



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS

**RESIDUO SÓLIDO ACUAPÓNICO, COMO SOLUCIÓN NUTRITIVA
HIDROPÓNICA: UNA ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN
SUSTENTABLE**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
DESARROLLO SUSTENTABLE Y GESTIÓN DE
RIESGOS**

PRESENTA

SEBASTIÁN GORDILLO SANTANDER

DIRECTORA

DRA. CAROLINA ORANTES GARCÍA
Instituto de Ciencias Biológicas-UNICACH

CODIRECTOR

MTRO. NOÉ SAMUEL LEÓN MARTÍNEZ
Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente- ECOSUR

ASESORAS

DRA. ALMA GABRIELA VERDUGO VALDEZ
Instituto de Ciencias Biológicas-UNICACH

DRA. ADRIANA CABALLERO ROQUE

Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos-UNICACH



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARIA ACADÉMICA
Dirección de Investigación Y Posgrado

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
17 de agosto de 2017
Oficio No. DIP- 498/2017

C. Sebastián Gordillo Santander
Candidato al Grado de Maestro
en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos
P r e s e n t e.

En virtud de que se me ha hecho llegar por escrito la opinión favorable de la Comisión Revisora que analizó su trabajo terminal denominado **“RESIDUO SÓLIDO ACUAPÓNICO SOLUCIÓN NUTRITIVA HIDROPÓNICA : UNA ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN SUSTENTABLE”** y que dicho trabajo cumple con los criterios metodológicos y de contenido, esta Dirección a mi cargo le **autoriza la impresión** del documento mencionado, para la defensa oral del mismo, en el examen que usted sustentará para obtener el Grado de Maestro en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos. Se le pide observar las características normativas que debe tener el documento impreso y entregar en esta Dirección un tanto empastado del mismo.

Atentamente

“Por la Cultura de mi Raza”


Dra. María Adelina Schlie Guzmán
Directora.



DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO

C.c.p. Expediente

DEDICATORIA

A mis padres María Guadalupe Santander Espinoza y José Oscar Gordillo Guillen, que me dieron la vida, por apoyarme siempre en todos los momentos que los necesite, por dedicar su vida a mí y por el gran esfuerzo hecho por nuestra familia.

A María Elena H Landeros Uscanga, por el apoyo que me brindo durante la realización de la presente investigación.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios.

Al Colegio de Postgraduados por permitirme ser un miembro más de su comunidad estudiantil.

A la Dra. Carolina Orantes García a quien agradezco su apoyo y disposición para dirigir la presente investigación.

Al Mtro. Noé Samuel León Martínez por su valiosa colaboración para el logro de la presente investigación.

A la Dra. Alma Gabriela Verdugo Valdez por su valiosa colaboración para el logro de la presente investigación.

A la Dra. Adriana Caballero Roque por su valiosa colaboración para el logro de la presente investigación.

RESUMEN

El abastecimiento de alimentos a la población mundial creciente es tan importante y siempre lo será, por lo que se han buscado alternativas agrícolas para incrementar la producción y calidad de los alimentos para satisfacer dicha demanda, una alternativa puede ser la acuaponía este sistema es la combinación de la acuicultura (cultivo de animales acuáticos) con un sistema de producción hidropónica (cultivo de plantas en sustrato inerte con solución nutritiva). El objetivo de la presente investigación fue determinar la calidad nutrimental de los residuos sólidos presentes en el efluente de un sistema acuapónico asociado a un cultivo de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), y de lechuga (*Lactuca sativa L.*). Como fuente para la elaboración de una solución nutritiva orgánica en la fertilización del cultivo de zanahoria (*Daucus carota*) bajo un sistema hidropónico de camas con sustrato sólido. La elaboración de la solución nutritiva se realizó de la colecta semanal de los residuos sólidos acuapónicos, a esto se les determinó las características fisicoquímicas, y evaluada en el cultivo hidropónico de zanahoria, se aplicó un diseño experimental en parcelas divididas, con tres tratamientos (solución inorgánica, orgánica y testigo), con tres repeticiones de 18 unidades experimentales (3x3x18) haciendo un total de 162 plantas. Se analizó altura de la planta, peso del fruto, diámetro polar y ecuatorial del fruto; peso y altura de la hoja, mediante ANOVA y prueba de Tukey. Las características de la solución orgánica derivada de los residuos sólidos acuapónicos se encontró dentro de los rangos ideales para la elaboración nutritiva de cultivos, en la producción de zanahorias los tratamientos fueron diferentes estadísticamente significativo ($gl=2$, $p=0.000$). La solución orgánica derivada del efluente acuapónico puede ser una alternativa para la fertilización de hortalizas cultivadas en un medio hidropónico.

Palabras clave: Calidad nutrimental, Fertilización, Plántula, Sustrato, Conductividad Eléctrica

ABSTRACT

The food supply to the growing world population is so important and always will be, so we have sought agricultural alternatives to increase the production and quality of food to meet such demand, an alternative may be the aquapony this system is the combination (Aquaculture) with a hydroponic production system (cultivation of plants in an inert substrate with nutrient solution). The objective of the present investigation was to determine the nutritional quality of the solid residues present in the effluent of an aquaponic system with Nile tilapia culture (*Oreochromis niloticus*), as a source for the elaboration of an organic nutrient solution in the fertilization of the cultivation of Carrot (*Daucus carota*) under a hydroponic system of beds with solid substrate. The preparation of the nutrient solution was carried out from the weekly collection of the solid aquaponic residues, to this the physicochemical characteristics were determined, and evaluated in the carrot hydroponic culture, an experimental design was applied in divided plots, with three treatments (solution Inorganic, organic and control), with three replicates of 18 experimental units (3x3x18) making a total of 162 plants. Plant height, fruit weight, polar and equatorial diameter of the fruit were analyzed; Weight and height of the leaf, using ANOVA and Tukey's test. The characteristics of the organic solution derived from the solid aquaponic residues were found within the ideal ranges for nutrient processing of crops, in the production of carrots treatments were statistically significant ($gl = 2, p = 0.000$). The organic solution derived from the aquaponic effluent can be an alternative for the fertilization of vegetables cultivated in a hydroponic environment.

Key words: Nutritional quality, Fertilization, Seedling, Substrate, Electric conductivity

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	5
III. MARCO TEÓRICO	9
3.1 Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos	9
3.2 Acuacultura	9
3.3 Hidroponía	10
3.4 Sistemas hidropónicos	11
3.5 Fertilización orgánica	14
3.6 Solución Nutritiva (SN)	15
3.6.1 Formulación de la solución nutritiva	15
3.6.2 Soluciones nutritivas orgánicas	15
3.6.3 Composición de las soluciones nutritivas	16
3.6.4 Minerales esenciales para el cultivo de plantas	16
3.7. Manejo de la solución nutritiva	21
3.8 Acuaponía	24
3.9 Peces en acuaponía	26
3.10. Taxonomía y Morfología para el cultivo de la tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>).	27
3.11. Generalidades del cultivo de tilapia	28
3.12 Plantas en acuaponía	35
3.13 Taxonomía y Morfología para el cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa L.</i>)	35
3.13.1 Requerimientos climáticos	36
3.14. Taxonomía y Morfología para el cultivo de zanahoria (<i>Daucus carota</i>)	37
3.14.1 Requerimientos climáticos	38
IV. OBJETIVOS	39
4.1 General	39

4.2 Específicos_____	39
V. HIPÓTESIS_____	39
VI. METODOLOGÍA_____	40
6.1 Área de estudio_____	40
6.2 Descripción del invernadero _____	41
6.3. Diseño y construcción del sistema acuapónico_____	42
6.3.1. Especie de pez utilizada en el sistema acuapónico_____	43
6.3.2. Especie de planta utilizada en el sistema acuapónico_____	45
6.3.3. Parámetros de control dentro del sistema acuapónico_____	46
6.4 Colecta de los residuos sólidos _____	46
6.4.1 Preparación de las soluciones nutritivas_____	47
6.4.2 Método de elaboración_____	47
6.4.3 Solución Nutritiva orgánica_____	48
6.4.4 Solución nutritiva inorgánica_____	48
6.4.5 Caracterización de la solución nutritiva_____	49
6.4.6 Aplicación soluciones nutritivas_____	49
6.5 Diseño y construcción del sistema hidroponía_____	49
6.5.1 Camas de cultivo hidropónicas_____	50
6.5.2 Sustrato_____	50
6.5.3 Especie utilizada en el sistema hidropónico_____	51
6.5.4 Densidad de siembra_____	51
6.5.5 Variables a evaluar dentro de la producción hidropónica_____	51
6.6 Diseño experimental_____	52
6.7 Análisis estadístico_____	52
VII. RESULTADOS_____	53
7.1 Producción de tilapias dentro del sistema acuapónico_____	53
7.2 Caracterización fisicoquímica del efluente acuapónico_____	54

7.3 Producción de lechugas (<i>Lactuca sativa</i>) dentro del sistema acuapónico_____	54
7.4 Caracterización Fisicoquímica de las soluciones nutritivas elaboradas_____	55
7.5 Cultivo hidropónico de zanahoria (<i>Daucus carota</i>) _____	57
VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS_____	61
8.1 Producción de tilapia y lechuga dentro del sistema acuaponico_____	61
8.2 Caracterización fisicoquímica de las soluciones nutritivas elaboradas_____	62
8.3 Producción de zanahoria hidropónica_____	63
IX. CONCLUSIÓN_____	65
X. LITERATURA CITADA_____	66
XI. GLOSARIO DE TÉRMINOS_____	80
ANEXO_____	82
PRODUCTOS_____	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Área de estudio_____	41
Figura 2. Invernadero construido para el proyecto de investigación_____	41
Figura 3. Sistema de recirculación de agua en el sistema acuapónico_____	42
Figura 4. Sedimentador diseñado para la separación de sedimentos sólidos_____	43
Figura 5. Granja acuícola ubicada en el municipio de Chicoasen_____	43
Figura 6. Densidad de siembra de peces (Tilapia del Nilo) en el sistema acuapónico_____	44
Figura 7. Plan de alimentación nutripec etapa de desarrollo_____	45
Figura 8. Transplante lechugas sistema acuapónico_____	46
Figura 9. Colecta de residuos sólidos_____	47
Figura 10. Camas hidropónicas forradas con plástico negro_____	50
Figura 11. Tezontle en la cama hidropónica_____	50
Figura 12. Perlita en la cama hidropónica_____	50
Figura 13. Densidad de siembra zanahoria (<i>Daucus carota</i>) _____	51
Figura 14. Diseño experimental en las camas de cultivo_____	52
Figura 15. Peso promedio tilapias del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) _____	53
Figura 16. Pesado de lechugas (<i>Lactuca sativa L</i>) en el sistema acuapónico_____	55
Figura 17. Producción de lechugas (<i>Daucus carota</i>) dentro del sistema acuapónico_____	55
Figura 18. Crecimiento del fruto de zanahoria en diámetro ecuatorial y diámetro polar_____	58
Figura 19. Peso del fruto de zanahoria_____	59

