) **Espacio en la producción.** La producción convencional en acuicultura ocupa grandes espacios para su operación, mientras que la tecnificación acuapónica permite la eficiencia del espacio, cultivando grandes cantidades en pequeños espacios.
- 3) **Bioseguridad.** Las granjas de acuaponía se manejan en sistemas totalmente cerrados y controlados, lo que permite el no ingreso de agentes que puedan dañar el sistema.
- 4) **Ecológicamente sustentables.** Se posee un sistema de peces y un sistema de cultivo (lechuga), se tienen dos productos. Aunque también pueden tenerse policultivos de peces y crustáceos (tilapia y camarón) y de igual forma de vegetales y hortalizas, en donde los desechos de las especies acuáticas sirven de alimento a las plantas y éstas a la vez limpian el agua para que sea reutilizada por las especies acuáticas.
- 5) **Eficiencia en la producción.** La acuaponía es más eficiente que las granjas convencionales de cultivos de peces, provee mejor calidad en sus productos finales (Gestiopolis s. f.).
- 6) **Impacto ambiental.** Uno de los principales impactos al ambiente en la producción de peces es causado por la liberación de excretas, restos de alimento, entre otros, el cual en su mayoría es liberado en ríos o cuerpos de agua naturales. La acuaponía ha tomado un nuevo camino como rama importante de la acuicultura, ya que se está convirtiendo en una alternativa para hacer más sustentable la actividad acuícola. Se está generando una nueva concientización sobre el uso y manejo del agua para obtener su máximo aprovechamiento, ya que la mayoría de estos sistemas son cerrados, lo que a su vez produce una sinergia de la actividad (Jiménez 2013).
- 7) **Recirculación del agua.** La actividad humana y los factores naturales están agotando los recursos hídricos disponibles, en la última década la sociedad se ha ido concientizando de la necesidad de mejorar la gestión y la protección del agua, los criterios económicos y los factores políticos todavía tienden a dirigir todos los ámbitos de la política del agua. La ciencia y las mejores prácticas a menudo no reciben la atención adecuada (Green Facts 2009).

2.9.2. Técnica de cultivos en aguas profundas

Según FAO y TECA (2017), la técnica de cultivo en aguas profundas (Deep Water Culture - DWC), conocida como la balsa, es un método que implica la suspensión de las plantas en una placa de poliestireno, con sus raíces colgadas hacia abajo en dirección al agua que fluye por debajo de las placas.

Este método se utiliza habitualmente para grandes estructuras acuapónicas y cultivos específicos, por ejemplo: cultivo de lechuga, verduras de hoja, hierbas como la albahaca, menta, entre otros (figura 2).

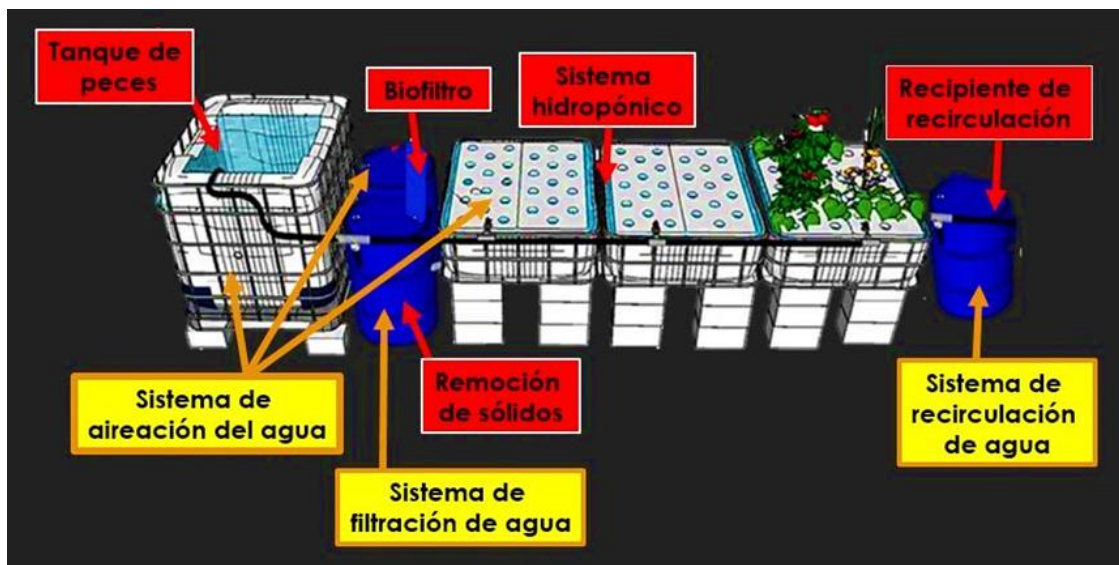


Figura 2. Sistema acuapónico DWC (FAO y TECA 2017).

2.9.3. Funcionamiento de un sistema acuapónico

Manteniendo los fundamentos generales, un sistema acuapónico puede funcionar de diferentes formas según su configuración. Los tres siguientes procesos son fundamentales (figura 3):

- 1) Remoción de sólidos en suspensión.** Es llevada a cabo por el filtro mecánico que constituye la parte fundamental del sistema acuapónico. Los sólidos en suspensión pueden, de llegar a las raíces de las plantas, taparlas, impidiendo una correcta absorción de nutrientes (FAO y TECA 2017).

- 2) Biofiltración.** Cumple con dos objetivos en el sistema acuapónico. Ambos obtenidos a partir de un mismo proceso: la nitrificación. El primero, es el de transformar el nitrógeno amoniacal (NAT) excretado por los peces como desecho metabólico, en un compuesto menos tóxico para ellos, y el segundo, la obtención de un compuesto asimilable por las plantas. Dichos procesos son realizados por un grupo de bacterias que se alojan en los filtros biológicos (así como en cualquier superficie del sistema), obteniéndose como resultado final nitratos (NO_3^-) (FAO y TECA 2017).
- 3) Fuente de nutrientes.** En los sistemas de acuaponía son los desechos metabólicos generados por los peces al alimentarse, ya que solo un 35% a 40% del alimento consumido es asimilado y transformado en carne, mientras que el resto (60%-65%) se excreta hacia la columna de agua. Estos desechos a su vez son transformados por las bacterias presentes en los filtros biológicos. Así, la cantidad de nutrientes que un sistema genere estará directamente relacionada con la cantidad de alimento que ingieran los peces (MAGP 2016).

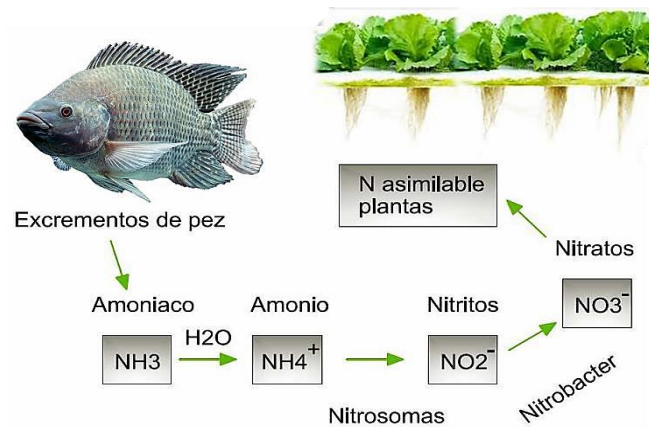


Figura 3. Procesos del sistema acuapónico (CENDEPESCA 2017).

En general, la cantidad de plantas que pueda sostener un sistema acuapónico estará supeditada a la cantidad de alimento que los peces presentes ingieran. Por su parte, cada sistema tendrá una capacidad determinada para filtrar biológicamente los desechos metabólicos y esta capacidad de filtración será la que impondrá la cantidad de alimento que pueda ofrecerse como máximo a los peces.

Por lo descrito, se observa como las comunidades de peces, plantas y bacterias presentes en estos sistemas, están relacionadas entre sí. El balance de cargas es algo que debe tenerse muy en cuenta a la hora de montar este sistema. Todos los componentes hidropónicos utilizados en acuaponía poseen características de funcionamiento y balances diferentes (MAGP 2016).

2.9.4. Elementos principales de una unidad de acuaponía

Todo sistema de acuaponía consiste en la integración de las dos actividades en un único circuito cerrado, y para que este ciclo se desarrolle se necesitan de los siguientes elementos:

- 1) Tanque de cría de peces (u otros organismos acuáticos):** Los tanques de peces son una parte esencial de cada unidad de acuaponía y pueden representar hasta el 20% del coste total de instalación de una unidad (FAO y TECA 2017).
- 2) Recipiente de recuperación de agua (reservorio):** El recipiente de recuperación es un reservorio donde se colecta el agua, en el punto más bajo del sistema. De este modo el agua fluye en el depósito donde se encuentra la bomba sumergible de agua, que se utiliza para devolver el agua al tanque de peces (MAGP 2016).
- 3) El sistema de filtración de agua:** El tipo y el nivel de filtración se determinan por la densidad de los peces en los tanques de cría y el tipo de sistema instalado (MAGP 2016).
- 4) Sistema de oxigenación:** Los peces y las plantas necesitan oxígeno para respirar, y las bacterias de nitrificación necesitan un acceso adecuado a una fuente de oxígeno para oxidar el amoníaco (FAO y TECA 2017).
- 5) Sistema de circulación de agua:** Para mantener las buenas condiciones de vida para todos los organismos del sistema de acuaponía, es esencial que el agua esté en constante movimiento (FAO y TECA 2017).
- 6) Kits de prueba de agua:** Para evaluar y monitorear la salud de la unidad de acuaponía, el agricultor debe analizar periódicamente la calidad del agua (MAGP 2016).

3. Materiales y Métodos

3.1. Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en la Estación Acuícola del Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA), del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), ubicada en la carretera El Litoral (CA- 2E), kilómetro 73, cantón Santa Cruz Porrillo, municipio de Tecoluca, departamento de San Vicente, en El Salvador, Centroamérica (figura 4), con coordenadas geográficas 13° 48' 04" LN (Extremo Septentrional), 13° 14' 39" LN (Extremo Meridional), 88° 29' 05" LWG (Extremo Oriental) y 88° 54' 01" LWG (Extremo Occidental); a 35 metros sobre el nivel del mar.

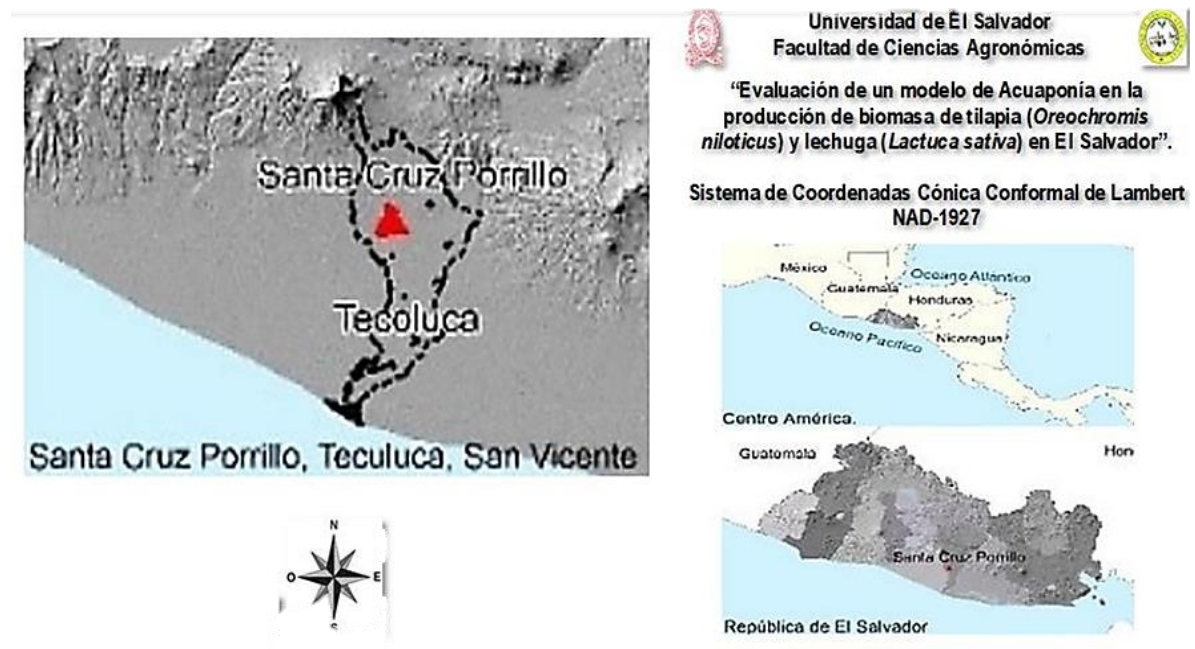


Figura 4. Ubicación de la investigación.

3.1.1. Ubicación temporal

La temporalidad de la investigación fue de siete meses. La metodología de campo y de laboratorio se inició en el mes de julio de 2017 y se finalizó a inicios del mes de enero de 2018.

3.1.2. Ubicación ambiental

La temperatura promedio de la Estación Acuícola de Santa Cruz Porrillo es de 37 grados Celsius ($^{\circ}$ C), los vientos con velocidades promedio de 16 kilómetros por hora (km/h), la humedad relativa varía entre 35-69%.

3.2. Metodología de campo

Se cultivó tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) de la variedad Longifolia, en un sistema acuapónico de raíz flotante (figura 5). Se construyeron tres sistemas de producción intensiva de tilapia donde la alta densidad de peces por estanque fueron los tratamientos.



Figura 5. Sistema acuapónico de raíz flotante.

3.2.1. Diseño y construcción del sistema acuapónico

La investigación se diseñó y estableció en un área asignada dentro de la Estación Experimental, de 81 metros cuadrados (m^2), esta área total se dividió en 3 sub-áreas, cada una con $18 m^2$, iniciando el ensayo desde la limpieza del área (figura 6).



Figura 6. Delimitación y limpieza de área del ensayo.