Figura 20. Crecimiento de la planta de zanahoria en peso de la planta y peso de la hoja_____	59
Figura 21. Altura de la planta de zanahoria_____	60
Figura 22. Contenedor IBC plástico 1000 L_____	82
Figura 23. Tanque y cama acuaponica con tanque IBC_____	82
Figura 24. Sifon de campana dentro de la cama acuaponica_____	82
Figura 25. Alimento balanceado para tilapia nutripec_____	83
Figura 26. Balanza granataria digital_____	83
Figura 27. Pesado semanal de tilapias acuapónicas_____	83
Figura 28. Medidor digital pH.80_____	84
Figura 29. Kit para acuarios nutrafin test_____	84
Figura 30. Muestreo de la conductividad eléctrica en las soluciones nutritivas_____	84
Figura 31. Ajuste de pH en la soluciones nutritivas_____	85
Figura 32. Sales minerales para elaborar soluciones nutritivas hidropónicas_____	85
Figura 33. Mezcla de sales minerales para la solución nutritiva inorgánica_____	85

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Consumo de nutrimentos esenciales para cultivo de plantas _____	16
Cuadro 2. Tallas y pesos para cada etapa de vida de tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) _____	29
Cuadro 3. Parámetros ideales para el cultivo de tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) _____	31
Cuadro 4. Crecimiento tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) acuaponica _____	53
Cuadro 5. Caracterización fisicoquímica del tanque acuapónico _____	54
Cuadro 6. Caracterización fisicoquímica para las soluciones nutritivas _____	56
Cuadro 7. Componentes estadísticos de las diferentes variables en los tratamientos aplicados al cultivo de zanahoria (<i>Daucus carota</i>) en un sistema hidropónico _____	57
Cuadro 8. Materiales utilizados en el sistema acuapónico _____	89
Cuadro 9. Costos de producción en el sistema acuapónico _____	89
Cuadro 10. Materiales utilizados en el sistema hidropónico _____	90
Cuadro 11. Costos de producción en el sistema hidropónico _____	90

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto de algunos países en desarrollo, donde la población rural campesina practica agricultura de subsistencia como medio exclusivo de vida, determinadas prácticas de agricultura ecológica como la elaboración propia de fertilizantes, conlleva un mejor aprovechamiento de nutrientes y una mejora productiva que favorece la autosuficiencia de los agricultores y la sostenibilidad de las parcelas de cultivo (Gómez Grande y Pérez Sarmentero, 2008).

El desarrollo de la agricultura orgánica en México ha sido sorprendente, surgió desde la década de los ochenta y en pocos años se ha extendido multiplicando su superficie e incursionando cada vez más en nuevos productos, constituyéndose en una opción económicamente viable para miles de productores campesinos e indígenas de escasos recursos (Hernández, 2014).

México se ha ubicado en el ámbito internacional como productor exportador de productos orgánicos, más que como consumidor. Su producción le permitió generar en el año 2000 casi 140 millones de dólares en divisas, con un crecimiento promedio anual de 42%; en el cual el estado de Chiapas, Sinaloa y Baja California Sur tienen una participación de casi el 40%, esta alternativa productiva es practicada en el país por más de 33,000 productores e implica crear al año 16.4 millones de jornales; de esta forma la agricultura orgánica se constituye como una de las actividades más dinámicas del País (Pérez, 2006).

Por otra parte, en México la acuicultura ha adquirido mayor importancia en los últimos años, por los beneficios sociales y económicos que genera, lo que permite contar con alimentos con un valor nutricional elevado (Álvarez *et al.*, 1999). La acuicultura es una

de las actividades con mayor potencial y desarrollo en los últimos años para nuestro país, la cual arroja beneficios sociales y económicos que se traducen en una fuente de alimentación para la población con un elevado valor nutricional y costos accesibles (Álvarez *et al.*, 2012).

Sin embargo en la agricultura los fertilizantes representan alrededor del 50% de los costos de producción agrícola. Más de la mitad del nitrógeno y fósforo son liberados de los sistemas de producción a los ecosistemas adyacentes con efectos en la contaminación del manto freático, eutrofización de ecosistemas acuáticos y generación de gases de invernadero (FAO, 2008).

Mientras que para la producción acuícola es la concentración de materia orgánica en los estanques de cultivo, como resultado de las excreciones de los peces, el alimento proporcionado y otros insumos adicionados tales como hormonas, provocando que los efluentes contribuyan al deterioro de los cuerpos hídricos receptores (Tacón y Foster, 2003). Desde el punto de vista de la economía de los productores y de las herramientas tecnológicas disponibles en el mercado, es complicado reducir las descargas de aguas residuales enriquecidas por materia orgánica con altas concentraciones de nitrógeno y fósforo, producto del alimento no ingerido y por las heces de los organismos que se cultivan. Esto deriva en el enriquecimiento de nutrientes, pudiendo afectar extensas zonas cercanas a los cultivos y a la biodiversidad que habita los cuerpos de agua receptores (Borja, 2002).

Chiapas se encuentra dentro de la zona de convergencia del planeta, donde confluyen las zonas neártica y la neotropical, situación que le confiere condiciones

biológicas, hidrológicas y climatológicas, que propician la diversidad de ecosistemas y de recursos naturales. Estas ventajas geográficas y naturales han sido los elementos fundamentales para el desarrollo de diversas actividades económicas del sector primario, como la acuicultura. Sin embargo, resulta imperativo destacar que a pesar de la gran riqueza natural que posee la entidad, prevalecen en el sector acuícola dramáticos rezagos sociales y ambientales, que obliga a poner en práctica principios básicos en el aprovechamiento de los recursos pesqueros y acuícolas con un enfoque social productivo bajo criterios de sustentabilidad (Secretaría de Pesca y Acuicultura, 2013).

Con esto se comprende la problemática por la que pasan los sectores de producción agrícola y acuícola para el estado, ya que la búsqueda en el aumento de la producción y sus prácticas de manejo en la actualidad han sido algunas de las causas que han contribuido en el deterioro ambiental. Lo cual crea la necesidad de innovar en las prácticas y forma de producción agrícola, con el objetivo de obtener rendimientos suficientes para la población y cuide del entorno mediante un menor uso de agua, fertilizantes, plaguicidas y energía.

El abastecimiento de alimentos a la población mundial creciente es tan importante y siempre lo será, por lo que se han buscado alternativas agrícolas para incrementar la producción y calidad de los alimentos y satisfacer dicha demanda. Para garantizar la seguridad alimentaria de una población mundial de 9,000 millones en 2015, se requiere incrementar la producción sostenible de alimentos entre 60% y 100% y hacerlo sin afectar los bienes y servicios ambientales (NPG, 2011).

La combinación de los componentes de diversos sistemas de producción hace disminuir el elemento riesgo que trae consigo la agricultura. Los diferentes componentes

del sistema productivo puedan actuar de manera simbiótica y sinérgica, mejorando la eficiencia productiva general y optimizando el uso de los recursos (FAO, 2000).

La acuaponía constituye una integración entre un cultivo de peces y uno hidropónico de plantas. Estos se unen en un único sistema de recirculación. Donde los efluentes ricos en nutrientes de los tanques de los peces son usados para fertilizar la producción hidropónica (Diver, 2006). En los estanques de peces se encuentran disueltos 10 de los 13 nutrientes esenciales que las plantas necesitan (Rakocy, 1988). En la hidroponía, los costos de los fertilizantes químicos son la principal limitante para los productores potenciales. Una alternativa es obtener la mayoría de los nutrientes que necesitan las plantas hidropónicas de sistemas acuícolas. El agua o efluente de un cultivo de peces sembrados a alta densidad se convierte en una solución nutritiva para las plantas (Diver, 2006). De esta forma se genera un producto de valor a través de un subproducto desechable. Gracias a esto, los sistemas acuapónicos trabajan sobre dos puntos de gran interés en producción, rentabilidad y tratamiento de desechos (Rakocy, 1999).

Es por esto que la presente investigación evaluó el efecto de dos soluciones nutritivas, la primera, elaborada a partir de la colecta de los residuos sólidos presentes en un efluente acuapónico, y la segunda de origen inorgánica, elaborada a base de sales nutritivas minerales siguiendo al formula general establecida por Steiner, para la fertilización del cultivo de zanahoria (*Daucus carota.*). Bajo un manejo hidropónico de camas con sustrato sólido, y con ello contribuir a mejorar el problema que representa la acumulación de residuos sólidos orgánicos en las prácticas de producción acuícola mediante la utilización de estos como una fuente viable para la elaboración de soluciones nutritivas orgánicas para la fertilización de cultivos.

II. ANTECEDENTES

Ulloa *et al.* (2005), evaluaron un sistema experimental de acuaponía, incorporando la producción de tilapia (*Oreochromis mossambicus*) y pepino (*Cucumis sativus*) durante 75 días. Los peces (90 g de peso promedio inicial) se mantuvieron en un tanque de 500 L, a una densidad de 0.6 peces/L, mientras que 40 plántulas de pepino se sembraron en 2 camas de arena estéril. Las plantas se regaron con agua de desecho de las tilapias, con un sistema de recirculación de agua. Cada semana se registraron las concentraciones de amonio no ionizada, nitritos y nitratos. Al final del cultivo, los peces crecieron 25 g, en promedio, y se produjeron casi 5 kg de pepino. Las curvas de compuestos nitrogenados mostraron un flujo de nutrientes para las plantas y aporte de agua sin niveles peligrosos de amonio y nitritos para los peces.

Dormon (2008), realizó una investigación en la cual comparó la composición fisicoquímica de los efluentes entre dos sistemas de producción de tilapia, localizados en la Costa Sur del Guatemala. Los sistemas productivos evaluados fueron sistema abierto y sistema semi-abierto, ambos con diferencias en la tasa de recambio, el caudal de entrada y el periodo de residencia de agua dentro del sistema. Los resultados indicaron que existe diferencia significativa en la composición fisicoquímica de los efluentes entre sistemas de producción, específicamente para las variables: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitrógeno Total (NT), Fósforo Total (PT), Color, Nitritos (NO₂), Amonio (NH₄) y Sólidos Sedimentables.

Solano (2012), realiza una investigación en la cual el objetivo fue probar la eficiencia de efluentes de vermicompost con tres valores de conductividad eléctrica (CE) en

tres especies vegetales en el sistema hidropónico Nutrient Film Technique (NFT). El experimento se llevó a cabo en Montecillo, Texcoco, Estado de México, en un invernadero tipo túnel, de agosto a noviembre de 2012. Las especies utilizadas fueron albahaca, cilantro y lechuga. La CE de los efluentes tuvo efecto significativo sobre las variables en estudio en cada especie vegetal. Los resultados obtenidos permiten recomendar el uso de efluentes como alternativa para la producción en sistemas hidropónicos a una CE entre 1.0 y 1.5 dSm^l.