En cada sub-área se construyó un modelo acuapónico (figura 7) con:

- 1) **A:** un tanque rectangular de material asbesto-cemento, con dimensiones de 1.39 metros (m) de largo, 1.06 m de ancho y 0.65 m de profundidad, aproximadamente de 1 metro cubico (m^3) de agua, donde se colocó las diferentes densidades del cultivo de tilapia ($T_1 = 50$ peces/ m^3 , $T_2 = 75$ peces/ m^3 y $T_3 = 100$ peces/ m^3).
- 2) **B y C:** dos filtros mecánicos que funcionaron como sedimentador después de cada tanque.
- 3) **D:** un tercer filtro biológico que contuvo bacterias nitrificantes naturales presentes en el agua de los estanques, de donde se tomó el agua inicial en la estación, estas bacterias transformaron el amoniaco (NH_3) y el amonio (NH_4) presentes en las excretas de las tilapias, en nitritos y nitratos siendo estos últimos el alimento de las lechugas; para brindar a las bacterias mayor superficie para que se alojen se colocó un saco de nylon color rojo (los utilizados para transportar papa y cebolla), estos tres filtros fueron diseñados con barriles de plástico color celeste y capacidad de 35 galones (132.48 litros).
- 4) **E:** una cama hidropónica para las plantas de lechuga, la cual se elaboró de madera rústica de ceiba (*Ceiba pentandra*), conacaste blanco (*Enterolobium cyclocarpum*), cedro (*Cedrela odorata* L.) y amate (*Ficus trigonata* L), con dimensiones de 4 m de largo, 1 m de ancho y 0.25 m de profundidad, fueron forradas con cartón de cajas, para evitar punzonamiento del plástico con astillas de madera y plástico negro (polietileno de baja densidad) contener el agua en las camas de siembra.

- 5) **F**: un barril de plástico color celeste, con capacidad de 200 litros (52.84 galones), realizó la función de tanque receptor de agua proveniente de la salida de la cama hidropónica.

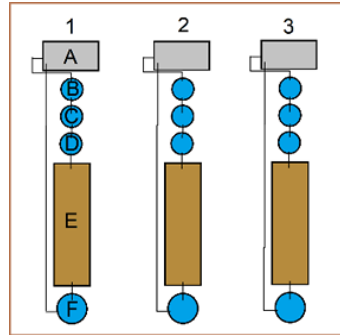


Figura 7. Esquema de distribución del sistema acuapónico.

Las partes de la A hasta la E se montaron a una altura de 0.50 m del suelo (figura 8), sobre troncos de madera de amate y coco (*Cocos nucifera*), se conectaron por tubos de color blanco de Policloruro de Vinilo (PVC) de 2 pulgadas, pegados con silicón transparente para fontanería.



Figura 8. Montaje de pila asbesto, barriles y cama acuapónica.

Se construyó un techo de madera de cedro en tipo de “dos aguas” en dos niveles (figura 9), para obtener mejor ventilación repartida uniformemente y mayor evaporización superior aconsejable para climas cálidos. Se instalaron columnas de madera y viga cumbreira a una altura de 3 m, de 25 cm de grosor y 9 metros de largo, anclajes de viga de amarre de cemento a 2.5 m de altura, 25 cm de grosor y 9 metros de largo, viguetas con ramas de bambú (*Phyllostachys aurea*) de un largo de 3 m, con cubiertas de plástico transparente UV y malla sarán con 30% de luminosidad y 70% de sombra (figura 10).



Figura 9. Techo de madera de dos aguas asimétrico.



Figura 10. Techo cubierto con tela sarán para proteger del sol.

Al final de la cama del cultivo de lechuga se instaló la salida del agua con un tubo de PVC de 1½ pulgada de diámetro y 0.40 m de largo, se colocó el barril recolector (F) a una profundidad de 0.80 m por debajo del nivel del suelo, al fondo del barril (figura 11) se colocó una bomba sumergible marca “Little Giant”, modelo “Submersible Pumpel” MPN “2E-38N”, de 115 Voltios de capacidad, la cual transportó el agua por medio de una manguera de polietileno de media pulgada de diámetro, de color negro.



Figura 11. Barril receptor y bomba sumergible.

Se diseñó un sistema eléctrico para distribuir la energía eléctrica a las bombas sumergibles que fueron colocadas en los barriles de recepción, los cuales fueron utilizados para la recirculación del agua hacia el inicio del sistema acuapónico, y a los dos aireadores marca “HIBLOW”, de 50 Watts de potencia, modelo “HP-150-0110”, utilizados para airear el agua de los tanques de asbesto cemento y favorecer el crecimiento de las tilapias en las pilas de asbesto cemento.

Para la instalación de este sistema se necesitó una extensión de 20 m de largo, la cual transporta la electricidad de 110 Voltios desde el acuario de la Estación Experimental hasta el ensayo acuapónico, en cada módulo se colocó una estaca de madera de cedro de 50 centímetros de alto y 10 cm de grosor, a un costado de los barriles de recepción, estas estacas fueron enterradas a 20 cm por debajo del nivel del suelo, en cada una de ellas se colocó un tomacorriente para conectar las bombas (figura 12).

Los aireadores fueron colocados en el mismo soporte de madera de las pilas de asbesto, al lado derecho e izquierdo de la pila del módulo medio del tratamiento. Para regular los periodos de aireación y de circulación del agua por todo el sistema se conectó un temporizador digital de alta resistencia, marca “General Electric”, modelo 15079 con 1.5 Amperios (A) y 60 hercio (Hz).



Figura 12. Instalación del sistema eléctrico.

Se construyó un sistema de aireación (figura 13) con un tubo de PVC de media pulgada, de 6 m de largo, sellado por los extremos con tapones de PVC de media pulgada, al centro del tubo se realizó una conexión de manguera de polietileno de una pulgada que conecta con los aireadores, se dividió el tubo en tres partes, en donde se hicieron cuatro perforaciones para cada módulo, en estas se conectaron mangueras poliflow de 3/8 de pulgada, tres de ellas de 1 m de largo colocadas en los estanques y una de 2 m de largo colocada en el tercer filtro biológico.



Figura 13. Sistema de aireación.

3.2.2. Manejo del cultivo de tilapia

La desinfección del tanque de peces se realizó con un encalado, utilizando 125 gramos (g) de Óxido de Calcio (CaO) por m² del estanque.

Antes de realizar la siembra de las tilapias se aclimato la temperatura del agua de la bolsa del transporte de las tilapias, haciendo flotar la bolsa plástica con las tilapias en el estanque por 15 minutos, para disminuir el estrés de los peces y por lo tanto el porcentaje de mortalidad de peces. Luego se liberaron los peces en el agua de los tanques de asbesto.

Se sembraron tilapias en etapa de desarrollo intermedio o engorde, con un peso inicial de entre 24-29 g (juvenil), en densidades de 50, 75 y 100 peces por m³ de agua.

Se les proporcionó alimentos concentrados (figura 14) que contenían los requerimientos nutricionales esenciales en su etapa juvenil. El porcentaje de proteína utilizado en el primer mes fue de 38% y del segundo mes a la cosecha se disminuyó a 32%.



Figura 14. Raciones y sacos de concentrado.

El alimento proporcionado diariamente se dividió en 2 raciones: la primera a las 9:00 a.m. y la segunda a las 3:00 p.m., este se calculó de acuerdo con el peso obtenido en los muestreos realizados cada dos semanas. Las cantidades proporcionados al día se visualizan en el siguiente cuadro:

Cuadro 6. Cantidad de alimento proporcionado según muestreos.

Tratamientos	Cantidad de alimento al día (g)		
	Bloque I	Bloque II	Bloque III
Tratamiento 1 = 50 peces/m³			
mx 1 (semana 1-2)	78.10	84.60	84.60
mx 2 (semana 3-4)	144.18	151.20	126.00
mx 3 (semana 5-6)	223.56	191.15	198.20
Tratamiento 2 = 75 peces/m³			
mx 1 (semana 1-2)	127.80	128.70	128.70
mx 2 (semana 3-4)	231.94	217.89	166.41
mx 3 (semana 5-6)	321.44	260.48	185.85
Tratamiento 3 = 100 peces/m³			
mx 1 (semana 1-2)	170.40	172.80	172.80
mx 2 (semana 3-4)	279.90	266.04	204.24
mx 3 (semana 5-6)	370.26	300.60	213.30

En el muestreo se utilizó una red o lumpen para la captura de peces y bascula electrónica (figura 15), y consistió en capturar parte de la población de peces, contarlos y pesarlos; el peso total de la muestra se dividió entre el número de peces muestreados para obtener el peso promedio de los peces, este dato sirvió para calcular la cantidad de alimento, a través de las tablas que establecen el porcentaje diario de alimentación para cada etapa según el peso alcanzado, en nuestro caso fue de 5-6% para los pesos promedios entre 25-50 g. Además, durante el muestreo se examinaron los peces en busca de parásitos, daños en la piel y en aletas (figura 16), de manera de identificar a tiempo la incidencia de parásitos o de enfermedades (MAG 2001).



Figura 15. Instrumentos para el muestreo de tilapia.



Figura 16. Inspecciones visuales en campo y laboratorio.

Para minimizar el riesgo de enfermedades, se controlaron aquellos factores externos no biológicos como el oxígeno y el pH. Se monitoreó el comportamiento de los peces en los estanques y los cambios en su anatomía (figura 17).



Figura 17. Monitoreo de la anatomía y comportamiento de los peces.

Se realizó una cosecha total al mes y medio después de sembrados los peces. Temprano por la mañana se inició la cosecha, para ello se usó un lumpen. Esta red se pasó por el estanque encerrando los peces, posteriormente se pesaron en una balanza electrónica y para obtener la talla se midieron con regla métrica (figura 18).



Figura 18. Peso y medición de tilapias.

3.2.3. Manejo del cultivo de lechuga

Se adquirieron plántulas de lechuga de 30-40 días de edad, las cuales tenían entre 5 a 6 hojas y midieron 8 cm de altura. La siembra se realizó en pliegos de poliestireno (durapax), de 2 pulgadas de grosor, en el cual se hicieron agujeros de dos pulgadas de diámetro, donde se colocaron los vasos transparentes de polietileno, de una onza de capacidad, para contener en su interior las plantas de lechuga, soportadas o ancladas por un sustrato inerte de espuma de poliuretano, color celeste, cortada en cubos de una pulgada cuadrada (figura 19).



Figura 19. Siembra de lechugas en el sistema acuapónico.

El mantenimiento y manejo del cultivo de lechuga en raíz flotante incluyó el control de plagas y enfermedades (figura 20), que se llevó a cabo mediante la observación minuciosa para el descarte de plantas enfermas y el control mecánico de plagas. Además, se realizó la verificación de la conductividad eléctrica y el pH de la solución nutritiva.



Figura 20. Insectos encontrados dentro del sistema acuapónico.

La cosecha de la lechuga se realizó a los 30 días después del trasplante, para ello se extrajo manualmente la lechuga que estaba dentro del vaso de plástico de la cama hidropónica (figura 21).



Figura 21. Cosecha y medición de lechugas.

3.2.4. Actividades realizadas diariamente

Las actividades realizadas diariamente fueron: alimentación de peces, control del nivel del agua en los estanques y llenado del agua faltante, control de fugas de agua en las tuberías (figura 22), control de las entradas y salidas de agua, verificación del normal flujo de agua y de posibles obstrucciones, observación minuciosa de las plantas para descartar la presencia de plagas o enfermedades, control mecánico de plagas, control de pérdidas de agua en las camas.



Figura 22. Control de fugas y llenado de agua.

Las actividades realizadas semanalmente fueron: medición del agua de entrada al tanque de peces (*in situ*), pH, nitratos y nitritos, temperatura y oxígeno disuelto; al agua de entrada a las camas del cultivo (*in situ*), pH y conductividad eléctrica.

3.3. Metodología de laboratorio

Para la evaluación de la eficiencia del sistema acuapónico se realizó análisis físico-químicos (*in situ*) tres veces a la semana en horas de la mañana, con el equipo (figura 23) del laboratorio de calidad del agua (figura 23) de la Estación Acuícola de Santa Cruz Porrillo de CENDEPESCA.



Figura 23. Instrumentos utilizados para las mediciones físico-químicas.

Para realizar la evaluación del pH, temperatura y conductividad eléctrica se utilizó el multiparámetro resistente al agua marca “PCSTestr35” modelo “WD-35425-10”; para la medición del oxígeno disuelto se utilizó el instrumento de oxígeno disuelto marca “YSI” modelo “550A”.

Para medir la transparencia del agua se sumergió verticalmente el disco de Secchi en el punto medio del tanque hasta que se dejó de ver, se registró la profundidad y se volvió a subir hasta que nuevamente se hizo visible, luego se promedió las dos medidas (desaparición con disco descendiendo y aparición en ascenso) para obtener una medida de la transparencia del agua. Para la medición de nitratos y nitritos se utilizó tiras de prueba de nitrito y nitrato “AquaChek rosa 641426” marca “HACH”, siguiendo los pasos de calibración y medición de los manuales.

3.4. Metodología estadística

Para el análisis de los datos se aplicó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), las variables evaluadas fueron la producción de biomasa animal y vegetal del sistema acuapónico.

Los parámetros medidos fueron: peso en gramos de la tilapia, longitud en centímetros de la tilapia y el peso en gramos de la lechuga; el factor de bloqueo fue el periodo o tiempo de realización del experimento, los tratamientos fueron tres y cada uno de ellos tuvo tres repeticiones (cuadro 7): $T_1 = 50$ peces/m³, $T_2 = 75$ peces/m³ y $T_3 = 100$ peces/m³, los tres tratamientos tenían 4 m² de cultivo hidropónico de lechuga variedad Longifolia.

Cuadro 7. Densidad de tilapia y lechuga por tratamiento.

Tratamientos	Densidad de tilapia	Densidad de lechuga
1	50 peces/m ³	64 plantas/4 m ²
2	75 peces/m ³	64 plantas/4 m ²
3	100 peces/m ³	64 plantas/4 m ²
Total por bloque	225	192
Total investigación	675	576

Se aplicó una Prueba de Contrastes Ortogonales por obtener diferencia significativa entre tratamientos, que definió cuál de los tratamientos (densidades de peces) produce mejor efecto en la producción de biomasa vegetal.

El nivel de significancia del estudio fue del 5%, por ser un experimento de campo. El análisis de datos se realizó con el software estadístico INFOSTAT versión 9.0.

Además, se realizó un análisis descriptivo de los parámetros físico-químicos del agua del estanque de tilapias y de la cama hidropónica, para verificar que los parámetros se encuentren dentro del rango de desarrollo de los cultivos.

3.5. Costos de inversión

El cuadro 8 detalla los costos de los equipos utilizados en el sistema acuapónico en los tres bloques de la investigación.

Cuadro 8. Costos de los equipos.

Concepto	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (dólares)	Precio Total (dólares)
pH-metro	1	Unidad	\$135.81	\$135.81
Oxigenometro	1	Unidad	\$330.00	\$330.00
Kit de nitritos y nitratos	1	Unidad	\$136.62	\$136.62
Electroconductivimetro	1	Unidad	\$109.00	\$109.00
Aireadores	1	Unidad	\$325.00	\$325.00
Bombas sumergibles	3	Unidad	\$89.95	\$269.85
Total				\$1,306.28

Se evaluó el sistema acuapónico con el fin de tener una nueva alternativa de fuente de ingresos para los productores de tilapia en el país, obteniendo los siguientes costos de inversión-operación de los materiales utilizados en el ensayo (cuadro 9).

Cuadro 9. Costos de inversión y de operación de materiales.

Concepto	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (dólares)	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Precio Total (dólares)
				Densidad 50 peces. 64 lechugas.	Densidad 75 peces. 64 lechugas.	Densidad 100 peces. 64 lechugas.	
Estanques (1 m ³)	3	Unidad	\$100.00	\$100.00	\$100.00	\$100.00	\$300.00
Barriles (35 gl)	9	Unidad	\$30.00	\$90.00	\$90.00	\$90.00	\$270.00
Barriles (55 gl)	3	Unidad	\$20.00	\$20.00	\$20.00	\$20.00	\$60.00
Tubería PVC 2"	12	Metros	\$5.95	\$23.80	\$23.80	\$23.80	\$71.40
Codos 45° PVC	30	Unidad	\$0.95	\$9.50	\$9.50	\$9.50	\$28.50
Válvulas de paso	9	Unidad	\$14.50	\$43.50	\$43.50	\$43.50	\$130.50
Sumidero lava trastos	9	Unidad	\$15.00	\$45.00	\$45.00	\$45.00	\$135.00
Plástico	12	Yardas	\$0.95	\$3.80	\$3.80	\$3.80	\$11.40
Alevines*	675	Unidad	\$0.05	\$3.50	\$5.25	\$7.00	\$15.75
Durapax* (4 m x 8 m x 3 pg.)	4	Unidad	\$7.00	\$9.33	\$9.33	\$9.33	\$27.99
Alimento tilapia*	2	Quintales	\$38.00	\$25.33	\$25.33	\$25.33	\$75.99
Clavos p/madera	2	Libras	\$1.05	\$0.70	\$0.70	\$0.70	\$2.10
Alambre galvanizado calibre 16	5	Libras	\$0.60	\$1.00	\$1.00	\$1.00	\$3.00
Plantines de lechuga (bandejas)	3	Unidades	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$30.00
Malla*	15	Metros	\$2.50	\$12.50	\$12.50	\$12.50	\$37.50
Silicón de tubería	9	Unidades	\$2.00	\$6.00	\$6.00	\$6.00	\$18.00
Subtotal por tratamiento				\$403.96	\$405.71	\$407.46	\$1,217.13
TOTAL							\$1,217.13

4. Resultados y Discusión

4.1. Peso en gramos de las tilapias

Sobre el objetivo específico comparar el peso en gramos de tilapia en tres densidades de siembra en un sistema acuapónico, se obtuvieron los siguientes resultados: para el peso en gramos de las tilapias, el tratamiento que más ganancia de peso promedio tuvo fue el tratamiento 1 (50 peces/m³) y un peso promedio de 76.1 g en los tres bloques, obteniendo el mayor peso en la repetición 3 (90.7 g) (cuadro 10).

Sin embargo, se tuvo un contraste entre los pesos de los tratamientos 2 y 3 en los bloques II y III, porque el tratamiento 3 presenta mayor ganancia de peso promedio (48.2 g) en comparación con el tratamiento 2 (46.6 g), esto puede atribuirse al peso obtenido al momento de realizar los muestreos, ya que en cada muestreo se pesaban tilapias seleccionadas al azar, pero al realizar el análisis estadístico y al aplicar el método de Contrastes Ortogonales, los tratamientos 2 y 3 no están produciendo resultados significativos sobre la variable ganancia de peso de tilapia.

Cuadro 10. Peso promedio (g) de tilapias.

Tratamientos	Bloques (g)			Promedio (g)
	I	II	III	
1 (50 peces)	77.7	60	90.7	76.1
2 (75 peces)	57.2	44.7	38.1	46.6
3 (100 peces)	55.5	49.1	40	48.2
Total	190.4	153.8	168.8	

Según Saavedra (2006), los peces crecen más rápido cuando tienen mucho espacio y mayor cantidad de agua, si la densidad es muy alta genera estrés en los peces y afecta la ganancia de peso, aseveración que coincide con los resultados obtenidos en esta investigación.

4.1.1. Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilks (modificado)

El valor de la prueba unilateral fue de 0.8561 (cuadro 11), el cual es mayor a la probabilidad establecida de 0.05%, por lo que se concluye que las varianzas de los tratamientos son iguales, y se procede al análisis de los datos en su forma original.

Cuadro 11. Normalidad de Shapiro Wilks para peso en gramos de tilapia.

Variable	n	Media	DE	W*	P (Unilateral D)
RDUO VR	9	0.00	9.90	0.96	0.8561

4.1.2. Análisis de Varianza

La probabilidad para los tratamientos es igual a 0.0334 (cuadro 13), resultando menor a la probabilidad establecida en la investigación que es igual a 0.05, por lo que las tres densidades de siembra: 50 peces/m³, 75 peces/m³ y 100 peces/m³, están produciendo efectos diferentes sobre la variable peso en gramos de tilapia, visualizándose mayor ganancia de peso en el tratamiento 1 de 50 peces/m³, obteniendo las mejores ganancias de peso entre los tres tratamientos en los tres bloques efectuados.

Cuadro 12. Coeficiente de variación para peso en gramos de tilapia.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
VR	9	0.68	0.57	20.06

Cuadro 13. Análisis de Varianza (SC tipo III) para peso en gramos de tilapia.

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1650.91	2	825.45	6.31	0.0334
Tratamiento	1650.91	2	825.45	6.31	0.0334
Error	784.47	6	130.75		
Total	2435.38	8			

4.1.3. Prueba de Contrastes Ortogonales

Contraste 1 ($C_1 = 50 \text{ peces/m}^3 - 75 \text{ peces/m}^3, 100 \text{ peces/m}^3$)

La comparación de la densidad de siembra 50 peces/m³ contra 75 peces/m³ y 100 peces/m³, está produciendo diferentes efectos sobre la variable producción de biomasa animal, con una probabilidad de 0.05, produciendo los mejores efectos la densidad de 50 peces/m³ en 57.40 unidades más que las densidades de 75 peces/m³ y 100 peces/m³.

Contraste 2 ($C_2 = 75 \text{ peces/m}^3 - 100 \text{ peces/m}^3$)

La comparación de la densidad de siembra de 75 peces/m³ contra 100 peces/m³, está produciendo iguales efectos sobre la variable producción de biomasa animal, con un nivel de significancia del 5% (cuadro 15).

Cuadro 14. Coeficientes de los Contrastes Ortogonales.

Tratamiento	C ₁	C ₂
1	2.00	0.00
2	-1.00	1.00
3	-1.00	-1.00

Cuadro 15. Contrastes Ortogonales para peso en gramos de tilapia.

Tratamiento	Contrastes	EE	SC	gl	CM	F	p-valor
C ₁	57.40	16.17	1647.38	1	1647.38	12.60	0.0121
C ₂	-1.53	9.34	3.53	1	3.53	0.03	0.8749
Total			1650.91	2	825.45	6.31	0.0334

4.2. Longitud en centímetros de las tilapias

Sobre el objetivo específico comparar la longitud en centímetros de tilapia en tres densidades de siembra en un sistema acuapónico, se obtuvieron los siguientes resultados: para la longitud de las tilapias (cm), el tratamiento que más longitud promedio alcanzo fue el tratamiento 1 (50 peces/m³), con una longitud promedio de 14.1 cm, obteniendo la mayor longitud en el bloque 1 con 14.6 cm (cuadro 16).

Cuadro 16. Longitud promedio (cm) de las tilapias.

Tratamientos	Bloques (cm)			Promedio (cm)
	I	II	III	
1 (50 peces)	14.6	13.5	14.4	14.1
2 (75 peces)	15.3	12.7	12.5	13.5
3 (100 peces)	13.8	13.2	12.7	13.2
Total	43.7	39.4	39.6	

Según Meyer (1999) citado por García *et al.* (s. f.), el crecimiento de los peces depende en gran parte de la calidad del agua, por lo que, 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.

Por lo tanto, a partir de la cita anterior se cree que las tilapias en el tratamiento 1 poseían mejor calidad de agua lo que influyo en su longitud medida en centímetros.

4.2.1. Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilks (modificado)

El valor de la prueba unilateral es igual a 0.4758 (cuadro 17), mayor a la probabilidad establecida 0.05, por lo que se concluye que las varianzas de los tratamientos son iguales, y se procede al análisis de los datos en su forma original.

Cuadro 17. Prueba de Normalidad de Shapiro Wilks para longitud de tilapia.

Variable	n	Media	DE	W*	P (Unilateral D)
RDUO VR	9	0.00	0.88	0.91	0.4758

4.2.2. Análisis de Varianza

La probabilidad para los tratamientos es igual a 0.5445 (cuadro 19), resultando mayor a la probabilidad establecida en la investigación que es igual a 0.05, por lo que las 3 densidades de siembra: 50 peces/m³, 75 peces/m³ y 100 peces/m³, no están produciendo efectos diferentes sobre la variable longitud de los peces en centímetros.

Cuadro 18. Coeficiente de variación para longitud en centímetros de tilapia.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
VR	9	0.18	0.00	7.44

Cuadro 19. Análisis de Varianza (SC tipo III) para longitud (cm) de tilapia.

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.39	2	0.69	0.67	0.5445
TRATAMIENTO	1.39	2	0.69	0.67	0.5445
Error	6.17	6	1.03		
Total	7.56	8			

4.3. Calidad del agua en el cultivo de tilapias

Sobre el objetivo específico medir los parámetros de calidad del agua en un sistema acuapónico para el cultivo de tilapia (temperatura, oxígeno disuelto, pH, nitritos y nitratos), se obtuvieron los siguientes resultados:

4.3.1. Temperatura

Según Colagrosso (2014), el rango óptimo se encuentra en un rango de 28-32 °C, la temperatura del agua durante los tres ciclos del ensayo se mantuvo en un rango entre 27.4-30° C, con un promedio general de $29 \pm 1^\circ \text{C}$, lo que concuerda con una excelente temperatura para el desarrollo de tilapia.

Los peces son poiquilotermos, variando su temperatura de acuerdo con la temperatura del medio en que viven, adaptándose a las variaciones moderadas de temperatura, en un intervalo de tolerancia dependiente de cada especie en particular (FAO 2011).

Según Saavedra (2006), las temperaturas ideales para tilapia son entre 25-32° C, por lo cual, los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con lo reportado por el autor y de igual manera con lo reportado por Colagrosso (2014), quien establece un rango de temperaturas entre 28-32° C para el óptimo desarrollo del cultivo de tilapia en sistemas acuapónicos.

Cuadro 20. Temperaturas promedio en los estanques de tilapias.

Tratamientos	Bloques (Grados centígrados)			Promedio (Grados centígrados)
	I	II	III	
1	29.8	29.9	30.3	30
2	29.5	29.7	29.7	29.6
3	27.2	27.5	27.5	27.4

La permanencia de la temperatura en el grado óptimo ejerció un efecto positivo sobre el crecimiento, la tasa metabólica, la fisiología y el consumo de oxígeno de las tilapias, generando estabilidad en el ecosistema, disminuyendo el estrés, el porcentaje de mortalidad, aumentando el apetito y las defensas resultando menos susceptibles a enfermedades bacterianas y parasitarias (Fernández s.f.).

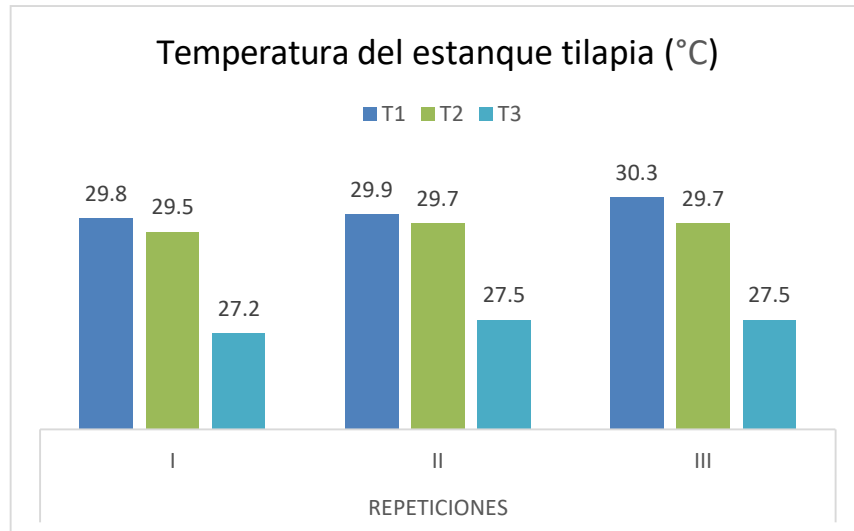


Figura 24. Temperaturas promedio en los estanques de tilapias.

La densidad de peces en el factor temperatura no tuvo efectos no significativos, ya que se contó con un sistema de aireación que mejoraba las condiciones del clima dentro del estanque en el que permanecieron los diferentes tratamientos.

4.3.2. Oxígeno disuelto

El resultado promedio del oxígeno disuelto obtenido durante los tres ciclos de la investigación fue de 6.4 mg/l. Durante el día el oxígeno fluctuaba de acuerdo con la hora, al amanecer los niveles de oxígeno disuelto eran más bajos, pero a medida que transcurría el día con la presencia de la luz del sol, el oxígeno disuelto aumentaba a niveles que llegaban hasta 8 mg/l, lo cual coincide con lo reportado por FAO (2011), en donde menciona que el fitoplancton (plantas microscópicas del estanque) son las que producen oxígeno y hacen que esta variable se eleve y vuelva óptima.

Cuadro 21. Oxígeno disuelto (mg/l) en los tanques de tilapias.

Tratamientos	Bloques (mg/l)			Promedio (mg/l)
	I	II	III	
1 (50 peces)	6.3	6.3	6.3	6.3
2 (75 peces)	6.4	6.8	6.1	6.4
3 (100 peces)	6.2	6.5	5.9	6.2

La densidad de peces en el factor oxígeno disuelto no tuvo efectos significativos, ya que se contó con un sistema de aireación que mejoraba las condiciones del clima dentro del estanque en el que permanecieron los diferentes tratamientos durante los tres tratamientos. La concentración de oxígeno disuelto en el agua es una de las principales características para definir la calidad del agua para la acuicultura, los valores mayores a 5 mg/l son claves para el óptimo desarrollo del cultivo de tilapia (FAO y TECA 2017).