Chaux *et al.* (2013), realizaron un estudio sobre el desempeño de un sistema de lagunas con *Azolla pinnata* en serie para el tratamiento de efluentes de cría de tilapia roja durante el proceso de levante y engorde. El sistema construido en la piscícola “La Yunga” (Popayán, Colombia) consistió en dos líneas de cinco lagunas en serie; la primera con *A. pinnata* y la segunda sin la planta acuática; cada laguna se operó con un tiempo de detención de un día. La evaluación se realizó en época seca. La producción de *Azolla* fresca osciló entre 42 y 87 g/m².d y el contenido de proteína entre 18.5 % y 20.4 %. Las eficiencias de remoción obtenidas en las líneas fueron respectivamente: 56 % y 46 % DBO₅; 49 % y 26 % DQO; 56 % y 33 % SST; 28 % y 36 % N-NTK; -108 % y 23 % N-NH₄⁺; 64 % y 34 % fósforo total, mostrando superioridad del sistema con *Azolla*.

Pulido (2013), presenta una investigación en la cual los objetivos fueron la caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en producción comercial y evaluar el crecimiento de siete tipos de vegetales herbáceas en acuaponía. El diseño experimental fue completamente al azar. Con el registro de los siguientes parámetros: temperatura del agua, pH, oxígeno, conductividad eléctrica, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, amoníaco, nitritos, nitratos, calcio, magnesio, potasio, dureza total, sólidos

disueltos totales, relación de absorción de sodio. Como resultado se encontró que para los coliformes totales y fecales estuvieron en los límites indicados en la NOM-001-ECOL-1996.

Moreno y Trelles (2014), realizan una investigación sobre sistemas acuapónicos del crecimiento de lechuga, (*Lactuca sativa*), con efluente de cultivo de tilapia. La cual se realizó en un sistema acuapónico de cinco tubos de PVC con capacidad de 50 lechugas, usando la técnica de solución nutritiva recirculante. Se evaluaron dos tratamientos; T1: agua enriquecida con 50 individuos de tilapia roja, *Oreochromis sp.*, y T2: agua enriquecida con 25 individuos de tilapia roja, registrando los datos de longitud de hoja (HH) y longitud de raíz (HR) de lechugas, con una frecuencia de muestreo quincenal por 90 días de cultivo en cada tratamiento. En el T1 se obtuvo un HH de 16.6 cm y HR de 16.4 cm, mientras que en T2 la HH fue 11.1cm y HR 16.3 cm. Además la tasa de crecimiento y tasa específico de crecimiento (TC y TEC) fue mayor en el T1 en hoja (0.15 cm/día; 1.98 %/día) como en raíz (0.16 cm/día; 2.45 % día).

Reyes y Gonzales (2016), determinaron la relación pez planta adecuada para la producción de tomate. En tanques con 450 L de agua se sembraron alevines de tilapia con peso individual inicial de 0.45 g en tres densidades 120, 80 y 40 peces m³. Los peces fueron alimentados diariamente a una tasa calculada sobre 7 % del peso corporal por pez. Alimento comercial de 46 % de proteína se usó durante un mes y de 28 % de proteína para los 2 meses restantes. Un total de 48 plántulas de tomate fueron trasplantadas en tres camas de crecimiento (16 plantas por cama) 10 días después de la siembra de peces. La sobrevivencia de peces fue de 100%, el factor de conversión alimenticia fue de 1.18 y el peso final por pez fue de 62 g. Con la relación 20:1 se obtuvo plantas con longitud

promedio de tallo de 160.6 cm, mayor número de frutos (9) y rendimiento promedio de 2.5 kg pta-1. La concentración de nutrimentos en el agua estuvo por debajo de los límites permitidos, sin embargo, la baja concentración de K y la ausencia de Fe y B afectaron el desarrollo de la planta después de 90 días.

En la actualidad se cuentan con una gran cantidad de investigaciones dirigidas hacia la validación de los efluentes acuapónicos como una fuente para la fertilización de cultivos, pero no se cuentan con antecedentes que validen el potencial que tienen los residuos sólidos presentes en los efluentes para la fertilización de cultivos. Es por esto que el presente trabajo será el primero en validar su potencial como una fuente para la elaboración de una solución nutritiva orgánica para la fertilización de cultivos.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos

El desarrollo sustentable gira bajo tres pilares las cuales involucran la sostenibilidad ambiental, económica y social. La primera apunta hacia la conservación de los sistemas de soporte de la vida como fuentes de recursos; la económica se refiere al mantenimiento del capital económico y finalmente la social definida como el desarrollo del capital social (Munasinghe, 1993).

La gestión de riesgos es el proceso planificado, concertado, participativo e integral de reducción de las condiciones de riesgo de desastres de una comunidad, una región o un país. (Chuquisengo, 2011).

3.2 Acuicultura

La acuicultura se refiere a toda aquella forma de cultivo de animales acuáticos, como los peces, moluscos y crustáceos, así como plantas de medios de agua dulce, salobre o marina, se puede considerar como una industria de producción primaria y se visualiza como una estrategia que sustituya a la pesca, ya que permite disminuir la presión ejercida en las poblaciones naturales (Pillay y Kutty, 2005).

El sector acuícola en México sigue creciendo más rápidamente que cualquier otro sector de producción de alimentos de origen animal, con un incremento del suministro acuícola per cápita desde 0.7 kg en 1970 hasta 7.8 kg en 2008, lo que constituye un crecimiento medio anual del 6.6 % (FAO, 2011). Chiapas cuenta con un potencial pesquero constituido por 87.984 km² de zona económica exclusiva; 11.734 km² de plataforma

continental y 5.616 km² de mar territorial, en los que se realiza la pesca de altura y mediana altura (Secretaría de Pesca y Acuicultura, 2013).

Sin embargo, este crecimiento tan acelerado ha desencadenado una fuerte competencia por los recursos naturales (tierra y agua) y un incremento en el impacto ambiental (Naylor *et al.*, 2000; Dediu *et al.*, 2011), debido principalmente a la gran cantidad de desechos descargados en los cuerpos de agua, ya que la acuicultura como otros sectores de producción animal genera abundantes desechos (Piedrahita, 2003; Tacón y Forster, 2003; Pardo *et al.*, 2006; Amirkolaie, 2008). Tales desechos son responsables del deterioro en la calidad del agua dentro de un sistema de producción (Losordo *et al.*, 1998).

Estos desperdicios consisten primeramente en alimento para peces no consumidos y el material fecal. Los desperdicios son una fuente de contaminación de nutrientes como carbono, nitrógeno y fósforo (Guanzhi, 2001).

La acuicultura requiere eliminar eficazmente los diversos componentes orgánicos e inorgánicos presentes en los efluentes de las unidades de cultivo. Una alternativa es integrar la acuicultura y la agricultura hidropónica reutilizando el efluente y con ello se disminuye el impacto ambiental (Ortiz, 2009).

3.3 Hidroponía

La hidroponía es el cultivo de plantas, principalmente hortalizas, sin usar suelo, que es substituido por un sustrato sólido constituido por materiales inertes. Por ser inerte el sustrato de cultivo, las plantas hidropónicas se alimentan con una solución nutritiva en la cual se disuelven en agua las sales minerales que aportan a las plantas todo los elementos necesario para su desarrollo (Soto y Ramírez, 2002).

3.4 Sistemas hidropónicos

Los sistemas hidropónicos se pueden dividir en sistemas hidropónicos con agregados o sustratos y en sistemas hidropónicos en agua (Rodríguez, 2002). Algunos sistemas hidropónicos se pueden definir conforme el material utilizado dependiendo del cultivo (Montero *et al.*, 2006).

- Sistemas hidropónicos con agregados o sustratos.

Un sustrato es un medio sólido e inerte, que protege y da soporte a la planta para el desarrollo de la raíz en las hortalizas y flores, permitiendo que la “solución nutritiva” se encuentre disponible para su desarrollo (Others, 2016).

El sustrato es cualquier material sólido; sin embargo, el que sea utilizado debe poseer ciertas propiedades físicas, biológicas y químicas. Físicamente estable, que no experimente contracción o dilatación como respuesta a cambios climáticos y que sea lo más duradero posible. Biológicamente, que no albergue ningún organismo perjudicial como semillas de malezas, nematodos, hongos o bacterias, aunque se debe considerar que no existe ningún medio totalmente estéril. Químicamente, no debe presentar reacciones con las sales minerales que nutren a las plantas, por lo que se debe utilizar un sustrato con nula capacidad de intercambio catiónico, debe tener un pH constante y mínima velocidad de descomposición. En otras palabras la solución nutritiva no debe verse afectada por las características del material utilizado como sustrato (Guzmán, 2004).

Los sistemas hidropónicos con agregados o sustratos más utilizados son los sistemas de sustrato sólido, el cultivo en columnas y el riego por goteo (Alvarado *et al.*, 2001).

- Sistema de columnas con sustrato

Este sistema permite una alta producción de plantas por unidad de área, pero está restringido sólo para plantas de porte pequeño. Las plantas que crecen en un sistema de columnas deben estar bien iluminadas, de lo contrario tendrían una menor tasa fotosintética, afectando su rendimiento. Sobre cada columna, se colocan 4 goteros conectados a microtubos de 3 mm de diámetro, los cuales se colocan en diferentes puntos de la columna. Dos de los microtubos deben colocarse en la primera maceta superior. Cuando se enciende el sistema de riego, la solución nutritiva ingresa por cada micro tubo, de tal forma que todo el sustrato se humedece por gravedad (Alvarado *et al.*, 2001).

- Sistema de riego por goteo

Es el sistema más usado a nivel mundial, principalmente con lana de roca. El área mundial destinada a la producción con lana de roca está en el orden del 57 %. El riego se hace aplicando pequeñas cantidades de solución nutritiva directamente en la zona radicular. El sistema es muy usado para la producción de cultivos de fruto como tomate, pimiento, melón, pepinillo y sandía (Alvarado *et al.*, 2001).

- Sistema hidropónicos en agua

Son sistemas hidropónicos por excelencia, pues en ellos las raíces de las plantas están en contacto directo con la solución nutritiva. Entre éstos sistemas los más conocidos son el recirculante o NFT, el aeropónico y raíz flotante (Alvarado *et al.*, 2001).

- Sistema Recirculante o NFT

El término NFT se refiere a las iniciales de Nutrient Film Technique y que traducido del inglés significa técnica de la película nutriente, o sistema de recirculación continua. El principio del sistema consiste en recircular continuamente la solución por una serie de canales de PVC de forma rectangular y de color blanco, llamados canales de cultivo. En cada canal hay agujeros donde se colocan las plantas sostenidas por pequeños vasos plásticos. Los canales están apoyados sobre mesas o caballetes y tienen una ligera pendiente que facilita la circulación de la solución, luego la solución es recolectada y almacenada en un tanque. En el sistema hay una bomba eléctrica que funciona continuamente durante las 24 h del día. Por los canales circula una película o lámina de apenas 3 a 5 ml de solución nutritiva. La recirculación mantiene a las raíces en contacto permanente con la solución nutritiva, favoreciendo la oxigenación de las raíces y un suministro adecuado de nutrientes minerales para las plantas (Carrasco e Izquierdo, 1996).

- Aeropónico

En este sistema las plantas están creciendo sostenidas en agujeros en planchas de termopor (poliestireno expandido). El sistema aeropónico tiene la forma de un triángulo equilátero y sirve para producir cultivos de hojas de poca altura. Las raíces están suspendidas en el aire debajo de la plancha y encerradas en una cámara de aspersión. La cámara está sellada por lo que las raíces están en oscuridad y están saturadas de humedad. Un sistema de nebulización asperja periódicamente la solución nutritiva sobre las raíces. El sistema está normalmente encendido sólo unos cuantos segundos cada 2 a 3 minutos, tiempo suficiente para humedecer y oxigenar las raíces (Mórgan, 1999).

- Raíz Flotante

En este sistema no se utiliza sustrato sólido, las raíces están sumergidas directamente en la solución nutritiva. Se utilizan láminas de “duoport” a las que se les perforan agujeros en donde se asientan las plantas y luego se ponen a flotar sobre la solución nutritiva, la cual debe ser aireada periódicamente para brindarle oxígeno a las raíces. En este caso al contenedor no debe perforarse agujero de desagüe. Se puede decir que este sistema representa la verdadera hidroponía, ya que el trabajo se realiza en agua, a la que se le agregan los nutrimentos minerales (Guzmán, 2004).

3.5 Fertilización orgánica

Los fertilizantes orgánicos, también conocidos como abonos orgánicos, son aquellos materiales derivados de la descomposición biológica de residuo de origen vegetal y animal. Su aplicación en forma y dosis adecuada mejora las propiedades y características físicas, químicas y biológicas del suelo, es decir es la forma natural de fertilizar el suelo (Fira, 2003).

Los fertilizantes inorgánicos actúan de la misma manera que los orgánicos en término de su asimilación por la planta, ya que ambos tienen que ser descompuestos en formas iónicas y unirse a los coloides del suelo y luego ser liberados en el agua que rodea las raíces de las plantas, posteriormente ocurre el intercambio iónico entre las raíces de la planta y la solución nutritiva, es decir que fisiológicamente las plantas no difieren en el intercambio iónico entre la solución suelo o solución nutritiva por tanto, si las plantas están creciendo hidropónicamente y están libres de pesticidas, se puede argumentar que realmente están creciendo orgánicamente (Reish, 1999).

3.6 Solución Nutritiva (SN)

Una hortaliza hidropónica es cultivada por medio de un cultivo sin suelo y los nutrientes son suministrados a través de sales o fertilizantes químicos que se agregan al agua, diluyéndose en cantidades y concentraciones óptimas, a ésta combinación de agua y sales se le denomina solución nutritiva (Alvarado *et al.*, 2001).

3.6.1 Formulación de la solución nutritiva

En hidroponía los elementos minerales nutritivos esenciales son aportados exclusivamente en la solución nutritiva, a través de las sales fertilizantes que se disuelven en agua. Por esta razón, la formulación y control de la solución junto a una adecuada elección de las fuentes de las sales minerales solubles, constituyen una de las bases para el éxito del cultivo hidropónico (Alvarado *et al.*, 2001).

La formulación de una solución nutritiva se refiere a la concentración de los elementos nutritivos que la componen, generalmente expresados en partes por millón (ppm). Las sales utilizadas para la preparación de soluciones nutritivas, se caracterizan por su alta solubilidad, de esta forma se deberán elegir aquellos que se presentan en sus formas hidratadas (Mórgan, 1999).

3.6.2 Soluciones nutritivas orgánicas

La utilización de materiales orgánicos líquidos es una alternativa para satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos, disminuir los costos de producción y la dependencia de los fertilizantes minerales. La aplicación de efluentes vía foliar o adicionados al suelo aumenta el rendimiento y la calidad de los frutos de la planta, además favorece la sanidad

vegetal debido principalmente a que contienen microorganismos benéficos capaces de suprimir enfermedades en los cultivos (Ingham, 2005; Pant *et al.*, 2009).

3.6.3 Composición de las soluciones nutritivas

Resh (1997), menciona que además de los elementos que los vegetales extraen del aire y del agua tales como carbono, hidrógeno y oxígeno, ellos consumen con diferentes grados de intensidad los siguientes elementos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Consumo de nutrimentos esenciales para cultivo de plantas.

Categoría	Requerimiento	Elementos
Macronutrientes	Indispensables para la vida de los vegetales, son requeridos en distintas cantidades por las plantas	N - P - K
Mesonutrientes	Indispensables en cantidades intermedias	S - Ca - Mg
Micronutrientes	Indispensables en pequeñas cantidades	Fe - Cu - Zn - B - Mo
No indispensables	Útiles pero no indispensables para su vida	Cl - Na - Si - I
Tóxicos	Tóxicos para el vegetal	Al

Fuente: Resh (1997).

3.6.4 Minerales esenciales para el cultivo de plantas

- Nitrógeno (N)

Es el elemento que más influye en el crecimiento y rendimiento de las plantas, es constituyente de aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos, también forma parte de la molécula de clorofila. Una adecuada cantidad de nitrógeno produce un rápido crecimiento y de un color verde oscuro, lo que es una señal de la fuerte actividad fotosintética de la planta (Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006).

Una deficiencia produce un reducido crecimiento y su brotación es débil y de color pálido, la falta de este elemento en las reservas al final del verano-otoño, puede provocar corrimiento de flor en la primavera siguiente (Resh, 2006).

Un exceso alarga la vegetación y los frutos tardan en madurar, además el fruto tiene menos aguante al transporte, mayor sensibilidad a las plagas y enfermedades, los tejidos verdes y tiernos son fácilmente parasitados, aumenta la salinidad del suelo y los efectos de sequía, favorece a las carencias de cobre, hierro y boro (Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006).

- Fósforo (P)

Participa en la constitución de ácidos nucleicos (ADN y ARN), además cumple con un rol en la transferencia y almacenaje de energía (ATP). Una adecuada cantidad da consistencia a los tejidos, favorece la floración, fecundación, fructificación y maduración, influye en la cantidad, peso y sanidad de semillas y frutos, favorece el desarrollo del sistema radicular, participa en la actividad funcional de la planta (fotosíntesis), es un factor de precocidad, es un elemento de calidad, haciendo las plantas más resistentes a plagas y enfermedades (Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006).

La falta de fosforo puede provocar carencia de cobre, calcio, hierro y boro. Su deficiencia se manifiesta en una disminución de crecimiento, madurez retardada, poco desarrollo de granos y frutos, hojas de color verde oscuro con puntas muertas, coloración rojo purpura en zonas de follaje (Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006). El exceso de fósforo acelera la madurez, incrementa crecimiento de raíces (Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006).

- Potasio (K)

Es activador de muchas enzimas esenciales en fotosíntesis y respiración, activa enzimas necesarias para formar almidón y proteínas, favorece la formación de hidratos de carbono, aumenta el peso de granos y frutos, haciéndolos más ricos en azúcar y zumo, mejorando su conservación, favorece la formación de raíces, y las plantas resisten mejor la sequía, es un elemento de equilibrio y sanidad, aportando mayor resistencia a las heladas, a las plagas y a las enfermedades (Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006).

Su deficiencia se manifiesta por un enrollamiento hacia arriba del borde de las hojas acompañado por una quemadura de color café en las puntas y márgenes comenzando por las más maduras, también presenta tallos débiles, frutos pequeños, semillas arrugadas y crecimiento lento, puede inducir carencias de magnesio, cobre, cinc, magnesio y hierro (Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006).

- Calcio (Ca)

Constituye una parte esencial de la estructura de la pared celular y es indispensable para la división celular, favorece el crecimiento, da resistencia a los tejidos vegetales, desarrolla el sistema radicular, influye en la formación, tamaño y maduración de frutos. Su deficiencia no es común, siendo los síntomas de ésta la muerte de los puntos de crecimiento, coloración anormal oscura del follaje, caída prematura de brotes y flores y debilitamiento de tallos (Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006). Su exceso produce un aumento en el pH y dificulta la absorción de algunos elementos, como el potasio, boro, hierro, magnesio y forma fosfatos insolubles con el fósforo (Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006).

- Azufre (S)

Favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas, si hay carencia, la fructificación no es completa, es un componente de las proteínas y enzimas, interviene en los procesos de formación de la clorofila, favorece la formación de nódulos en las raíces de las leguminosas (Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006).

El síntoma de deficiencia se identifica en hojas jóvenes de color verde claro o amarillento pudiendo algunas plantas verse afectadas en los tejidos más viejos también, plantas pequeñas y alargadas, crecimiento retardado en la madurez, aumenta la salinidad en los suelos (Russel y Wild, 1992; Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006).

- Magnesio (Mg)

Es uno de los componentes principales de la clorofila, por lo que su carencia reduce la formación de hidratos de carbono, así como la capacidad productiva de las plantas, su resistencia a heladas y enfermedades, los frutos hacen gran consumo de este elemento, por lo que no es raro encontrar carencias en una agricultura intensiva (Russel y Wild, 1992; Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006).

La deficiencia de magnesio provoca en la planta una clorosis invernal en las hojas y necrosis en los márgenes, manteniéndose verde el área a lo largo del nervio central, los márgenes de las hojas se curvan hacia arriba produciendo grandes defoliaciones (Russel y Wild, 1992; Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006).

- Hierro (Fe)

Este elemento es una suma importancia debido a que forma parte de enzimas y numerosas proteínas que acarrear electrones durante la fotosíntesis y respiración (Taiz y Zeiger, 2006).

La deficiencia de hierro provoca una inhibición rápida de la formación de clorofila provocando una clorosis intervenal pronunciada, presentando primero en hojas jóvenes; en ciertas ocasiones es seguida de una clorosis venal. En casos severos se ponen blancas, con lesiones necróticas (Taiz y Zeiger, 2006).

- Cloro (Cl)

Tiene por función estimular la ruptura (oxidación) de la molécula de agua durante la fotosíntesis, es de importancia en las raíces, división celular en hojas y soluto osmóticamente activo de importancia para mantener la integridad celular (Navarro y Navarro, 2003).

- Manganeso (Mn)

Activador de una o más enzimas en la síntesis de ácidos grasos, las enzimas responsables en la formación del ADN Y ARN de las enzimas deshidrogenasa del ciclo de Krebs. Participa directamente en la fotosíntesis, en la formación de oxígeno desde el agua y en la formación de clorofila (Taiz y Zeiger, 2006).

- Boro (B)

Tiene un papel no bien entendido en las plantas, ya que puede ser requerido para el transporte de carbohidratos en el floema (Taiz y Zeiger, 2006).

- Zinc (Zn)

Requerido para la formación de ácido indolacético en el grupo hormonal de las auxinas. Activa la deshidrogenasa del alcohol de las enzimas, la deshidrogenasa del ácido láctico. (Taiz y Zeiger, 2006).