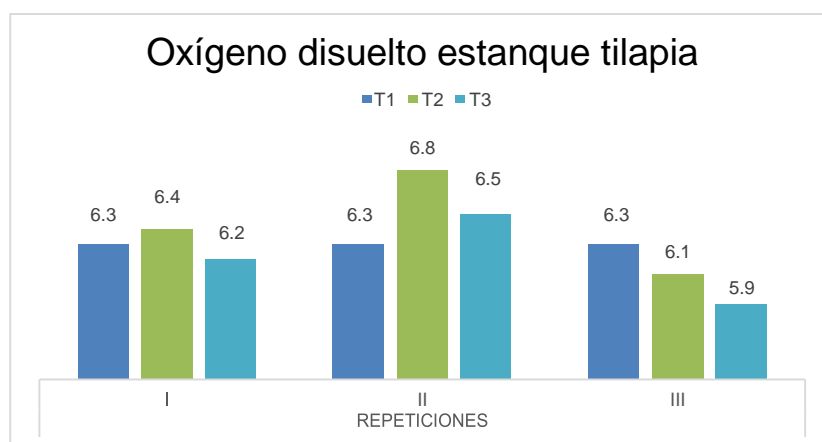


Figura 25. Oxígeno disuelto (mg/l) en los estanques de tilapia.

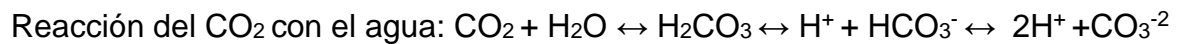
4.3.3. Potencial de hidrógeno (pH)

Según FAO (2011) los valores ideales están en el rango de 6.5-9. Esta variable tiene una relación directa con las dos variables anteriores (temperatura y oxígeno disuelto), ya que al elevarse la temperatura los niveles de oxígeno aumentan y consigo el pH. Durante los tres ciclos de producción, el agua de todos los estanques se mantuvo con un valor estable de pH de 7.2 (cuadro 22), valor que genera una condición favorable para el cultivo de tilapia.

Cuadro 22. Resultados promedio de pH en los estanques de tilapias.

Tratamientos	Bloques			pH Promedio
	I	II	III	
1 (50 peces)	7.2	7.3	7.3	7.2
2 (75 peces)	7.3	7.3	7.5	7.3
3 (100 peces)	7.2	7.2	7.3	7.2

El pH de las aguas naturales es modificado en gran parte por la concentración de bióxido de carbono (CO_2) en solución, el cual es generado por los desechos de los peces, restos de alimento y la materia orgánica. Su acumulación tiende a bajar el pH del agua, provocando la formación de protones adicionales ya que actúa como ácido en el agua (Meyer 2004).



La clave para el control de este parámetro consistió en la utilización de filtros mecánicos que separaban los residuos sólidos, que luego eran removidos del sistema para prevenir la liberación de gases tóxicos por parte de bacterias dañinas que se alimentan de los residuos acumulados. Además, estos residuos gruesos podían obstruir el sistema (tuberías, bombas, otras) e interrumpir el flujo de agua, causando condiciones estresantes para las raíces de las plantas.

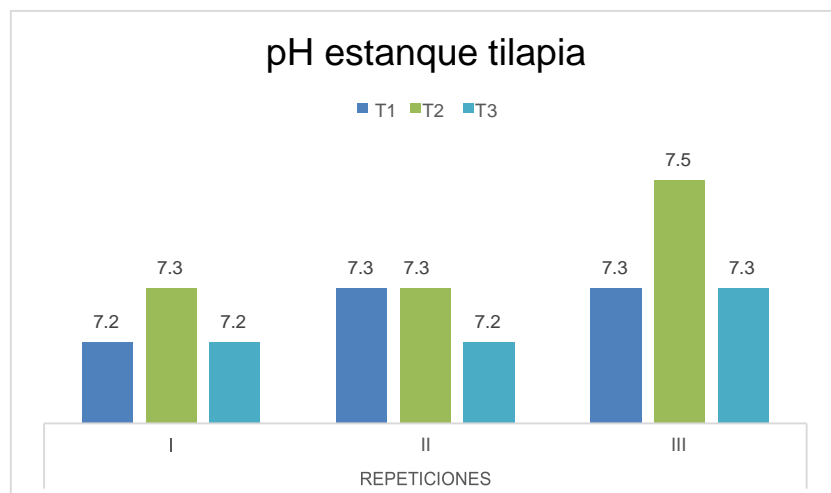


Figura 26. pH promedio en estanques de tilapia.

Durante las horas de luz solar las algas utilizan el CO_2 para realizar fotosíntesis, la concentración de CO_2 se reduce y como consecuencia sube el pH del agua. En la noche no hay actividad fotosintética, la respiración de los organismos aeróbicos (peces, fitoplancton, zooplancton, bacterias y otros) produce CO_2 y su concentración aumenta hasta la mañana del día siguiente. Los valores de pH más bajos en el agua de un estanque son encontrados en horas de la madrugada (FAO 2011).

Además, el pH no se vio influenciado por la densidad de peces ya que se contó con un sistema de aireación que mejoraba las condiciones de la calidad del agua dentro de los tanques de los diferentes tratamientos.

4.3.4. Nitritos y nitratos

Ver anexo 5 para observar el porcentaje de nitrógeno presente en las tres muestras de agua de los estanques de los tres tratamientos.

4.3.4.1. Nitratos

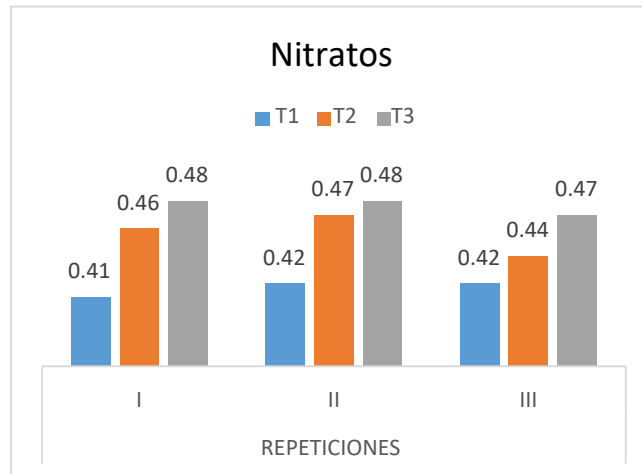
Durante los tres ciclos de producción el agua de todos los estanques se mantuvo con un valor de Nitratos en un rango de 0.42 a 0.48 mg/l (cuadro 23).

Cuadro 23. Resultados promedio de nitratos en el sistema acuapónico.

Tratamientos	Bloques (mg/l)			Promedio (mg/l)
	I	II	III	
1 (50 peces)	0.41	0.42	0.42	0.42
2 (75 peces)	0.46	0.47	0.44	0.46
3 (100 peces)	0.48	0.48	0.47	0.48

Según FAO y TECA (2017), los valores de nitratos para un sistema acuapónico deben ser entre 5 y 150 mg/litro en cada sistema. En esta investigación se obtuvieron resultados abajo del rango mínimo, siendo el valor promedio más alto el del tratamiento 3 con 0.48 mg/litro (figura 27).

Figura 27. Resultados promedio de nitratos.



Esta variable tiene una relación directa con la cantidad de amoníaco que generan los residuos orgánicos de la tilapia y la conversión que realicen las bacterias benéficas en el biofiltro, para que puedan ser utilizadas posteriormente por la lechuga (FAO 2011).

El biofiltro ayuda a regular el equilibrio en el sistema, ya que cumple la función de “desactivar” la toxicidad del amoníaco y a su vez dejar disponible el nitrato, el nutriente principal para las plantas (si bien los tres compuestos nitrogenados pueden ser utilizados por las plantas, el nitrato es el compuesto más asimilable). los nitratos pueden llegar a ser tóxicos para los peces solo en concentraciones muy altas, mayores a 300-500 ppm, valores que nunca llegarán a concentrarse existiendo una apropiada densidad de vegetales en el sistema y sistemas de biofiltración (CENADAC s.f.).

4.3.4.2. Nitritos

Durante los tres ciclos de producción los valores de Nitritos se mantuvieron en un rango de 0.22 a 0.26 mg/l (cuadro 24).

Cuadro 24. Resultados promedio de nitritos en el sistema acuapónico.

Tratamientos	Bloques (mg/l)			Promedio (mg/l)
	I	II	III	
1	0.22	0.22	0.23	0.22
2	0.25	0.25	0.25	0.25
3	0.25	0.27	0.27	0.26

Según FAO y TECA (2017), los valores de nitritos para un sistema acuapónico deben ser menores a 1 mg/litro en cada sistema, por lo que los resultados de esta investigación están muy abajo del rango mínimo, siendo el valor promedio más alto el del tratamiento 3 con 0.27 mg/litro (figura 28), lo que significa que no hubo niveles tóxicos de nitritos que interfirieran con la habilidad de los peces para absorber oxígeno o con la generación de alguna enfermedad en estos.

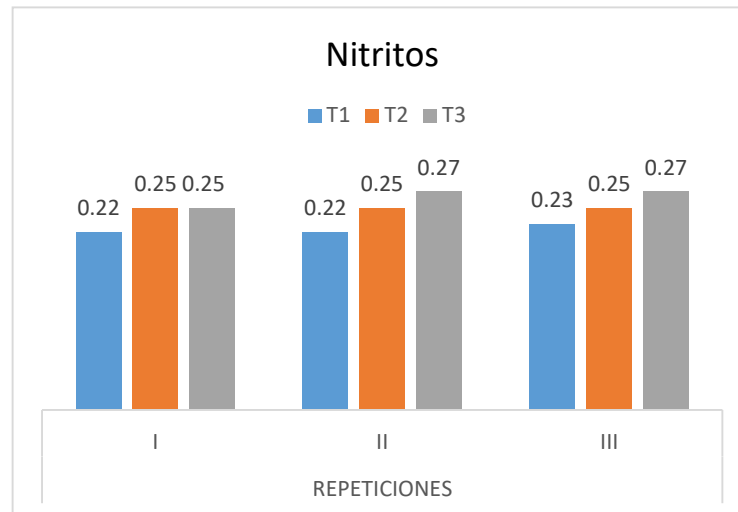


Figura 28. Resultados promedio de nitritos.

4.4. Peso en gramos de las lechugas

Sobre el objetivo específico de evaluar la producción de biomasa de lechuga con agua recirculada, se obtuvieron los siguientes resultados: el tratamiento que más ganancia de peso tuvo fue el tratamiento 1, con un peso promedio de 131.8 g, obteniendo el mayor peso en la repetición 1 (50 peces /m³) con 142.8 g (cuadro 25).

Cuadro 25. Peso promedio (g) de la lechuga.

Tratamientos	Bloques (g)			Promedio (g)
	I	II	III	
1	142.8	114.7	138.1	131.8
2	117.6	121.6	136.7	125.3
3	58.5	104.9	88.9	84.1
Total	318.9	341.2	341.2	

En un estudio realizado por Moreno y Zafra (2014), se determinó el crecimiento de lechuga con efluentes del cultivo de tilapia, usando la técnica de solución nutritiva recirculante (NFT), donde se evaluaron tratamientos con distintas densidades de peces/m³, obteniendo el mayor crecimiento (longitud de hoja y el peso fresco total) el tratamiento de 50 peces/m³, registrándose valores promedio de 118,20 g/planta y una rentabilidad de 2,261 kg/m², esto debido posiblemente a la influencia de la temperatura ambiente y al pH.

4.4.1. Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilks (modificado)

El valor de la prueba unilateral es 0.7740 (cuadro 26), la cual es mayor a la probabilidad establecida en la investigación de 0.05, por lo que se concluye que las varianzas de los tratamientos son iguales y se procede al análisis de los datos en su forma original.

Cuadro 26. Prueba de Normalidad de Shapiro Wilks para peso de lechuga.

Variable	n	Media	DE	W*	P (Unilateral D)
RDUO VR	9	0.00	14.86	0.95	0.7740

4.4.2. Análisis de Varianza

La probabilidad para los tratamientos es 0.0284 (cuadro 28), resultando menor a la probabilidad establecida en la investigación que es 0.05, por lo que las 3 densidades de siembra 50 peces/m³, 75 peces/m³ y 100 peces/m³, están produciendo efectos diferentes sobre la producción de biomasa vegetal.

Cuadro 27. Coeficiente de variación para peso en gramos de lechuga.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
VR	9	0.69	0.59	15.09

Cuadro 28. Análisis de Varianza (SC tipo III) para peso en gramos de lechuga.

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4022.22	2	2011.11	6.83	0.0284
TRATAMIENTO	4022.22	2	2011.11	6.83	0.0284
Error	1767.07	6	294.51		
Total	5789.28	8			

4.4.3. Prueba de Contrastes Ortogonales

Contraste 1 ($C_1 = 50 \text{ peces/m}^3 - 75 \text{ peces/m}^3, 100 \text{ peces/m}^3$)

La comparación de la densidad de siembra de 50 peces/m³ contra el de 75 peces/m³ y 100 peces/m³, está produciendo diferentes efectos sobre la variable producción de biomasa vegetal con una probabilidad igual a 0.05, produciendo los mejores efectos la densidad de 50 peces/m³ en 54.33 unidades más que las densidades de 75 peces/m³ y 100 peces/m³.

Contraste 2 ($C_2 = 75 \text{ peces/m}^3 - 100 \text{ peces/m}^3$)

La comparación de la densidad de siembra de 75 peces/m³ contra 100 peces/m³, está produciendo iguales efectos sobre la variable producción de biomasa.

Cuadro 29. Coeficientes de los Contrastes.

Tratamiento	C ₁	C ₂
1	-2.00	0.00
2	1.00	-1.00
3	1.00	1.00

Cuadro 30. Contrastes Ortogonales para peso en gramos de lechuga.

Tratamiento	Contraste	EE	SC	gl	CM	F	p-valor
Contraste 1	-54.33	24.27	1476.06	1	1476.06	5.01	0.6665
Contraste 2	-41.20	14.01	2546.16	1	2546.16	8.65	0.0259
Total			4022.22	2	2011.11	6.83	0.0284

4.5. Calidad del agua en el cultivo de lechuga

Sobre el objetivo específico analizar la calidad del agua recirculada en un sistema acuapónico para el cultivo de tilapia y lechuga, se obtuvieron los siguientes resultados:

4.5.1. Temperatura

En los tres ciclos de la investigación la temperatura ambiente de la raíz en todos los tratamientos tuvo un rango promedio de 28.1 a 28.4° C, variable que se vio afectada debido a las condiciones de temperatura y humedad relativa del sitio en el que se desarrolló la investigación. En los resultados de la temperatura del agua en el cultivo de lechuga hubo variación, debido a las condiciones climáticas del lugar, ya que, en la realización del tercer bloque en el mes de diciembre de 2017, hubo lluvias y eso hizo que la temperatura ambiental y del sistema bajaran en 30° C aproximadamente.

Cuadro 31. Temperaturas promedio en camas hidropónicas.

Tratamientos	Bloques			Promedio (Grados centígrados)
	I	II	III	
1	29.6	29	26.6	28.4
2	29	28.9	26.8	28.2
3	29.1	28.8	26.5	28.1

Según Smithers Oasis (s.f.), la temperatura radicular es muy importante para la mayoría de cultivos, ya que si no se encuentra en su temperatura ideal, la planta detendrá su crecimiento y en algunos casos se pueden manifestar deficiencias nutrimentales. La temperatura de las raíces no debe bajar de 13° C, ni estar sobre los 30° C, puede variar dependiendo del cultivo.

De acuerdo con Jaques (2005) citado por Gutiérrez (2011), la temperatura óptima para el cultivo de lechuga es de 18 a 23° C.

Thompson et al. (1998) citado por Gutiérrez (2011), señalan que la temperatura adecuada en la raíz que favorece la mayor acumulación de materia seca en la lechuga es de 24° C.

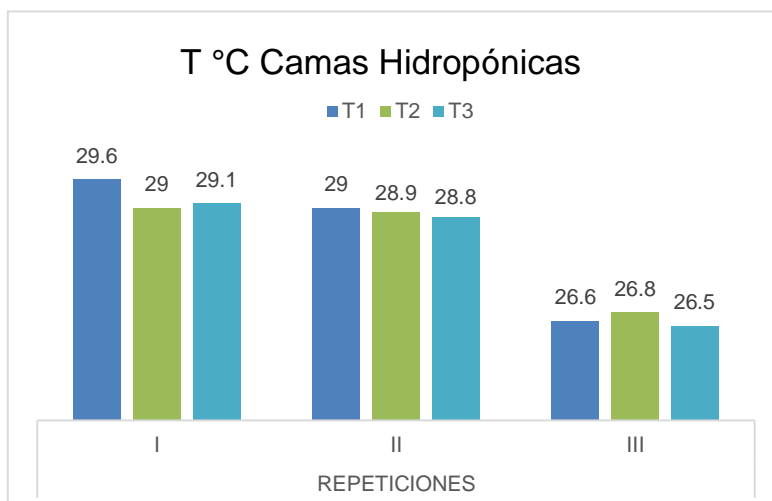


Figura 29. Temperatura promedio en camas hidropónicas con lechuga.

4.5.2. Potencial de hidrógeno (pH)

El rango de pH promedio a lo largo del desarrollo de la investigación fue de 6.7 a 6.8. Este rango no se mantuvo dentro del rango óptimo para que las plantas se desarrollen normalmente en sistemas de acuaponía, debido a la poca fluctuación del pH entre el agua del estanque de peces y el agua del filtro biológico.

Cuadro 32. pH promedio en las camas hidropónicas.

Tratamientos	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
1	6.8	6.9	6.8	6.8
2	6.8	6.8	6.7	6.7
3	6.7	6.7	6.7	6.7

El pH influye sobre la absorción de los nutrientes por parte de la planta. El rango que debe manejarse es de 5.5 a 6, aunque algunos autores lo manejan hasta 6.5. Si el pH se encuentra por debajo o por arriba de este rango algunos elementos reaccionan y forman compuestos insolubles que posteriormente son precipitados y depositados en el fondo (Smithers Oasis s.f.).

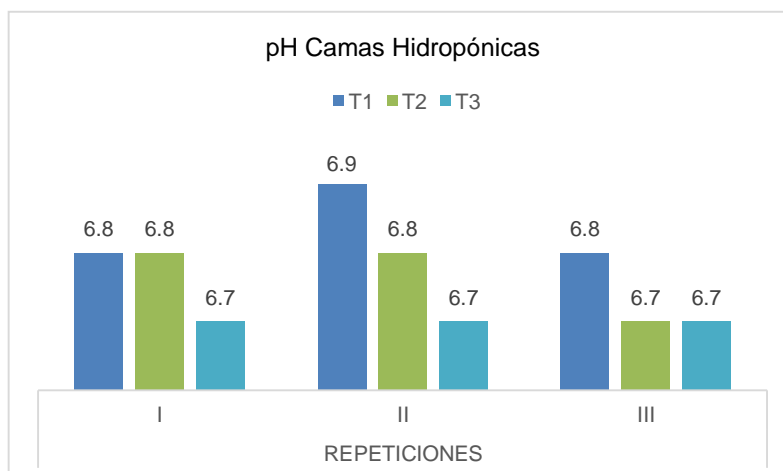


Figura 30. pH promedio en camas hidropónicas.

4.5.3. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de la solución nutritiva tuvo un promedio de 2.8 dS/m (cuadro 33) en los tres bloques y los tres tratamientos. Lo anterior se puede explicar por la existencia de una mayor evapotranspiración en las plantas, que trae como consecuencia una acumulación progresiva de sales en el sustrato y con ello un aumento de la conductividad eléctrica del mismo, lo cual coincide con lo reportado por Castellanos (2000) citado por Gutiérrez (2001).

Cuadro 33. Conductividad eléctrica promedio en las camas hidropónicas.

Tratamientos	Bloques			Promedio (dS/m)
	I	II	III	
1	2.7	2.9	2.8	2.8
2	2.8	2.8	2.7	2.7
3	2.9	2.9	2.8	2.8

La mayor absorción de nutrientes en el cultivo de lechuga en condiciones de hidroponía se da cuando la conductividad eléctrica en la solución tiene valores que oscilan entre 1.5 a 1.8 dS·m⁻¹, ya que la presión osmótica que ejerce la raíz bajo estas condiciones favorece una mayor absorción de nutrimentos (Hadid et al., (1996) citado por Gutiérrez (2001)).

La conductividad eléctrica hace referencia a la salinidad del agua, misma que no debe rebasar los 1.5 dS/m (INTAGRI 2017).

Según Hadid et al., (1996) citado por Gutiérrez (2001), la conductividad eléctrica tiene un efecto sobre un mayor rendimiento y mejor calidad de la cosecha, al aumentar los niveles de clorofila, ya que hay una mayor absorción de fósforo, potasio, hierro y manganeso, cuando se manejan conductividades entre 1.5 a 1.8 dS·m⁻¹.

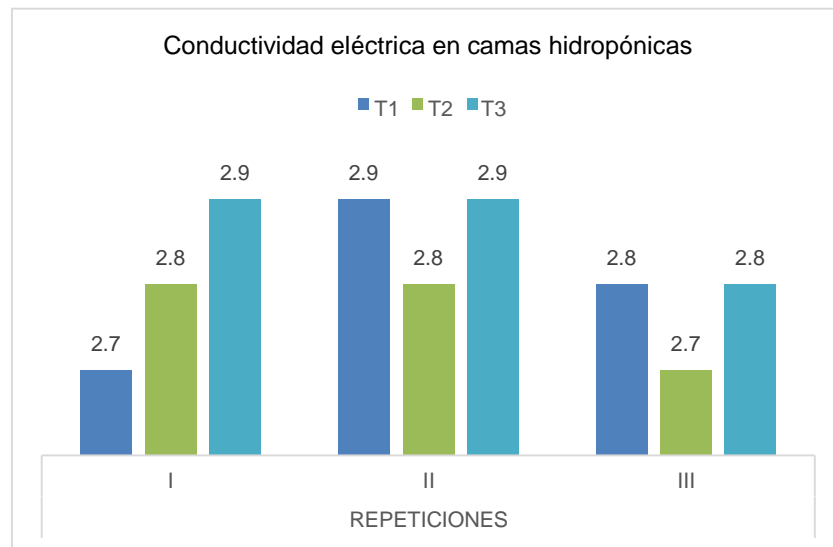


Figura 31. Conductividad eléctrica promedio en camas hidropónicas.

4.6. Respuesta a la hipótesis planteada

Con base en los resultados obtenidos, la hipótesis planteada en esta investigación es verdadera, ya que se confirma que la acuaponía es una alternativa para el uso eficiente del agua en la producción de tilapia y lechuga, porque en este sistema de producción se le da tratamiento físico y biológico al agua que se utiliza, mejorando la calidad del agua después de cada uso para la producción de peces y plantas.

5. Conclusiones

La densidad de siembra de 50 tilapias/m³ presentó el mejor rendimiento de biomasa animal generando un promedio de 76.1 g.

Las tres densidades de tilapias evaluadas no mostraron diferencias significativas en la longitud de las unidades experimentales, sin embargo, el tratamiento de 50 peces/m³ presento la mayor longitud con 0.6 cm más que el tratamiento dos y 0.9 cm más que el tratamiento tres.

El tratamiento de 50 tilapias/m³ generó el mayor peso de biomasa vegetal en la lechuga, la cual fue de 142.8 g con un peso promedio de 151.8 g.

Las condiciones de temperatura y de humedad relativa a las que se sometió el cultivo de lechuga en todos los tratamientos aceleró el crecimiento del tallo floral, lo que afecto la producción y la calidad de las lechugas debido a la acumulación de látex amargo en las venas.

La acuaponía es una alternativa para el uso eficiente del agua en la producción de tilapia y lechuga, porque a través de este sistema se da tratamiento físico y biológico al agua que se utiliza, mejorando su calidad después de cada uso ya que se reduce la cantidad de sustancias dañinas.

La acuaponía es un sistema de producción para autoconsumo ecológicamente sustentable y eficiente en el uso de espacios y recursos, porque a partir de residuos del sistema acuícola se pueden obtener subproductos como un sistema hidropónico.

6. Recomendaciones

Realizar análisis físicos, químicos, organolépticos y microbiológicos a la biomasa animal y vegetal obtenida en los sistemas de producción acuapónica, con el propósito de conocer si estos recursos producidos cumplen con los parámetros de sanidad e inocuidad para el consumo humano.

Realizar investigaciones sobre sistemas acuapónicos que incluyan otras hortalizas, hierbas y flores que se adapten a las condiciones climáticas de la zona en la que se desarrolló esta investigación.

Evaluar los sistemas acuapónicos para producir cultivos en forma escalonada y obtener cosechas más frecuentes para el autoconsumo de las familias como parte de la seguridad alimentaria y nutricional.

Evaluar el uso de diferentes alimentos orgánicos para tilapias y de menores costos económicos que se puedan utilizar en sustitución de los alimentos concentrados comerciales utilizados en la alimentación de tilapias.

Evaluar el ciclo del Nitrógeno, la Amonificación y la Nitrificación como los procesos biológicos vitales de los peces y plantas para conocer las cantidades específicas de Nitratos y Nitritos que entran al sistema.

Evaluar otros diseños acuapónicos como la técnica del Film Nutritivo y la de Lechos de Sustratos para conocer las ventajas y desventajas de estos modelos y sus costos de inversión y operación.

7. Bibliografía

- AQUASTAT. 2016. El Salvador. Uso del agua (en línea). s. l. Consultado 30 ago. 2016. Disponible en http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/Profile_segments/SLV-WU_esp.stm
- Avalos, D. 2013. ACUAPONIA: Una alternativa para reutilizar el agua en las granjas acuícolas (en línea). Yucatán, México. Consultado 13 jun. 2017. Disponible en https://issuu.com/divulgacionacuicola/docs/revista_divulgacion_acuicola_agost
- CENADAC (Centro Nacional de Desarrollo Acuícola, Argentina). Técnicas de Acuaponía (en línea). s.l. Consultado 11 jun. 2018. Disponible en: https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos/00000_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/160831_T%C3%A9cnicas%20de%20Acuaponia.pdf
- CENDEPESCA (Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura, El Salvador). 2017. Manual de Acuicultura Familiar: manejo, costos y beneficios. Santa Tecla, El Salvador. 14 p.
- CENDEPESCA (Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura, El Salvador). 2008. Manual sobre “Reproducción y cultivo de Tilapia”. Santa Tecla, El Salvador. 46- 52 p.
- CENDEPESCA (Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura, El Salvador). 2015. Manual de Producción y Reproducción de Tilapia a nivel de Acuicultura Familiar. Santa Tecla, El Salvador. 8- 23 p.

CENDEPESCA (Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura, El Salvador). MISION TECNICA DE TAIWAN. 2016. Manual de Preguntas y Respuestas a Emergencias en la Producción de Tilapia de Acuicultura Familiar. Santa Tecla, El Salvador. 8- 23 p.

Ciampitti, AI; García, OF. 2004. Requerimientos nutricionales absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios de hortalizas, frutales y forrajes. Internacional Plant Nutrition Institute. Buenos Aires Argentina. pp. 1-4.

Colagrosso, A. 2014. Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala: Rutinas diarias y mensuales (en línea). s. l. Consultado 15 jun. 2017. Disponible en http://www.elfinancierocr.com/negocios/Manual-desarrollo-cultivo-acuaponico_ELFFIL20140113_0001.pdf

Colagrosso, A. 2014. Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala (en línea). s. l. Consultado 26 feb. 2017. Disponible en file:///C:/Users/Mau/Desktop/Tesis/Manual-desarrollo-cultivo-acuaponico_ELFFIL20140113_0001.pdf

EDP (Energía de Portugal). 2016. Objetivos del desarrollo sostenible 2016-2030 (en línea). España. Consultado 28 ago. 2016. Disponible en <https://www.sostenibilidadedp.es/pages/index/objetivos-de-desarrollo-sostenible-2016-2030>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Paraguay). 2011. Manual básico de sanidad piscícola (en línea). Consultado 17 febrero 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-as830s.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). TECA (Tecnologías y prácticas para pequeños productores agrarios, Italia). 2017. Diseño de un sistema acuapónico (en línea). Consultado 15 jun. 2017. Disponible en <http://teca.fao.org/es/read/8725>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, España). 2011. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura (en línea). Consultado 28 ago. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/3/b-i1688s.pdf>

Fernández, M. s.f. s.l. Calidad del agua (en línea). Consultado 17 febrero 2018. Disponible en: http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020082556/1020082556_004.pdf

García, A; Tume, J; Juárez, V. s.f. Determinación de los parámetros de crecimiento de la Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) en un estanque revestido con geomembrana y abastecido con agua de subsuelo (en línea). s.l. Consultado 16 oct. 2015. Consultado 11 jun. 2018. Disponible en: http://www.uap.edu.pe/Investigaciones/Esp/Revista_15-02_Esp_05.pdf

Gestiopolis. s.f. Acuaponía como estrategia del desarrollo sustentable (en línea). s. l. Consultado 28 ago. 2016. Disponible en <http://www.gestiopolis.com/acuaponia-como-estrategia-del-desarrollo-sustentable/>

Grande, L; Luna, P. 2010. Comparación de la producción de lechuga a 6, 12 y 18 plantas/m² con 40 y 70 ppm de nitrógeno total en acuaponía con tilapia (en línea). Tesis Ing. Agr. Zamorano, Honduras. Consultado 13 ene. 2017. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/667/1/T3055.pdf>

Green Facts. 2009. Recursos Hídricos. Resumen del 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo (en línea). Bruselas, Berlín. UNESCO. Consultado 30 ago. 2016. Disponible en <http://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/recursos-hidricos-foldout.pdf>

Gutiérrez, J. 2001. s.l. Producción hidropónica de lechuga con y sin recirculación de solución nutritiva (tesis). Tesis Maestro en ciencias en horticultura. Consultado 18 febrero 2018. Disponible en: <https://chapingo.mx/horticultura/pdf/tesis/TESISMCH2011120908126441.pdf>.