- Cobre (Cu)

Actúa como portador de electrón así como parte de ciertas enzimas. Está implicado en la fotosíntesis y también en la oxidación del poli fenol y la reductasa en compuestos de nitrato. Puede estar implicado en la fijación del nitrógeno (Russel y Wild, 1992; Taiz y Zeiger, 2006).

- Molibdeno (Mo)

Actúa como portador del electrón en la conversión del nitrato a amonio y es también esencial para la fijación de nitrógeno (Russel y Wild, 1992; Taiz y Zeiger, 2006).

3.7. Manejo de la solución nutritiva

Es posible determinar la concentración de cada uno de los elementos nutritivos en la solución a través del análisis químico. Sin embargo, operar un sistema hidropónico requiere realizar controles o estimaciones diarias de la concentración de los elementos nutritivos (Alvarado *et al.*, 2001).

La cantidad de solución nutritiva concentrada que se recomienda aplicar, depende del requerimiento del nivel de conductividad eléctrica que se maneje para la producción determinada (Arano, 2004).

Para evaluar la aptitud de la solución nutritiva con fines de riego, se debe hacer un muestreo representativo para determinar los siguientes parámetros: Temperatura pH, Oxígeno disuelto, Conductividad eléctrica (Marín *et al.*, 2002).

- Temperatura

La temperatura de la solución nutritiva influye en la absorción de agua y nutrimentos. La temperatura óptima para la mayoría de las plantas es de aproximadamente 22 °C; en la medida que la temperatura disminuye, la absorción y asimilación de los nutrimentos también lo hace (Cornillon, 1988). La baja temperatura de la solución nutritiva tiene mayor efecto en la absorción de fósforo que en la de nitrógeno y agua (Adams, 1994). Con temperaturas menores a 15 °C se presentan deficiencias principalmente de calcio, fósforo y hierro (Moorby y Graves, 1980). La baja temperatura favorece la deficiencia de calcio y la incidencia de pudrición apical de los frutos. Una de las causas de menor absorción de algunos nutrimentos cuando la temperatura es baja, se debe a que en esas condiciones la endodermis de la raíz se suberiza, con lo cual se reduce la permeabilidad y disminuye la absorción de agua y nutrimentos (Graves, 1983).

- pH

Un parámetro a controlar es el pH de la solución nutritiva, es decir el grado de acidez o alcalinidad de la solución. El nivel de pH influye directamente sobre la disponibilidad de nutrientes por parte de la planta. Entre valores de pH de 5.5 a 7.0, se encuentra la mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas. Fuera de este rango las formas en que se pueden encontrar los nutrientes resultan no disponibles para ser absorbidos por la planta (Gilsanz, 2007).

Para disminuir el pH se agrega un ácido como ácido sulfúrico, ácido fosfórico o ácido nítrico y para aumentar el pH se debe adicionar una base o álcali como hidróxido de potasio o hidróxido de sodio. Estos ácidos y bases se deben utilizar diluidos a concentraciones de 1N. Esto con la ayuda de un pH metro o cinta de pH para el control de este parámetro. Asimismo, se recomienda calibrar pH metro con una solución tampón (Buffer) antes de utilizarlo (Chang *et al.*, 2000).

- Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto no requiere de tantos detalles como el pH, simplemente cabe mencionar que este gas debe mantenerse por encima de 3 mg/L, siendo preferible una concentración igual o mayor a 5 mg/L. De encontrarse disminuido el oxígeno en el sistema, no se realizará una buena nitrificación; restando desechos metabólicos sin filtrar y acumulándose en concentraciones tóxicas para los peces. Los peces y plantas ante la ausencia de oxígeno, dejan de crecer, y en el caso particular de los peces, pueden dejar de alimentarse y morir. Un buen momento para la medida del oxígeno, es luego de alimentar, cuando el metabolismo de los peces se incrementa (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2011).

- Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica indica el contenido de sales en la solución. El rango de conductividad eléctrica para un adecuado crecimiento de cultivos se encuentra entre de 0.75 a 2 mS/cm o 375 a 1000 ppm. Se recomienda realizar esta evaluación por lo menos una vez por semana (Chang *et al.*, 2000).

Si la solución nutritiva supera el límite de rango óptimo de conductividad eléctrica se debe agregar agua o, en caso contrario, si se encuentra por debajo del rango óptimo deberá renovarse totalmente (Zepeda, 2012).

- Duración y renovación de la solución nutritiva

La vida útil de la solución nutritiva depende principalmente del contenido de iones que no son utilizados por las plantas. La medida semanal de la conductividad eléctrica indicará el nivel de concentración de la solución (si es alto o bajo). La vida media de una solución nutritiva que haya sido ajustada por medio de análisis semanales suele ser de dos meses. En caso de no efectuarse dichos análisis se recomienda un cambio total de la solución nutritiva a las 4 a 6 semanas (Chang y Rodríguez, 2000).

3.8 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 (Rakocy, 1999).

En los sistemas acuapónicos de recirculación de agua se utiliza un tratamiento de Biofiltración para eliminar la materia orgánica y la transformación de amonio en nitritos y nitratos, lo que nutre a las plantas (Ortiz, 2009).

- Biofiltración

Se define como la conversión bacteriológica de compuestos orgánicos nitrogenados a nitrato, esta conversión la realizan bacterias de los géneros Nitrosomonas y Nitrobacter principalmente. La nitrificación es de gran importancia en los cultivos de organismos acuáticos porque el amoníaco es un desecho metabólico altamente tóxico que se descarga directamente por muchos organismos cultivados y que se genera como un subproducto por muchas bacterias (Wheaton, 1982).

La Biofiltración cumple con dos objetivos en el sistema acuapónico. Ambos obtenidos a partir de un mismo proceso: la nitrificación. El primero, es el de transformar el nitrógeno amoniacal (NH₃) 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 (NO₃⁻). Este componente inorgánico es el menos tóxico nitrogenado (hasta 300 mg/L, DL50, según la especie) y constituye la forma de nitrógeno asimilada por las plantas (Bernal, *et al*, 2014).

El amoníaco es liberado en el agua a través de las excretas y las branquias de los peces como producto de su metabolismo, por lo que deben ser filtrados del agua, ya que una mayor concentración de amoníaco (normalmente entre 0.5 y 1 ppm) pueden matar a los

peces. Aunque las plantas pueden absorber el amoníaco del agua hasta cierto punto, los nitratos son asimilados más fácilmente, por lo tanto, de manera eficiente, la reducción de la toxicidad del agua para los peces. El amoníaco puede ser convertido en otros compuestos nitrogenados a través de poblaciones saludables de: Nitrosomonas: las bacterias que convierten el amoníaco en nitritos, y Nitrobacter: las bacterias que convierten los nitritos en nitratos (Bernal, 2012).

En un sistema de Acuaponía, la bacteria responsable de este proceso forma un biofilm en todas las superficies sólidas en todo el sistema que están en constante contacto con el agua. Las raíces sumergidas de los vegetales combinados tienen una gran superficie, por lo que muchas bacterias pueden acumularse allí. Junto con la prominencia de amoníaco y nitritos en el agua, la superficie determina la velocidad con que se lleva a cabo la nitrificación. El cuidado de estas colonias bacterianas es importante para regular la completa asimilación de amonio y nitrito (Bernal, 2012).

Normalmente, después de un sistema se ha estabilizado los niveles de amoníaco rango 0.25-2.0 ppm, los niveles de nitrito rango 0.25-1 ppm, y el rango de los niveles de nitrato de 2 a 150 ppm. Durante el inicio del sistema, pueden producirse picos en los niveles de amoníaco (hasta 6.0 ppm) y nitritos (hasta 15 ppm), con niveles de nitrato en horas pico más tarde en la fase de arranque (Bernal, 2012).

3.9 Peces en acuaponía

Varias especies de peces han sido cultivadas con éxito en los sistemas acuapónicos. La tecnología actual limita las opciones a las especies de agua dulce, aunque investigaciones recientes han demostrado ser prometedoras en medios de agua salada (agua

salobre), con especies híbridas y el camarón. La mayor parte de pescado acuapónico del mercado, tanto en kilogramos cosechados y número de operaciones comerciales, es tilapia. Esto se debe a que tiene varias ventajas para la operación comercial: ciclo corto desde el nacimiento hasta la cosecha (6-9 meses), tolera fluctuaciones drásticas en la calidad del agua y son tolerantes a los bajos niveles de oxígeno durante largos tiempos (Scott, 2002).

3.10. Taxonomía y Morfología para el cultivo de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*).

- Reino: Animalia
- Filo: Chordata
- Clase: Actinopterygii
- Orden: Perciformes
- Familia: Cichlidae
- Sub Familia: Pseudocrenilabrinae
- Tribu: Tilapiini
- Género: Tilapia
- Especie: Niloticus
- Nombre científico: *Oreochromis niloticus*

La tilapia presenta, al igual que los demás miembros de la familia de los Ciclidos: orificios nasales simples, uno de cada lado de la cabeza (Cantor, 2007).

El cuerpo de estos peces es robusto, comprimido, a menudo discoidal, raramente alargado; la boca es protráctil, posee una mandíbula ancha, a menudo bordeada por labios gruesos; las mandíbulas presentan dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos. Para su

locomoción poseen aletas pares e impares. Las aletas pares las constituyen las pectorales y las ventrales; las impares están constituidas por la aleta dorsal, 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 su aleta dorsal en forma de cresta. La aleta caudal es redonda, trunca y raramente cortada, la cual sirve para mantener el equilibrio del cuerpo durante la natación (Saavedra, 2006).

El color original de esta tilapia es gris aceitunado, variando durante la fase reproductiva, especialmente en el macho. A lo largo de la parte dorsal del cuerpo, presentan una serie de rayas negras verticales que algunas veces se extienden hacia el abdomen en forma difusa; además se presentan dos bandas horizontales muy tenues a lo largo del cuerpo, ocasionalmente en la parte lateral. Estas bandas, superficialmente formadas por la expansión de melanóforos, aparecen y desaparecen rápidamente. Muestra una clara diferencia o dimorfismo sexual; la hembra presenta tres orificios en el abdomen: el anal, el genital y el urinario; el macho sólo dos: el anal y el genital (Cantor, 2007).

3.11. Generalidades del cultivo de tilapia

- Etapas de desarrollo

La tilapia tiene un ciclo de vida bien definido en cuatro etapas (Cantor, 2007). : Alevín, cría, juvenil y adulto.

Alevín: es la etapa del desarrollo subsecuente al embrión y a la eclosión, dura alrededor de 3 a 5 días; en esta fase, el alevín, se caracteriza porque presenta un tamaño de 0.5 a 1cm y posee un saco vitelino en el vientre que es de donde se alimenta los primeros días de nacido Cría. Se les llama **cría:** cuando los peces han absorbido el saco vitelino y

comienzan a aceptar alimento balanceado, y han alcanzado una talla de 1 a 5 cm de longitud, **Juvenil:** son peces con una talla que varía entre 5 y 10 cm, la cual alcanza a los 2 meses de edad y aceptan alimento balanceado para crecimiento, **Adulto:** es la última etapa del desarrollo, los individuos presentan tallas entre 10 y 18 cm y pesos de 70 a 100 g, características que obtienen alrededor de los 3.5 meses de edad.