Hee, M; Beom, LY. 2001. Effects of CO2 concentration, light intensity and nutriment level on growth of leaf lettuce in the plant factory. *Acta Horticulturae* 548: 377-383

IDAF (Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, República Dominicana). 2015. s.l. Noticias IDAF: IDIAF, Universidad ISA y PUCMM aunarán esfuerzos en temas de investigación sobre acuaponía en el 2015 (en línea). Consultado 28 ago. 2016. Disponible en <http://www.idiaf.gov.do/noticias/detallemain.php?ID=1907>

INTAGRI. Acuaponía para la Producción de Plantas y Peces. Serie Horticultura Protegida Núm. 32. Artículos Técnicos de INTAGRI (en línea). México. 2017. 6 p. Consultado 10 marzo 2018. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/acuaponia-produccion-de-plantas-y-peces#>

Jaques, HC; Hernández, JL. 2005. Valoración productiva de lechuga hidropónica con la técnica de película de nutrientes (NFT). *Naturaleza y Desarrollo*. 3(1):11-16.

- Jiménez, A. 2013. Biofábrica acuapónica: Una herramienta de desarrollo social, económico y educativo en el Perú y Latinoamérica (en línea). Yucatán, México. Consultado 13 jun. 2017. Disponible en https://issuu.com/divulgacionacuicola/docs/revista_divulgacion_acuicola_agost
- LPG (La Prensa Gráfica, El Salvador). 2016. 38 % de población rural de El Salvador vive en pobreza (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 28 ago. 2016. Disponible en <http://www.laprensagrafica.com/2016/05/17/38-de-poblacion-rural-vive-en-pobreza>
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador). 2001. Guía para el cultivo de tilapia en estanques (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 25 abr. 2018. Disponible en <http://www.tilapiasdelosur.com.ar/downloads/guiatecnicatilapiadeelsalvador.pdf>
- MAGP (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina). 2016. Dirección de acuicultura. Introducción a la Acuaponía (en línea). s. l. Consultado 30 ago. 2016. Disponible en http://www.agroindustria.gob.ar/site/pesca/acuicultura/06_Publicaciones/_archivos/130423_Introducci%C3%B3n%20a%20la%20ACUAPONIA.pdf
- Maroto, B.J. 2000. Botánica (taxonomía y fisiología) y adaptabilidad, pp. 28-41. In: La lechuga y la escarola. 1ª Ed. MAROTO, B. J. V.; MIGUEL, G. A.; BAIXAULI, S. C. (eds.). Mundi Prensa S. A. Madrid, España.
- Moreno, E; Zafra, A. 2014. Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia (en línea). Trujillo, Perú. Consultado 11 jun. 2018. Disponible en: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/facccbiol/article/view/770>

Newacuaponia. 2014. Acuaponía (en línea). Consultado 13 ene. 2017. Disponible en <http://newacuaponia.blogspot.com/>

ONU (Organización de las Naciones Unidas, México). 2015. s. l. Objetivos de Desarrollo Sostenible. 17 objetivos para transformar nuestro mundo (en línea). Consultado 28 ago. 2016. Disponible en <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Rubio Cabrera, SG. 2012. Sinaloa, México. Análisis técnico de producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga acrópolis (*Lactuca sativa*) en acuaponía (en línea). Tesis. Consultado 13 ene. 2017. Disponible en <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13077/Sheila%20Guadalupe%20Rubio%20Cabrera.pdf?sequence=1>

Saavedra, M. 2006. Manejo del cultivo de tilapia. Calidad del agua (en línea). Managua, Nicaragua. CIDEA. Consultado 30 ago. 2016. Disponible en <http://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>

Schippers, AP. 1980. Composition changes in the nutrient during the growth of plants in recirculating nutrient culture. Acta Horticulturae 98: 103-117.

Smithers Oasis. s.f. México. Manual de hidroponía. (en línea) Consultado 18 febrero 2018. Disponible en: http://www.oasiseasyplant.mx/wp-content/uploads/2017/04/Manual-de-hidroponia_Media.pdf

8. Anexos

Anexo 1. Datos de parámetros recolectados en estanques de tilapias.

REPETICIÓN I / TRATAMIENTO 1										
Estanque Tilapia 17/08/2017 - 02/10/2017										
Parámetro	T °C	\bar{X}	pH	\bar{X}	Oxígeno disuelto	\bar{X}	Nitratos	\bar{X}	Nitritos	\bar{X}
Semana 1	32.2	31.8	7.42	7.5	7.50	6.72	0.3	0.3	0.1	0.1
	31.4		7.58		5.94		0.3		0.1	
Semana 2	28.1	29.3	6.84	7.1	4.78	4.97	0.3	0.3	0.1	0.1
	30.5		7.36		5.16		0.3		0.1	
Semana 3	29.4	28.4	6.94	7.225	7.66	6.35	0.4	0.4	0.25	0.25
	27.4		7.51		5.04		0.4		0.25	
Semana 4	30.2	30.05	7.35	7.12	6.25	7.13	0.4	0.4	0.25	0.25
	29.9		6.89		8.01		0.4		0.25	
Semana 5	27.9	28.3	7.02	7.25	6.48	6.735	0.5	0.5	0.3	0.3
	28.7		7.48		6.99		0.5		0.3	
Semana 6	32.3	30.9	7.35	7.425	5.30	6.275	0.6	0.6	0.3	0.3
	29.5		7.50		7.25		0.6		0.3	
\bar{X} Repetición		29.79		7.27		6.36		0.41		0.21

REPETICIÓN I / TRATAMIENTO 2										
Estanque Tilapia 17/08/2017 - 02/10/2017										
Parámetro	T °C	\bar{X}	pH	\bar{X}	Oxígeno disuelto	\bar{X}	Nitratos	\bar{X}	Nitritos	\bar{X}
Semana 1	32.4	31.7	7.33	7.41	7.16	6.82	0.3	0.3	0.1	0.1
	31.0		7.49		6.48		0.3		0.1	
Semana 2	28.8	29.5	6.98	7.095	5.26	5.815	0.3	0.3	0.1	0.1
	30.2		7.21		6.37		0.3		0.1	
Semana 3	29.7	28.6	7.03	7.29	7.22	6.265	0.4	0.4	0.25	0.25
	27.5		7.55		5.31		0.4		0.25	
Semana 4	31.2	30.65	7.26	7.21	5.79	6.805	0.4	0.4	0.25	0.25
	30.1		7.16		7.82		0.4		0.25	
Semana 5	28.2	28.55	7.09	7.36	7.03	6.605	0.7	0.7	0.4	0.4
	28.9		7.63		6.18		0.7		0.4	
Semana 6	31.4	30.8	7.42	7.49	4.02	5.87	0.7	0.7	0.4	0.4
	30.2		7.56		7.72		0.7		0.4	
\bar{X} Repetición		29.96		7.30		6.36		0.46		0.25

REPETICIÓN I / TRATAMIENTO 3										
Estanque Tilapia 17/08/2017 - 02/10/2017										
Parámetro	T °C	\bar{X}	pH	\bar{X}	Oxígeno disuelto	\bar{X}	Nitratos	\bar{X}	Nitritos	\bar{X}
Semana 1	32.3	31.9	7.56	7.505	8.55	8.03	0.3	0.3	0.1	0.1
	31.5		7.45		7.51		0.3		0.1	
Semana 2	27.9	29.85	7.23	7.195	1.98	3.735	0.3	0.3	0.1	0.1
	31.8		7.16		5.49		0.3		0.1	
Semana 3	30.2	29.2	7.10	7.37	7.16	6.425	0.4	0.4	0.25	0.25
	28.2		7.64		5.69		0.4		0.25	
Semana 4	31.3	31	7.38	7.325	6.73	7.34	0.4	0.4	0.25	0.25
	30.7		7.27		7.95		0.4		0.25	
Semana 5	28.9	29.05	7.26	7.475	7.44	7.25	0.75	0.75	0.4	0.4
	29.2		7.69		7.06		0.75		0.4	
Semana 6	31.5	30.85	7.36	7.51	3.94	5.18	0.75	0.75	0.4	0.4
	30.2		7.66		6.42		0.75		0.4	
\bar{X} Repetición		30.30		7.39		6.32		0.48		0.25

REPETICIÓN II / TRATAMIENTO 1										
Estanque Tilapia 03/10/2017 - 18/11/2017										
Parámetro	T °C	\bar{X}	pH	\bar{X}	Oxígeno disuelto	\bar{X}	Nitratos	\bar{X}	Nitritos	\bar{X}
Semana 1	30.0	30.25	7.10	7.16	5.40	5.825	0.3	0.3	0.1	0.1
	30.5		7.22		6.25		0.3		0.1	
Semana 2	25.7	26.8	7.38	7.395	6.60	7.105	0.3	0.3	0.1	0.1
	27.9		7.41		7.61		0.3		0.1	
Semana 3	28.6	28	7.39	7.19	6.56	6.91	0.4	0.4	0.25	0.25
	27.4		6.99		7.26		0.4		0.25	
Semana 4	29.6	30.5	7.54	7.55	5.24	6.315	0.4	0.4	0.25	0.25
	31.4		7.56		7.39		0.4		0.25	
Semana 5	32.1	31.15	7.03	7.245	7.99	6.02	0.5	0.5	0.3	0.3
	30.2		7.46		4.05		0.5		0.3	
Semana 6	31.3	30.25	7.28	7.43	7.02	6.345	0.6	0.6	0.3	0.3
	29.2		7.58		5.67		0.6		0.3	
\bar{X} Repetición		29.49		7.32		6.42		0.42		0.22

REPETICIÓN II / TRATAMIENTO 2										
Estanque Tilapia 03/10/2017 - 18/11/2017										
Parámetro	T °C	\bar{X}	pH	\bar{X}	Oxígeno disuelto	\bar{X}	Nitratos	\bar{X}	Nitritos	\bar{X}
Semana 1	30.3	30.5	7.15	7.205	5.30	4.945	0.3	0.3	0.1	0.1
	30.7		7.26		4.59		0.3		0.1	
Semana 2	26.4	26.75	7.40	7.525	7.80	7.91	0.3	0.3	0.1	0.1
	27.1		7.65		8.02		0.3		0.1	
Semana 3	28.4	28.15	7.48	7.355	6.81	6.725	0.4	0.4	0.25	0.25
	27.9		7.23		6.64		0.4		0.25	
Semana 4	29.4	30.45	7.51	7.545	7.16	6.91	0.4	0.4	0.25	0.25
	31.5		7.58		6.66		0.4		0.25	
Semana 5	32.5	31.45	7.10	7.26	8.51	8.175	0.7	0.7	0.4	0.4
	30.4		7.42		7.84		0.7		0.4	
Semana 6	31.5	30.6	7.34	7.5	6.98	6.19	0.7	0.7	0.4	0.4
	29.7		7.66		5.40		0.7		0.4	
\bar{X} Repetición		29.65		7.39		6.81		0.5		0.25

REPETICIÓN II / TRATAMIENTO 3										
Estanque Tilapia 03/10/2017 - 18/11/2017										
Parámetro	T °C	\bar{X}	pH	\bar{X}	Oxígeno disuelto	\bar{X}	Nitratos	\bar{X}	Nitritos	\bar{X}
Semana 1	30.6	30.55	7.45	7.38	5.50	5.655	0.3	0.3	0.1	0.1
	30.5		7.31		5.81		0.3		0.1	
Semana 2	26.0	26.6	7.53	7.6	6.90	6.975	0.2	0.2	0.1	0.1
	27.2		7.67		7.05		0.2		0.1	
Semana 3	28.1	28.15	7.73	7.53	6.95	6.465	0.5	0.5	0.3	0.3
	28.2		7.33		5.98		0.5		0.3	
Semana 4	29.5	30.65	7.55	7.63	5.64	5.235	0.5	0.5	0.3	0.3
	31.8		7.71		4.83		0.5		0.3	
Semana 5	32.3	31.75	7.29	7.425	6.60	6.79	0.7	0.7	0.4	0.4
	31.2		7.56		6.98		0.7		0.4	
Semana 6	31.2	30.5	7.39	7.5	6.16	5.47	0.7	0.7	0.4	0.4
	29.8		7.61		4.78		0.7		0.4	
\bar{X} Repetición		29.7		7.5		6.09		0.48		0.27

REPETICIÓN III / TRATAMIENTO 1										
Estanque Tilapia 20/11/2017 - 03/01/2018										
Parámetro	T °C	\bar{x}	pH	\bar{x}	Oxígeno disuelto	\bar{x}	Nitratos	\bar{x}	Nitritos	\bar{x}
Semana 1	24.6	26.45	7.49	7.19	6.00	6.46	0.2	0.2	0.1	0.1
	28.3		6.89		6.92		0.2		0.1	
Semana 2	30.2	28.9	7.36	7.49	8.05	6.63	0.2	0.2	0.1	0.1
	27.6		7.62		5.21		0.2		0.1	
Semana 3	25.5	27.45	7.26	7.24	5.14	6.195	0.4	0.4	0.3	0.3
	29.4		7.22		7.25		0.4		0.3	
Semana 4	30.5	27.2	7.09	7.25	5.56	5.91	0.4	0.45	0.3	0.275
	23.9		7.41		6.26		0.5		0.25	
Semana 5	27.2	26.25	7.52	7.145	6.11	5.77	0.5	0.55	0.3	0.3
	25.3		6.77		5.43		0.6		0.3	
Semana 6	26.1	27	7.55	7.43	5.57	6.42	0.7	0.7	0.3	0.3
	27.9		7.31		7.27		0.7		0.3	
\bar{x} Repetición		27.21		7.29		6.23		0.42		0.23

REPETICIÓN III / TRATAMIENTO 2										
Estanque Tilapia 20/11/2017 - 03/01/2018										
Parámetro	T °C	\bar{x}	pH	\bar{x}	Oxígeno disuelto	\bar{x}	Nitratos	\bar{x}	Nitritos	\bar{x}
Semana 1	25.7	27.15	7.47	7.245	6.70	7.08	0.2	0.2	0.1	0.1
	28.6		7.02		7.46		0.2		0.1	
Semana 2	30.1	28.65	7.23	7.37	5.56	6.65	0.2	0.2	0.1	0.1
	27.2		7.51		7.74		0.2		0.1	
Semana 3	25.9	27.55	7.13	7.185	6.29	6.715	0.5	0.5	0.3	0.3
	29.2		7.24		7.14		0.5		0.3	
Semana 4	31.2	27.65	7.08	7.165	5.47	6.395	0.5	0.5	0.3	0.275
	24.1		7.25		7.32		0.5		0.25	
Semana 5	27.4	26.8	7.29	7.155	6.54	6.06	0.5	0.55	0.3	0.35
	26.2		7.02		5.58		0.6		0.4	
Semana 6	25.9	27.1	7.64	7.56	7.35	6.65	0.7	0.7	0.4	0.4
	28.3		7.48		5.95		0.7		0.4	
\bar{x} Repetición		27.48		7.28		6.60		0.44		0.26

REPETICION III / TRATAMIENTO 3										
Estanque Tilapia 20/11/2017 - 03/01/2018										
Parámetro	T °C	\bar{X}	pH	\bar{X}	Oxígeno disuelto	\bar{X}	Nitratos	\bar{X}	Nitritos	\bar{X}
Semana 1	24.6	26.75	7.30	7.28	5.6	6.33	0.2	0.2	0.1	0.1
	28.9		7.26		7.06		0.2		0.1	
Semana 2	30.6	29.2	7.34	7.55	4.64	4.11	0.3	0.3	0.1	0.1
	27.8		7.76		3.58		0.3		0.1	
Semana 3	25.7	27.9	7.53	7.35	4.66	6.3	0.5	0.5	0.3	0.3
	30.1		7.17		7.94		0.5		0.3	
Semana 4	31.3	27.6	7.19	7.26	7.33	7.485	0.5	0.5	0.3	0.275
	23.9		7.33		7.64		0.5		0.25	
Semana 5	27.6	27.15	7.62	7.305	4.35	5.085	0.5	0.55	0.3	0.35
	26.7		6.99		5.82		0.6		0.4	
Semana 6	25.4	26.8	7.42	7.265	6.15	6.53	0.7	0.75	0.5	0.5
	28.2		7.11		6.91		0.8		0.5	
\bar{X} Repetición		27.57		7.335		5.97		0.47		0.27

Anexo 2. Resultados de parámetros del agua en camas hidropónicas.

REPETICION I / TRATAMIENTO 1 Cultivo lechuga 17/08/2017 - 02/10/2017						
Parámetro	T °C	\bar{X}	pH	\bar{X}	Conductividad Eléctrica	\bar{X}
Semana 1	31.6	30	7.12	6.97	2.75	2.6
	28.4		6.82		2.46	
Semana 2	27.9	28.6	6.67	6.47	2.87	3.0
	29.3		6.27		3.19	
Semana 3	31.8	30.6	6.80	6.91	2.57	2.4
	29.4		7.02		2.33	
Semana 4	28.6	29.6	6.99	7.06	3.04	2.8
	30.7		7.13		2.56	
Semana 5	27.5	27.6	6.92	6.69	2.64	2.8
	27.8		6.46		3.13	
Semana 6	30.8	31.3	7.30	7.145	2.46	2.7
	31.8		6.99		2.94	
\bar{X} Repetición		29.6		6.8		2.7

REPETICIÓN I / TRATAMIENTO 2 Cultivo lechuga 17/08/2017 - 02/10/2017						
Parámetro	T °C	\bar{X}	pH	\bar{X}	Conductividad Eléctrica	\bar{X}
Semana 1	30.8	29.1	7.05	6.9	2.91	2.7
	27.4		6.90		2.65	
Semana 2	28.1	27.8	6.73	6.6	2.96	3.0
	27.5		6.49		3.16	
Semana 3	31.4	30	7.16	7.0	3.07	2.7
	28.6		6.93		2.34	
Semana 4	31.2	28.9	6.98	7.08	2.92	3.2
	26.7		7.18		3.49	
Semana 5	27.6	28.4	6.72	6.9	2.61	2.9
	29.2		7.25		3.37	
Semana 6	29.7	30.2	6.49	6.6	2.49	2.4
	30.7		6.89		2.94	
\bar{X} Repetición		29.0		6.8		2.8

REPETICION I / TRATAMIENTO 3 Cultivo lechuga 17/08/2017 - 02/10/2017						
Parámetro	T °C	\bar{X}	pH	\bar{X}	Conductividad Eléctrica	\bar{X}
Semana 1	30.9	30.1	7.30	6.8	2.80	2.7
	29.4		6.48		2.61	
Semana 2	27.8	28.4	6.65	6.7	2.79	2.9
	29.1		6.75		3.05	
Semana 3	28.9	29.7	6.91	6.6	2.46	2.6
	30.6		6.36		2.78	
Semana 4	29.8	29.1	7.10	6.8	3.34	3.2
	28.4		6.56		3.18	
Semana 5	27.1	29.4	7.23	7.1	2.91	2.8
	31.8		7.05		2.76	
Semana 6	27.9	28.2	6.49	6.5	3.66	3.0
	28.6		6.62		2.52	
\bar{X} Repetición		29.1		6.7		2.9

REPETICION II / TRATAMIENTO 1 Cultivo lechuga 03/10/2017 - 18/11/2017						
Parámetro	T °C	\bar{X}	pH	\bar{X}	Conductividad Eléctrica	\bar{X}
Semana 1	29.9	30.1	7.12	7.02	3.32	3.2
	30.3		6.92		3.09	
Semana 2	31.9	31.0	6.87	7.0	3.14	2.9
	30.1		7.26		2.73	
Semana 3	27.1	27.7	6.94	6.9	2.65	2.7
	28.4		6.86		2.91	
Semana 4	27.3	27.6	6.95	6.9	2.37	2.2
	27.9		7.02		2.15	
Semana 5	27.6	28.8	7.12	6.9	2.82	3.0
	30.1		6.75		3.26	
Semana 6	28.6	29.1	6.48	6.5	3.59	3.3
	29.6		6.66		3.07	
\bar{X} Repetición		29.0		6.9		2.9

REPETICION II / TRATAMIENTO 2 Cultivo lechuga 03/10/2017 - 18/11/2017						
Parámetro	T °C	\bar{X}	pH	\bar{X}	Conductividad Eléctrica	\bar{X}
Semana 1	30.1	30.0	7.09	6.8	3.54	3.2
	29.9		6.65		3.04	
Semana 2	31.2	29.3	6.84	6.9	2.94	2.9
	27.5		7.10		2.86	
Semana 3	28.6	29.5	7.01	6.7	2.65	2.5
	30.5		6.49		2.49	
Semana 4	27.9	27.6	6.63	6.7	3.05	3.3
	27.4		6.87		3.63	
Semana 5	28.2	28.6	7.21	7.0	2.64	2.4
	29.1		6.97		2.26	
Semana 6	29.4	28.6	6.42	6.4	3.15	2.8
	27.9		6.48		2.49	
\bar{X} Repetición		28.9		6.8		2.8

REPETICION II / TRATAMIENTO 3 Cultivo lechuga 03/10/2017 - 18/11/2017						
Parámetro	T °C	\bar{X}	pH	\bar{X}	Conductividad Eléctrica	\bar{X}
Semana 1	31.2	29.7	7.20	6.6	3.63	3.2
	28.2		6.15		2.88	
Semana 2	27.9	29.9	6.46	6.5	3.07	3.0
	31.9		6.69		2.94	
Semana 3	27.1	27.6	7.13	6.7	3.04	2.8
	28.2		6.27		2.61	
Semana 4	27.5	28.2	6.67	6.7	2.94	2.8
	28.9		6.91		2.66	
Semana 5	29.7	28.3	7.17	7.0	2.94	2.8
	27.0		6.98		2.81	
Semana 6	28.4	29.2	7.02	6.9	2.93	2.8
	30.1		6.92		2.76	
\bar{X} Repetición		28.8		6.7		2.9

REPETICION III / TRATAMIENTO 1 Cultivo lechuga 20/11/2017 - 03/01/2018						
Parámetro	T °C	\bar{X}	pH	\bar{X}	Conductividad Eléctrica	\bar{X}
Semana 1	24.5	27.3	7.39	6.9	2.62	2.6
	30.1		6.49		2.69	
Semana 2	29.7	28.6	6.57	6.9	2.56	2.8
	27.6		7.23		3.04	
Semana 3	26.4	26.3	6.19	6.5	2.29	2.8
	26.2		6.84		3.46	
Semana 4	28.2	26.5	6.91	7.0	2.96	2.8
	24.9		7.17		2.67	
Semana 5	25.5	25.8	6.78	6.8	2.86	3.2
	26.2		6.87		3.54	
Semana 6	25.9	25.5	7.26	7.0	2.94	2.8
	25.1		6.93		2.68	
\bar{X} Repetición		26.6		6.8		2.8

REPETICION III / TRATAMIENTO 2 Cultivo lechuga 20/11/2017 - 03/01/2018						
Parámetro	T °C	\bar{X}	pH	\bar{X}	Conductividad Eléctrica	\bar{X}
Semana 1	26.0	27.9	7.17	6.8	2.84	2.5
	29.8		6.48		2.18	
Semana 2	28.2	27.1	7.23	7.0	3.56	3.1
	26.1		6.82		2.64	
Semana 3	28.7	27.1	6.15	6.2	2.56	2.7
	25.6		6.27		2.91	
Semana 4	27.6	26.5	7.05	6.9	3.23	2.8
	25.4		6.92		2.49	
Semana 5	24.7	24.8	7.16	6.9	2.69	2.5
	24.9		6.65		2.48	
Semana 6	26.1	27.7	6.89	6.7	2.78	2.5
	29.4		6.61		2.41	
\bar{X} Repetición		26.8		6.7		2.7

REPETICION III / TRATAMIENTO 3 Cultivo lechuga 20/11/2017 - 03/01/2018						
Parámetro	T °C	\bar{X}	pH	\bar{X}	Conductividad Eléctrica	\bar{X}
Semana 1	24.1	27.7	7.15	6.6	2.87	2.7
	31.4		6.19		2.61	
Semana 2	28.1	26.9	7.09	6.7	3.23	3.1
	25.8		6.49		2.97	
Semana 3	26.9	26.1	7.20	6.9	3.03	2.7
	25.4		6.63		2.48	
Semana 4	28.4	27.5	7.02	6.9	2.81	2.7
	26.7		6.79		2.67	
Semana 5	24.2	24.7	6.50	6.7	2.76	3.0
	25.2		6.94		3.26	
Semana 6	25.9	26.4	7.05	6.7	2.46	2.5
	26.9		6.46		2.71	
\bar{X} Repetición		26.5		6.7		2.8

Anexo 3. Resultados del rendimiento de biomasa vegetal.

REPETICIÓN I / TRATAMIENTO 1										Σ	\bar{x}
Cosecha Lechuga 02/10/2017											
Peso (g)	5.4	5.6	6.5	4.1	10.7	7.3	6.4	4.9		142.8	5.5
	0.6	10.2	4.5	5.9	9.3	7.9	3.5	2.7	7.3		
	7.3	5.8	1.3	7.3	3.7	4.8	2.2	4.9	2.7		
Longitud (cm)	16.0	19.0	21.0	21.0	15.0	17.0	21.0	16.5	19.0	438	16.8
	5.0	20.0	20.0	18.0	18.0	22.5	15.0	15.0			
	17.5	10.0	15.0	10.5	17.5	14.0	16.0	16.5	22.0		

REPETICIÓN I / TRATAMIENTO 2											Σ	\bar{x}
Cosecha Lechuga 02/10/2017												
Peso (g)	1.5	2.9	3.1	17.7	2.4	3.6	6.3	13.3	7.0	6.0	117.6	5.6
	3.3	1.3	0.8	2.8	1.8	8.1	6.6	20	2.5	2.1		
Longitud (cm)	11.0	13.5	14.0	30.0	10.0	15.0	19.0	26.0	21.0	18.0	338.5	16.1
	13.0	12.0	6.0	11.0	10.0	18.0	17.0	25.0	13.0	11.0		

REPETICIÓN I / TRATAMIENTO 3														Σ	\bar{x}
Cosecha Lechuga 02/10/2017															
Peso (g)	10.7	0.6	5.9	7.2	10.0	4.6	2.7	4.3	3.6	1.6	2.9	1.9	2.5	58.5	4.5
Longitud (cm)	23.0	6.0	20.0	17.0	9.0	14.5	12.0	15.0	18.5	11.0	11.5	9.0	11.5	178.0	13.7

REPETICIÓN II / TRATAMIENTO 1											Σ	\bar{x}
Cosecha Lechuga 18/11/2017												
Peso (g)	4.3	3.6	4.7	6.6	7.2	2.2	8.2	7.7	2.3	5.1	114.7	5.7
	3.1	10.9	3.2	9.7	10.3	6.9	5.3	1.2	4.9	7.3		
Longitud (cm)	20.0	14.0	17.0	19.5	21.0	14.0	17.5	21.5	11.0	16.5	332.0	16.6
	14.0	15.0	16.0	18.0	19.0	18.0	16.0	10.0	19.0	15.0		

REPETICIÓN III / TRATAMIENTO 3															Σ	\bar{x}	
Cosecha Lechuga 05/01/2018																	
Peso (g)	7.7	10.2	9.9	2.8	4.3	11.0	6.5	7.4	2.9	6.1	1.2	3.4	4.2	7.5	3.8	88.9	11.1
Longitud (cm)	15.5	19.0	16.0	10.0	14.0	16.0	15.0	16.0	12.0	19.5	10.0	11.5	13.0	15.5	12.5	215.5	14.4

REPETICIÓN II / TRATAMIENTO 2											Σ	\bar{x}
Cosecha Lechuga 18/11/2017												
Peso (g)	2.8	5.1	7.3	21.0	16.9	2.3	2.1	3.2	7.8	14.3	121.6	6.4
	2.9	4.5	6.8	4.7	3.6	2.6	4.7	6.1	2.9			
Longitud (cm)	18.0	20.0	19.5	23.0	28.0	8.0	10.0	11.0	21.0	25.0	308.5	16.2
	11.0	12.5	16.0	12.0	13.0	15.0	14.5	18.0	13.0			

REPETICIÓN II / TRATAMIENTO 3																Σ	\bar{x}	
Cosecha Lechuga 18/11/2017																		
Peso (g)	2.9	2.4	3.9	1.2	12.9	11.8	2.9	5.2	1.2	2.9	6.7	6.1	8.2	16.1	6.8	13.7	104.9	6.6
Longitud (cm)	12.0	11.0	17.5	9.5	25.5	24.0	11.0	17.0	8.0	13.0	17.5	20.0	18.0	26.0	16.0	23.0	269.0	16.8

REPETICIÓN III / TRATAMIENTO 1											Σ	\bar{x}
Cosecha Lechuga 05/01/2018												
Peso (g)	5.1	7.4	3.9	11.9	1.9	8.2	5.8	3.7	6.9	10.9	138.1	7.3
	2.2	9.7	8.1	7.9	6.2	7.1	6.9	12.7	11.6			
Longitud (cm)	18.0	22.0	15.5	16.0	10.0	23.0	18.0	15.5	18.5	21.0	348.0	18.3
	9.5	19.0	23.0	17.0	18.0	15.0	22.0	25.0	22.0			

REPETICIÓN III / TRATAMIENTO 2											Σ	\bar{x}
Cosecha Lechuga 05/01/2018												
Peso (g)	5.9	8.6	10.6	12.3	6.9	3.6	15.2	7.8	6.4	7.7	136.7	6.8
	3.5	1.8	6.6	3.7	6.5	4.5	3.1	1.9	8.4	11.7		
Longitud (cm)	22.0	19.0	21.5	23.0	19.0	12.0	29.0	22.0	17.0	20.0	354.0	17.7
	12.5	9.5	16.0	15.0	14.5	17.0	13.5	12.0	18.5	21.0		

Anexo 4. Resultados del rendimiento de biomasa animal.