Según Cantor (2007), la talla comercial de la tilapia puede variar de 200 a 500 g (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tallas y pesos estimados para cada etapa de vida de tilapia (*Oreochromis niloticus*).

Estadio	Talla (cm)	Peso (g)	Tiempo (días)
Huevo	0.2-0.3	0.01	3-8
Alevín	0.7-1.0	0.10-0.12	10-15
Cría	1-5	0.5-4.7	15-30
Juvenil	5-10	10-50	45-60
Adulto	10-18	70-100	70-90

Fuente: Cantor, 2007.

- Reproducción

Se reproducen a temprana edad, alrededor de las 8 o 10 semanas, teniendo una talla entre 7 a 16 cm, por lo que se dificulta el control de la población en los estanques donde se cultiva. Al nadar las hembras cerca del nido estimulan a los machos, si están maduras entran al nido y después de una serie de cortejos rituales que realizan los machos (los cuales presentan coloración acentuada y vistosa), depositan los huevos en el piso del nido donde

son fertilizados. Una vez que esto ocurre, las hembras toman los huevos en la boca y se retiran del nido. El período de incubación tarda de 60 a 72 h, después de los cuales avivan los pequeños alevines que la hembra ha llevado en su boca durante 5 a 8 días. Posteriormente y al cabo de este período, las crías hacen cortas incursiones durante los cuales abandonan su refugio bucal, retornando a él en algún momento de peligro (Cantor, 2007).

- Hábitat

Se les encuentra habitando en aguas lenticas (lentas), principalmente someras o turbias (estancadas o inactivas) como lagos, lagunas, litorales, bordos, estanques, charcos así como también en loticas (aguas corrientes) a orillas de ríos entre piedras y plantas acuáticas e inclusive en aguas marinas. El hábitat que prefieren es de fondo lodoso, toleran altas salinidades, son peces eurihalinos, o sea que pueden vivir en aguas dulces, salobres y marinas, el rango de tolerancia es de 0 a 40 mg/L y en algunos casos, se ha presentado por arriba de esta salinidad (Cantor, 2007).

- Calidad de agua

Para asegurar una buena producción y sanidad, es necesario que los parámetros físico-químicos de la calidad del agua, se mantengan entre los límites de tolerancia de la especie (Cuadro 3).

Cuadro 3. Parámetros ideales para el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*).

Parámetro	Rangos ideales	Parámetro	Rangos ideales
Temperatura	24 a 28 °C	Amonio (NH ₃ : no ionizado)	0 a 0.05
pH	6.5 a 9.0	Nitritos (NO ₂)	0 a 0.1
Turbidez	30 a 40 cm	Fosfatos (PO ₄)	0.5 a 1.5
Oxígeno disuelto	3 a 10 mg/L	Fósforo Total	0.01 a 3.0
Ozono	0 a 0.005 mg/L	Fósforo soluble	0 a 10
Dureza	10 a 500 mg/L	Ac. Sulfhídrico (H ₂ S)	0 a 0.003
Magnesio	0 a 36 mg/L	Ácido Cianhídrico (HCN)	0 a 0.1
Manganeso	0 a 0.01 mg/L	Gas Metano (CH ₄)	0 a 0.15
Calcio	5 a 160 mg/L	Cadmio en aguas duras	0 a 0.003
Dióxido de carbono	0 a 2.0 mg/L	Cadmio en aguas blandas	0 a 0.004
Amonio Total	Hasta 2.0 mg/L	Cloro	0 a 0.003

Fuente: Cantor (2007).

- Oxígeno disuelto

Dentro de los parámetros físico-químicos, el más importante en el cultivo de especies acuáticas es el oxígeno disuelto en el agua, influye en los estanques de cultivo afectando el crecimiento del organismo cultivado y eficiencia de conversión alimenticia. En el manejo de la calidad del agua de estanques de peces y/o camarones, el oxígeno disuelto es expresado en términos de miligramos por litro o partes por millón y generalmente, está presente en cantidades de 4 a 14 mg/L (Talavera *et al.*,2001).

La tilapia es capaz de sobrevivir a niveles bajos de oxígeno disuelto (1.0 mg/L) no obstante, el efecto de estrés al cual se somete es la principal causa de infecciones patológicas. Los niveles mínimos de oxígeno disuelto para mantener un crecimiento normal y baja mortandad deben mantenerse en un nivel superior a los 3.0 mg/L, valores menores a éste reducen el crecimiento e incrementan la mortandad (Cantor, 2007).

La concentración de oxígeno para un buen crecimiento se encuentra entre 2 a 5 mg/L de oxígeno disuelto, debido a que el metabolismo y el crecimiento disminuyen cuando los niveles son bajos (Vega *et al.*, 2009). Una ventaja del cultivo de tilapia es su tolerancia a bajas concentraciones, aproximadamente 1 mg/L, e incluso en períodos cortos valores menores. Aunque teniendo menor concentración de oxígeno el consumo de alimento se reduce y por consiguiente el crecimiento de los peces. Lo más conveniente son valores mayores de 2 o 3 mg/L, particularmente en ausencia de luz (Saavedra, 2006).

- Temperatura

La tilapia al igual que todos los peces son animales cuya temperatura corporal depende de la temperatura del medio y por lo tanto son sensibles a los cambios de temperatura. El rango óptimo para su cultivo fluctúa entre 27 y 32 °C. Por encima de los 32 °C o por debajo de los 27 °C su apetito se reduce junto con su crecimiento y por debajo de los 20 °C, prácticamente se detiene. Temperaturas dentro de la franja comprendida entre los 8 °C y 10 °C son generalmente letales. A temperaturas por encima de 38 °C el estrés térmico también suele causar mortalidades altas (Vega *et al.*, 2009).

Los cambios de temperatura afectan directamente la tasa metabólica, mientras mayor sea la temperatura, mayor tasa metabólica y por ende, mayor consumo de oxígeno. Variaciones grandes de temperatura entre el día y la noche deben subsanarse con el suministro de alimentos con porcentajes altos de proteína (Cantor, 2007).

También cuando se presentan cambios repentinos de 5 °C en la temperatura del agua, el pez se estresa y algunas veces muere. La reproducción se da con éxito a temperaturas entre 26 y 29 °C. Cuando la temperatura es mayor a 30 °C los peces consumen

más oxígeno. Los límites superiores de tolerancia oscilan entre los 37 y 42 °C (Saavedra, 2006).

- pH

El pH es la concentración de iones de hidrógeno en el agua. La gran mayoría de los organismos acuáticos sobreviven sin problemas en aguas neutras ($\text{pH} = 7.0$) o ligeramente alcalinas, en peces el rango normal se encuentra entre 6.5 y 9.0. El pH para tilapia debe de ser neutro o muy cercano a él, con una dureza normalmente alta para proporcionar una buena condición de mucus en la piel (Cantor, 2007). Saavedra (2006), menciona que los valores óptimos de pH para la tilapia oscilan entre 7 a 8; sin embargo, Vega *et al.*, (2009), consideran como óptimo un rango entre 6.5 y 8.5, incluso a pH de 10 la tilapia se desarrolla sin problemas aparentes.

- Amoníaco (NH_3)/Amonio (NH_4^+)

El amoníaco/amonio es un producto de la excreción, orina de los peces y descomposición de la materia vegetal y de las proteínas del alimento no consumido. El amoníaco (NH_3) (forma gaseosa) y primer producto de excreción de los peces, es un elemento tóxico. La toxicidad aumenta cuando la concentración de oxígeno disuelto es baja, cuando el pH es superior a 7.5 (alcalino) y la temperatura es alta. Cuando los valores de pH son bajos (ácidos), el amonio (NH_4^+) no causa mortalidades. Los niveles de tolerancia para la tilapia se encuentran en el rango de 0.6 a 2.0 mg/L. Una concentración alta de amonio/amoníaco en el agua causa bloqueo del metabolismo, daño en las branquias, afecta el balance de las sales, produce lesiones en órganos internos, inmunosupresión y

susceptibilidad a enfermedades, reducción del crecimiento y la supervivencia, exoftalmia (ojos brotados) y ascitis (acumulación de líquidos en el abdomen) (Cantor, 2007).

- Nitritos (NO_2^-)

Los nitritos son un parámetro de vital importancia por su gran toxicidad y por ser un poderoso agente contaminante. Se generan en el proceso de transformación del amoníaco a nitratos y su toxicidad depende de la cantidad de cloruros, de la temperatura y de la concentración, del nivel de recambios de agua, de la cantidad de alimento aportado y de las concentraciones de amonio en el agua. Los nitritos son producto de la actividad biológica relacionada con la descomposición de los componentes proteicos de la materia orgánica. Niveles tóxicos de nitritos son comunes en sistemas de recirculación y altas densidades de producción (Cantor, 2007).

Los nitritos interfieren con la habilidad de la sangre de los organismos para absorber oxígeno. En muchos peces niveles de 0.2 mg/L pueden ocasionar la “Enfermedad de la Sangre Café”, producida por la oxidación del ion ferroso de la hemoglobina a ion férrico metahemoglobina que da el color característico y ocasiona anemia crónica. Son un parámetro de vital importancia por su gran toxicidad y por ser un poderoso agente contaminante (Cantor, 2007).

Para prevenir su aumento por arriba de 0.1 mg/L, se debe mantener un monitoreo permanente sobre los niveles de amonio, al observarse incremento se debe suspender de inmediato la alimentación y aumentar el recambio de agua, hasta que se normalicen los niveles (Cantor, 2007).

3.12 Plantas en acuaponía

La selección de las plantas adaptadas al cultivo hidropónico en invernaderos acuapónicos, está relacionada a la densidad de la población de los peces en los tanques y la subsiguiente concentración de nutrientes de los efluentes de la acuicultura. Lechuga, hierbas, verduras (espinaca, cebollino, albahaca y berro, tomates, pepinos, pimiento), son algunas de las especies que se pueden emplear en los sistemas acuapónicos (Diver, 2006).

3.13 Taxonomía y Morfología para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.)

- Reino: Plantae
- Division: Magnoliophyta
- Orden: Asterales
- Familia: Asteraceae
- Sub familia: Cichorioideae
- Género: *Lactuca*
- Especie: *L Sativa*
- Nombre científico: *Lactuca sativa* L.

El origen de la lechuga no parece estar muy claro, aunque algunos autores afirman que procede de la India, por existir un seguro antecesor e la lechuga (*Lactuca sativa* L.). Que se encuentra en estado silvestre en la mayor parte de las zonas templadas (Mallar, 1978).

El cultivo de la lechuga se remonta a una antigüedad de 2500 años, siendo conocida por griegos y romanos. Las primeras lechugas de las que se tiene referencia son las de hoja suelta, aunque las acogolladas eran conocidas en Europa en el siglo XVI. La lechuga es una planta anual y autógena, perteneciente a la familia Compositaceae. Esta planta cuenta con

una raíz que no llega nunca a sobrepasar los 25 cm de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones. Hojas colocadas en roseta, desplegadas al principio; en unos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas), y en otros se acogollan más tarde, el borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado. Posee un tallo cilíndrico ramificado con inflorescencias tipo cilíndrico y ramificado. Capítulos florales amarillos dispuesto en racimos o corimbos y semillas provistas de un vilano plumoso (Mallar, 1978).

3.13.1 Requerimientos climáticos

La temperatura óptima de germinación oscila entre 18-20 °C. Durante la fase de crecimiento del cultivo se requieren temperaturas entre 11-18 °C por el día y 5-8 °C por la noche, pues la lechuga exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche. Durante el acogollado se requieren temperaturas en torno a los 10 °C por el día y 3-5 °C por la noche. Este cultivo soporta temperaturas desde 30 °C hasta -6 °C (Blancard, *et al.*, 2005). Respecto a la humedad relativa necesaria para el cultivo se debe tener en cuenta principalmente que el sistema radicular de la lechuga es muy reducido en comparación con la parte aérea por lo que es muy sensible a la falta de humedad y soporta mal un periodo de sequía, aunque este sea muy breve. La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 al 80 %, aunque en determinados momentos agradece menos del 60 %. Los problemas que presenta este cultivo en invernadero es que se incrementa la humedad ambiental, por lo que recomienda su cultivo al aire libre, cuando las condiciones climatológicas lo permitan (Blancard *et al.*, 2005).

3.14. Taxonomía y Morfología para el cultivo de zanahoria (*Daucus carota*)

- Reino: Plantae
- Division: Magnoliophyta
- Orden: Apiales
- Familia: Apiaceae
- Sub familia: Apiaceae
- Género: *Daucus*
- Especie: *Daucus carota* L.

La zanahoria es una planta bianual, durante el primer año se forma una roseta de pocas hojas y la raíz. Después de un período de descanso, se presenta un tallo corto en el que se forman las flores durante la segunda estación de crecimiento (Directorio agropecuario, 2016). Tiene un sistema radicular de raíz napiforme, de forma y color variables. Tiene función almacenadora, y también presenta numerosas raíces secundarias que sirven como órganos de absorción. Al realizar un corte transversal se distinguen dos zonas bien definidas: una exterior, constituida principalmente por el floema secundario y otra exterior formada por el xilema y la médula. Las zanahorias más aceptadas son las que presentan gran proporción de corteza exterior, ya que el xilema es generalmente leñoso y sin sabor. Cuenta con flores de color blanco, con largas brácteas en su base, agrupadas en inflorescencias en umbela compuesta y un fruto diaquenio soldado por su cara plana (Directorio agropecuario, 2016).

3.14.1 Requerimientos climáticos

Respecto al fotoperiodo la zanahoria se comporta como planta de día neutro, se desarrolla bien a alturas que van de los 600–3000 m soporta precipitaciones entre 600–1700 mm. Generalmente se cultiva bajo riego, ya que la combinación de temperaturas y humedad elevadas reducen el rendimiento significativamente respecto a la humedad ambiental. Prefiere atmósferas secas o moderadamente húmedas (Benacchio, 1982). Sus rangos de temperatura son para la mínima umbral para desarrollo 10 °C (Dean *et al.*, 1989), con una máxima umbral de 30–35 °C. La temperatura óptima para que ocurra la germinación está entre 18–25 °C. Para el crecimiento de la raíz carnosa, se considera como la mejor temperatura de 20–22 °C y para el crecimiento de las hojas de 23–25 °C. Las altas temperaturas provocan que el crecimiento de las raíces carnosas sea muy lento o casi de paralice, que éstas sean ásperas con la superficie irregular y se afecte su sabor. Para florecer la zanahoria necesita bajas temperaturas, por lo que la vernalización ocurre de forma satisfactoria a temperaturas de 3 a 5 °C (Huerres y Caraballo, 1988). Respecto a la luz es una planta exigente de intensidad de luz. Cuando se siembra en altas densidades, recibe un auto sombreado y las raíces se forman más pequeñas. La luz insuficiente, sobre todo después de la germinación de la semilla, no es favorable, porque se alarga el hipocótilo y produce un aumento en la parte de la raíz carnosa que se desarrolla por encima de la superficie del suelo, lo que hace que pierda calidad para el momento de la cosecha (Huerres y Caraballo, 1988).

IV. OBJETIVOS

4.1 General

Determinar la calidad nutrimental de los residuos sólidos, presentes en un sistema de recirculación acuapónico como una fuente de solución nutritiva en la producción de zanahoria (*Daucus carota*), bajo un sistema de camas con sustrato hidropónico.

4.2 Específicos

- Construcción y manejo de un sistema acuaponico asociado a un cultivo de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*).
- Colectar los residuos sólidos acumulados dentro de un sistema acuapónico con un cultivo de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). como una fuente para la elaboración de soluciones nutritivas.
- Preparar una solución nutritiva basada en los residuos sólidos de un sistema acuapónico para la fertilización del cultivo de zanahoria (*Daucus carota*), bajo un sistema de camas con sustrato hidropónico.
- Evaluar y comparar la calidad de la producción total por medio de variables morfológicas para el cultivo de zanahoria (*Daucus carota*) entre ambas soluciones nutritivas.

V. HIPÓTESIS

El residuo sólido presente en un efluente de recirculación acuapónico es una opción viable para la elaboración de una solución nutritiva hidropónica, para la fertilización, crecimiento y desarrollo del cultivo de zanahoria (*Daucus carota*) en un sistema hidropónico de camas con sustrato.

VII. METODOLOGÍA

6.1 Área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la ciudad de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, en una propiedad privada ubicada en la dirección de Barrio de María Auxiliadora no. 44 Oriente, localizado en las coordenadas 16°42' 26.14" N y 92°37' 30.72" O (Figura 1). San Cristóbal de las casas está ubicada a una altitud de 2.140 msnm. Cuenta con un clima templado sub-húmedo con una temperatura que va de los 12°C-24 °C, con un promedio de 16 °C y una precipitación media anual de 1,056 mm. Su formación geológica está constituida a base de una formación de Cretácico (81.79%), Neógeno (7.17%), Cuaternario (6.39%) y Paleógeno (4.65%). Respecto a su edafología los suelos dominantes de la zona son Alisol (47.16%), Luvisol (37.54%), Leptosol (10.01%) y Gleysol (2.18%). Sus principales ríos son el Amarillo y el Fogotico abarcando como región hidrológica el río Grijalva - Usumacinta (100%). Cuenca: R. Grijalva - Tuxtla Gutiérrez (77.98%), R. Lacantún (18.57%) y R. Grijalva – La Concordia (3.45%). Sub cuenca: R. Alto Grijalva (77.50%), R. Tzanconejá (18.57%), R. Aguacatenco (3.45%), R.Hondo (0.48%). La mayor parte de la región la conforma la sierra alta de laderas tendidas y en menor porción la meseta escalonada con lomerío, y debido al tipo de clima, suelo, altitud y pendientes en esta zona montañosa, es propicia para los bosques de coníferas como encino, pino y sus asociaciones (Gobierno del Estado de Chiapas, 2010). Cuenta con un uso de suelo para la agricultura del 26.20%, zona urbana 8.75%, bosque 51.41% y pastizal inducido del 13.64%. Con un uso del suelo agrícola mecanizada continua del 3.25% y para la agricultura manual continua del 8.32% (INEGI, 2005).



Figura 1. Localización del Área de estudio.

6.2 Descripción del invernadero

Para desarrollar el experimento, fue necesario instalar un invernadero con dimensiones de 6 m de largo por 5 m de ancho y 2.5 m de altura construido de base de madera y forro de polietileno de calibre 900 (Figura 2).



Figura 2. Invernadero construido para el proyecto de investigación.

6.3. Diseño y construcción del sistema acuapónico

Se elaboró un sistema acuapónico constituido por un estanque de cultivo a partir de un tanque plástico IBC de medidas 1.0 m de ancho, 1.2 m de largo y 1.16 m de alto, con una capacidad de 1000 L (Figura 22 anexo). El cual fue cortado en dos partes en la marca de 800 L, la parte inferior como tanque de peces, y la parte superior como cama de cultivo en el sistema acuapónico (Figura 23 anexo).

En la cama de cultivo fue construido un sistema de recirculación de agua por medio de tuberías de PVC de ½ pulgadas conectadas a una bomba sumergible (Figura 3). Y un filtro de campana en la parte central de la cama de cultivo (Figura 24 anexo).posteriormente la cama fue llenada de tezontle rojo como sustrato inerte.



Figura 3. Sistema de recirculación de agua en el sistema acuapónico.

El sistema cuenta con un sedimentador elaborado a partir de un contenedor plástico de forma cilíndrica para la sedimentación y separación del material sólido presente en efluente (Figura 4).



Figura 4. Sedimentador diseñado para la separación de sedimentos sólidos.

6.3.1. Especie de pez utilizada en el sistema acuapónico

En la presente investigación se realizó el manejo y cultivo de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) debido a que es una especie de ciclo corto desde su nacimiento hasta su cosecha (6-9 meses) y con una gran tolerancia a los cambios en la calidad del agua, durante periodos largos de tiempo. Los peces fueron obtenidas en la granja acuícola, del Ing. Manchineli ubicada en la comunidad de Apic pac Chiapas dentro de los límites de la presa de Chicoasen (Figura 5).



Figura 5. Granja acuícola ubicada en el municipio de Chicoasen.

Es una de las especies preferidas en la acuaponía. Este pez tiene características que lo hacen muy adecuado para estos sistemas: carne de buen sabor, alevines baratos, rápido crecimiento, buen nivel de desechos (que pueden generar buena cantidad de nitratos), resistencia tanto a bajas moderadas en la calidad del agua, como a fluctuaciones importantes de temperatura, buena aceptación en los mercados de muchos países (Nelson, 2004; Popma y Masser, 1999). Para el cultivo de la tilapia la densidad de siembra se establece de acuerdo a los metros cúbicos que posea el estanque, siendo lo recomendado un manejo de crías de 10 cm, de 100 a 120 organismos por m^3 y para pre engorda de 250 a 300 g de 50 a 60 organismos por m^3 (Tovar, 2001). En los sistemas acuapónicos ibc se recomienda una densidad de siembra de 20 a 25 peces por cada 500 L dentro de las camas con sustrato con unas dimensiones de 25 a 30 cm de profundidad, lo cual permite un crecimiento para los peces hasta unas tallas de 400 a 500 gr (Backyard Aquaponics, 2011®).