REPETICIÓN I / TRATAMIENTO 1 Cosecha Tilapia 02/10/2017													Σ	\bar{x}	
Peso (g)	107.3	65.7	89.9	142.2	44.5	96.7	86.4	90.5	83.7	102.5	102.6	42.7		3728.4	77.7
	96.2	93.5	51.5	55.3	68.8	71.7	105.8	64.0	90.1	62.1	55.7	112.3	71.5		
	49.1	42.3	36.2	43.3	75.6	55.9	80.6	96.1	124.5	50.7	96.2	37.8			
	121.8	115.1	57.1	63.8	79.7	69.8	79.7	69.8	85.9	92.8	83.9	63.7			
Longitud	17.0	15.0	16.5	19.5	12.5	17.0	15.5	16.0	16.0	17.0	16.5			735.5	15.3
	15.0	17.0	14.0	16.5	15.0	14.5	17.0	15.0	17.0	13.0	14.0	15.0			
	13.0	12.5	12.0	12.5	16.0	15.0	14.0	15.5	17.5	17.5	15.5	17.0			
	17.5	14.0	14.5	16.0	15.0	15.5	17.0	16.0	14.0	13.5	12.5				

REPETICIÓN I / TRATAMIENTO 2 Cosecha Tilapia 02/10/2017													Σ	\bar{x}		
Peso (g)	42.9	34.4	29.0	48.2	55.8	73.7	96.4	27.7	47.1	64.1	118.9	66.4	47.8		3777.8	57.2
	92.1	66.9	65.9	77.2	88.1	93.8	30.5	39.0	48.7	81.7	109.9	31.2	76.4			
	115.5	90.3	81.3	29.6	62.5	28.2	69.2	47.7	81.0	87.7	74.5	23.0	19.3			
	49.9	15.5	78.6	90.0	12.1	16.6	102.3	73.6	75.0	113.9	74.3	61.4	127.7			
	57.9	39.0	46.5	28.1	22.0	32.3	51.6	31.3	17.4	26.5	23.3	15.0	17.8	14.6		
Longitud (cm)	13.0	12.0	11.5	13.0	13.5	15.0	16.0	12.0	13.0	14.0	17.0	15.5	16.0		911.3	13.8
	15.0	16.0	16.0	16.5	16.0	16.0	11.8	12.0	13.5	15.0	17.0	11.5	10.5			
	16.0	13.5	9.0	15.0	16.5	8.0	9.0	17.0	15.5	15.5	18.0	15.5	12.0			
	15.5	18.0	18.0	16.0	16.5	11.5	15.0	12.0	15.5	14.0	15.5	17.0	15.0			
	11.0	14.0	12.0	13.0	11.0	10.0	11.5	13.5	11.0	9.5	11.0	10.5	11.5	13.5		

REPETICION I / TRATAMIENTO 3 Cosecha Tilapia 05/01/2018													Σ	\bar{x}
Peso (g)	87.4	82.5	98.1	80.2	61.1	73.9	52.2	19.3	55.3	30.7	43.9	86.4	3539.8	55.5
	22.1	46.0	68.0	90.5	90.1	57.7	89.6	108.9	52.5	37.8	74.7	56.1		
	82.0	46.5	53.4	61.5	50.5	17.3	15.2	17.8	16.2	38.5	66.7	14.8		
	50.2	64.7	98.0	97.1	64.8	70.3	81.2	71.8	117.7	94.1	91.2	41.3		
	87.0	47.1	42.9	23.0	27.8	41.0	14.4	22.3	30.1	24.0	33.4	42.4		
	14.8	18.3	51.7	31.8	56.1	65.0								
Longitud (cm)	57.2	42.5	63.7	58.7	91.5	36.9	87.7	54.7	47.7	72.8	28.6	75.0	549.0	13.5
	71.6	51.5	83.8	19.6	15.1	65.7	87.7	59.8	37.8	63.9	105.2	35.2		
	14.0	13.0	14.5	13.0	16.5	11.0	16.0	14.0	13.0	15.0	10.5	15.0		
	39.3	94.1	13.5	78.2	45.9	80.5	56.6	41.8	74.4	65.3	98.0	16.3		
	50.9	64.3	18.0	46.5	86.0	27.9	23.1	28.2	10.0					
	12.5	17.0	8.0	15.0	12.5	16.0	13.5	12.0	15.0	14.0	17.0	8.5		

REPETICIÓN II / TRATAMIENTO 1 Cosecha Tilapia 18/11/2017													Σ	\bar{x}
Peso (g)	57.2	42.5	63.7	58.7	91.5	36.9	87.7	54.7	47.7	72.8	28.6	75.0	2462.7	60.0
	71.6	51.5	83.8	19.6	15.1	65.7	87.7	59.8	37.8	63.9	105.2	35.2		
	39.3	94.1	13.5	78.2	45.9	80.5	56.6	41.8	74.4	65.3	98.0	16.3		
	50.9	64.3	18.0	46.5	86.0	27.9	23.1	28.2						
Longitud (cm)	14.0	13.0	14.5	13.0	16.5	11.0	16.0	14.0	13.0	15.0	10.5	15.0	549.0	13.5
	15.5	13.5	16.0	10.0	9.0	14.5	16.5	15.0	12.0	15.0	17.0	13.0		
	10.0	12.5	17.0	8.0	15.0	12.5	16.0	13.5	12.0	15.0	14.0	17.0		
	11.0	14.5	15.0	10.0	13.0	16.0	11.0	8.5						

REPETICIÓN II / TRATAMIENTO 2 Cosecha Tilapia 18/11/2017														Σ	\bar{x}
Peso (g)	52.1	27.9	41.3	56.7	30.8	64.0	69.7	36.5	55.6	29.1	52.7	46.4	28.3	2861.5	44.7
	85.6	48.7	53.2	28.6	38.2	27.8	43.1	70.1	46.8	50.1	16.3	38.6	43.9		
	50.7	49.1	82.5	19.3	30.1	14.8	23.3	44.5	83.5	64.0	17.9	37.4	24.6		
	42.1	62.8	77.4	41.2	76.5	89.4	37.7	45.4	22.9	43.1	30.9	31.0	40.6		
	33.6	54.4	38.3	51.5	40.2	35.5	73.9	28.7	34.0	61.8	22.7	22.1			
Longitud (cm)	13.5	11.0	13.0	14.0	11.0	14.0	14.5	12.5	14.0	11.5	14.5	16.0	11.0	813.5	12.7
	17.0	14.5	13.0	11.0	12.5	11.0	13.0	14.5	13.0	13.0	9.0	12.5	13.0		
	13.0	13.0	16.0	10.0	11.5	8.5	10.5	12.5	16.0	13.5	9.0	11.0	10.0		
	11.5	13.0	14.0	15.5	14.0	15.0	16.0	12.0	12.5	11.0	14.0	11.0	13.0		
	10.0	12.5	14.0	12.5	14.0	12.0	11.0	15.0	11.0	13.0	14.0	10.0			

REPETICIÓN II / TRATAMIENTO 3 Cosecha Tilapia 18/11/2017														Σ	\bar{x}
Peso (g)	84.9	70.1	33.5	40.9	61.8	33.1	43.9	52.8	33.0	64.3	28.7	80.2	35.5	4467.9	49.1
	18.3	24.5	43.7	22.2	60.2	17.5	46.2	23.4	56.7	37.1	48.1	53.0	48.4		
	41.0	38.8	64.0	35.2	55.9	29.7	89.9	43.6	34.4	61.4	50.8	38.2	27.1		
	47.1	54.8	58.3	36.9	95.0	58.2	46.0	69.2	39.0	49.9	102.3	57.6	44.9		
	37.2	44.4	47.4	27.8	58.1	30.1	72.6	54.7	39.8	47.5	50.6	36.2			
	67.5	40.7	31.8	33.9	46.3	72.9	58.3	65.7	57.4	31.4	40.4	64.7			
	54.8	60.7	44.1	55.0	46.8	56.1	30.7	68.0	46.5	44.7	34.5	69.2			
Longitud (cm)	15.0	14.0	12.0	12.5	14.0	11.0	13.0	14.6	12.0	15.0	10.0	16.0		1208.6	13.2
	10.0	10.5	12.5	10.5	14.5	9.5	12.5	11.0	12.5	12.0	13.0	15.0			
	13.0	12.5	14.0	12.0	14.0	11.0	16.5	14.0	12.0	15.5	13.0	13.0			
	13.0	14.5	14.5	12.5	16.5	14.0	13.0	15.5	12.0	13.5	17.0	14.5			
	11.5	15.0	13.5	13.0	11.0	14.0	11.5	15.0	14.5	12.5	13.5	13.0	12.0		
	13.5	14.0	13.0	11.5	10.5	13.0	15.0	14.0	13.5	14.5	12.5	12.5	14.5		
	11.0	14.5	14.0	13.0	15.0	13.5	15.0	11.0	15.0	13.0	13.0	12.0	15.5		

REPETICIÓN III / TRATAMIENTO 1 Cosecha Tilapia 05/01/2018												Σ	\bar{x}
Peso (g)	76.4	91.1	64.9	58.1	93.3	60.7	68.4	91.5	88.6	75.0		2811.6	90.7
	40.2	38.3	37.3	57.4	34.0	63.9	44.1	78.9	64.3	43.7			
	72.9	58.3	69.7	37.5	59.5	74.7	57.0	33.7	83.8	95.2	59.5		
Longitud (cm)	16.0	16.5	15.0	14.0	18.0	14.0	15.0	16.5	16.5	13.5	16.0	449	14.5
	12.5	12.5	12.0	14.5	12.0	12.5	13.0	14.0	12.5	16.0			
	15.0	15.0	14.5	15.0	13.0	15.5	15.0	16.5	14.5	12.5			

REPETICIÓN III Cosecha Tilapia 05/01/2018 Tratamiento 2														Σ	\bar{x}
Peso (g)	41.5	35.9	38.8	46.3	44.0	63.2	36.5	51.4	62.0	29.1	43.2	115.9	24.0	247.4	38.1
	35.5	23.7	23.5	23.3	35.3	25.0	32.8	42.0	38.2	47.6	27.4	20.6	41.0		
	33.0	42.0	34.7	31.0	23.7	41.2	51.6	26.1	33.6	26.7	37.1	47.8	31.0		
	64.1	28.2	31.0	80.9	47.7	29.9	65.7	28.9	63.6	22.6	38.9	49.7	50.0		
	38.1	31.4	23.1	25.6	17.9	24.0	19.2	22.2	26.9	48.4	32.1	39.7	16.4		
Longitud (cm)	13.5	12.0	13.0	16.0	13.0	14.5	12.0	14.0	15.0	12.0	13.0	18.5	11.0	816.5	12.7
	12.5	10.5	10.5	11.0	11.5	11.0	12.5	13.0	13.0	13.0	11.0	10.5	13.0		
	13.0	12.0	13.0	12.5	12.0	12.0	10.5	13.0	14.0	11.0	12.0	11.0	12.5		
	13.0	14.0	15.0	11.0	11.5	16.0	13.5	12.0	15.0	12.0	15.5	10.5	13.0		
	11.5	13.0	13.5	12.5	11.5	15.5	10.0	11.5	10.0	11.0	11.0	13.0	11.5		

REPETICIÓN III Cosecha Tilapia 05/01/2018 Tratamiento 3														Σ	\bar{x}
Peso (g)	53.0	47.0	59.0	34.0	40.2	43.9	39.0	41.2	39.39	28.8	36.6	25.5	34.5	3683.3	40.0
	38.3	50.6	53.8	48.6	35.8	23.4	18.3	64.9	42.9	60.1	56.6	36.7	48.4		
	31.5	52.6	46.9	49.8	52.8	52.0	43.0	38.1	38.3	37.4	38.3	56.6	27.2		
	52.2	49.7	30.0	46.4	25.0	42.1	41.5	27.9	29.0	29.4	39.3	29.0	27.9		
	27.1	37.2	61.8	33.1	41.2	40.6	31.5	52.6	32.6	37.1	44.4	22.7			
	34.0	53.0	33.0	36.6	52.8	59.5	31.6	38.9	28.7	31.1	33.3	33.03			
	29.1	34.0	25.6	29.0	35.1	24.1	56.8	65.5	49.9	27.9	39.3	52.2			
Longitud (cm)	15.0	14.0	17.0	13.0	14.0	13.0	12.5	14.0	13.0	11.0	13.0	11.0	13.0	1174.1	12.8
	12.5	15.0	14.5	13.5	13.0	11.0	10.0	15.5	13.0	15.0	14.5	12.0	13.0		
	12.0	14.0	13.5	14.0	14.5	14.0	12.5	12.0	12.5	14.0	11.5	12.0	12.5		
	11.0	11.5	13.5	11.0	13.0	12.5	11.0	11.5	11.0	13.0	11.5	11.0	10.0		
	11.0	12.0	11.0	15.0	14.0	11.0	13.0	13.0	12.0	14.0	12.0	12.0			
	13.0	14.5	11.5	12.5	14.6	15.0	11.5	13.0	11.0	11.5	12.5	12.0			
	11.0	11.5	12.0	11.0	15.0	15.5	13.5	11.0	12.5	14.0	14.0	11.5			

Anexo 5. Análisis de laboratorio en agua de estanque de tilapia.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA**

RESULTADO DE ANÁLISIS

Fecha de Emisión: Ciudad Universitaria, 23 de marzo de 2018
Fecha de ingreso: 13 / febrero / 2018
Tipo de Muestra: Agua Residual
Análisis solicitado: Nitrogeno.
Usuario: Br. Gerardo del Valle

No.	Identificacion muestra	Nitrogeno %
MXU-002	AGUA RESIDUAL	0.007
MXU-003	AGUA RESIDUAL	0.009
MXU-004	AGUA RESIDUAL	0.006

Analista: Lic. Mario Antonio Hernández Melgar

Atentamente,

"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"

Lic. Freddy Alexander Carranza
Jefe del Departamento de Química Agrícola