En esta investigación se manejó una densidad de siembra de 25 peces (Figura 6). Los cuales fueron introducidos al tanque el día 02/10/16, con un peso inicial de 6 gramos por unidad. Los cuales se mantuvieron desde la etapa de crecimiento hasta la cosecha con un peso comercial de 200 g esto debido a las dimensiones del sistema. El tanque de cultivo de peces de 700 L y la cama de cultivo con una profundidad de 30 cm



Figura 6. Densidad de siembra de peces (Tilapia del Nilo) en el sistema acuapónico.

La alimentación de los peces se realizó a partir de alimento balanceado de la marca nutripec (Figura 25 anexo). El cual fue pesado con ayuda de una balanza granataria digital (Figura 26 anexo). Manejando la ración recomendada para la etapa de “desarrollo” recomendada por la marca (Figura 7). De manera semanal se realizó el pesado de los peces (Figura 27 anexo). Para conocer la ganancia de peso de los peces y poder ajustar la dosificación del alimento.

Etapa Nombre del Alimento	Desarrollo		
	Desarrollo 1.5 mm	Desarrollo 2.4 mm	Desarrollo 3.5 mm
Fórmula			
Tasa de alimentación % Biomasa / Día	4415	4009	3508
Consumo Gr / Pez / día	5 a 4	4	4 a 3
Raciones / día	0.3 a 1.2	1.2 a 2.4	2.4 a 4.5
Tiempo aproximado / semanas	9	8	7
Peso del pez	6	2	5
	5 a 30 g	31 a 60 g	61 a 150 g
			

Figura 7. Plan de alimentación nutripec etapa de desarrollo.

6.3.2. Especie de planta utilizada en el sistema acuapónico

En la cama de cultivo del sistema acuapónico se utilizó el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L*). El primer trasplante se realizó el día 09 de octubre de 2016 (Figura 8). Con una producción de 20 lechugas mensuales esto debido a la de siembra adecuada para el cultivo de lechuga.



Figura 8. Transplante lechugas sistema acuapónico.

6.3.3. Parámetros de control dentro del sistema acuapónico

El control para la calidad del agua en el efluente acuapónico se realizó mediante la medición diaria de los valores de temperatura y pH dos veces al día la primera a las 7 am y la segunda a las 4 pm, por medio del uso de un medidor digital PH-80 (Figura 28 anexo). Los intervalos de: nitritos, nitratos, y amonios son medidos de manera semanal por medio del uso de un kit para acuarios de la marca Nutra fin test (Figura 29 anexo). Para realizar la medición de los parámetros indicados, se extrae agua del tanque de los peces con la ayuda de la pipeta y con ésta se llena un tubo de ensayo. La cantidad de agua que se debe echar en el tubo está especificada en las instrucciones, o algunos tubos de ensayo traen marcada una línea que indica el límite de agua necesaria. Se aplican las gotas de solución en la cantidad que indica el envase, se agitará y comparará el color obtenido con la tabla de colores (Colagrosso, 2014).

6.4 Colecta de los residuos sólidos

Una vez por semana se procedió con la limpia y colecta de los residuos sólidos acumulados en el tanque sedimentador, provenientes de las excretas de los peces y el alimento no consumido. (Figura 9).



Figura 9. Colecta de residuos sólidos.

6.4.1 Preparación de las soluciones nutritivas

La formulación de una solución nutritiva adecuada se basa en varios factores como: la especie y variedad a cultivar, su estado de desarrollo, la época del año, los cambios de temperatura, precipitación, horas luz, parte del cultivo que se desea cosechar así como la composición base de los elementos que conforman la solución (aniones, cationes). Es por estos factores que no existe una formulación o diseño para preparar una solución nutritiva única para cada cultivo (Chávez, *et al.*, 2006).

Para esta investigación se realizó la elaboración de dos soluciones nutritivas una de origen orgánico elaborada a base de los residuos sólidos acumulados en el sedimentador del sistema acuapónico, y la segunda elaborada a partir de sales minerales inorgánicas siguiendo la fórmula universal para S.N establecida por Steiner

6.4.2 Método de elaboración

Se utilizó el método “normal” para preparar soluciones nutritivas en el cual se añaden los nutrimentos uno a uno en el agua, hasta conseguir las cantidades adecuadas para la solución nutritiva en cada cultivo (Chávez, *et al.*, 2006). Esto se realizará con la ayuda de

un conductímetro, el cual mide la cantidad de nutrientes presentes en una solución nutritiva por medio de la medida de la C.E (Figura 30 anexo). Hasta alcanzar un valor entre 0.75 a 2 mS/cm o 375 a 1000 ppm (Others, 2017).

6.4.3 Solución Nutritiva orgánica

Para elaborar la S.N orgánica se colectaron los residuos acumulados en el sedimentador, los cuales fueron colocados en un recipiente con una bomba aireadora en el interior y se dejaron reposar en un contenedor con la bomba de aireación encendida durante 48 horas, esto con el fin de descomponer el nitrógeno orgánico presente en los residuos a nitrógeno mineral asimilable para las plantas. Una vez transcurridas las 48 horas se procedió con un aforado de los residuos con agua hasta diluirlos en su totalidad y alcanzar un valor de CE entre 0.75 a 2 mS/cm o 375 a 1000 ppm (Others, 2017). Y se utilizó la solución comercial pH DOWN para ajustar el pH de la solución en un rango de 7 (Figura 31 anexo).

6.4.4 Solución nutritiva inorgánica

Para la preparación de la S.N inorgánica se seguirá la fórmula universal para cultivos hidropónicos establecida por Steiner en 1984 en la cual se utiliza el método “normal” añadiendo las sales nutritivas hasta alcanzar un rango de: Nitrógeno 167 ppm, Fósforo 31 ppm, Potasio 277 ppm, Magnesio 49 ppm, Calcio 183 ppm, Azufre 67 ppm, Hierro 3 ppm, Manganeso 1.97 ppm, Boro 0.44 ppm, Zinc 0.11 ppm, Cobre 0.02 ppm y Molibdeno 0.007 ppm (Todohidroponico.com, 2016)

Para alcanzar estos rangos se utilizaron dos sales nutritivas concentradas de origen comercial la primera conocida como solución “A” en la cual se encuentran los macro

elementos y la solución “B” (Figura 32 anexo). La cual contiene los micro elementos, ambas soluciones al ser concentradas deben ser disueltas y mezcladas en agua a una relación de 5 mL por litro de la solución “A” y 2 mL por litro de la solución “B” (Figura 33 anexo). Una vez mezcladas se regulo el pH con ayuda de la solución comercial pH DOWN para ajustar el pH. De la solución en un rango de 7 y realizar las aplicaciones las cuales fueron de manera semanal a las 8 am durante 3 meses.

6.4.5 Caracterización de la solución nutritiva

Para conocer las características fisicoquímicas de la S.N se realizó el muestreo mediante la colecta de 1 litro para cada una de las solución nutritivas y fueron llevadas al laboratorio de suelos del ECOSUR (Colegio de la Frontera sur), unidad San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, para determinar: Temperatura, PH, Conductividad eléctrica, Bicarbonatos, Oxígeno disuelto, Dureza, Cloruros, Sulfatos, Calcio, Magnesio, Potasio, Nitratos, Nitritos, Nitritos, Amonio total, Solidos disueltos, Coliformes totales y Coliformes fecales. Tomando en cuenta los parámetros establecidos en la NOM-001- ECOL-1996. La cual indica el rango permitido para el contenido de coliformes totales y fecales. Los muestreos para la S.N se realizaron una semana posterior al cambio de alimentación por estadio de desarrollo de los peces.

6.4.6 Aplicación soluciones nutritivas

La aplicación de las soluciones nutritivas se realizó de manera semanal a las 8 am con un pH de 7. Para cada tratamiento.

6.5 Diseño y construcción del sistema hidroponía

6.5.1 Camas de cultivo hidropónicas

El sistema hidropónico está constituido por tres camas de cultivo de madera forradas con plástico negro las cuales cuentan con unas medidas de 1.5 m de ancho por 1 m de largo y 30 cm de profundidad con división entre cada 50 cm de ancho, por repetición. (Figura 10).



Figura 10. Camas hidropónicas forradas con plástico negro.

6.5.2 Sustrato

El sustrato utilizado dentro del sistema hidropónico el cual fue en la parte inferior de la camas de tezontle cubierto por una capa de perlita en una relación de 1 a 3 Kg respectivamente (Figura 11 y 12).



Figura 11. Tezontle en la cama hidropónica.



Figura 12. Perlita en la cama hidropónica.

6.5.3 Especie utilizada en el sistema hidropónico

Para este trabajo se realizó el cultivo de zanahoria (*Daucus carota*) debido a que es una hortaliza de rápida maduración que puede ser cultivada tanto en suelos minerales como en suelos orgánicos. De igual manera es una especie poco exigente respecto al clima, ya que puede ser sembrada durante todas las épocas del año, tanto para clima frío como para clima cálido, por lo que tiene una buena adaptación para la zona de San Cristóbal y es empleada frecuentemente por los agricultores locales.

6.5.4 Densidad de siembra

Se siembra a una densidad de 1 gramo por metro cuadrado, a una distancia entre plantas de 10 cm. Arreglo topológico: “tresbolillo” (SAGARPA, 2014). El cual consiste en distribuir o sembrar las plantas que ocupan en el terreno cada uno de los vértices de un triángulo equilátero, guardando siempre la misma distancia entre plantas que entre filas (Figura 14).



Figura 13. Densidad de siembra del cultivo zanahoria (*Daucus carota*).

6.5.5 Variables a evaluar dentro de la producción hidropónica

Se evaluó el comportamiento promedio de la producción por medio de variables agronómicas para el cultivo de la zanahoria (*Daucus carota*). Las cuáles fueron: el peso

total de la planta, peso de la hoja, peso del fruto, por medio de la extracción de los órganos de la planta (raíz, hoja). Los cuáles fueron lavados con agua para eliminar el suelo y pesadas con una balanza analítica. De igual manera se obtuvo el diámetro ecuatorial, diámetro polar y altura de la hoja con la ayuda de un vernier digital (PIE DE REY DIGITAL®)

6.6 Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental en parcelas divididas, el cual consto de dos tratamientos: inorgánico, orgánico y agua como testigo, con tres repeticiones de 18 unidades experimentales para un total de 162 plantas (Figura 15).



Figura 14. Diseño experimental en las camas de cultivo hidropónicas.

6.7 Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva. Con un análisis estadístico ANOVA, y se compararon la medias de los parámetros evaluados mediante una prueba de comparaciones múltiple tukey ($P < 0.05$). Con el programa spss Statistics 22.

VII. RESULTADOS

7.1 Producción de tilapias dentro del sistema acuapónico

En la figura 15, se observa el peso (g) promedio de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) durante los 120 días, el peso promedio inicial de los peces fue de 6.0 g y la final de 200 g, en total hubo una producción de biomasa de 5.0 kg de peces m⁻³ (Cuadro 4). La sobrevivencia fue del 100%, lo que indico que el agua del sistema fue de buena calidad. El factor de conversión alimenticia total fue de 1.69. La tasa de crecimiento fue de 1.8.

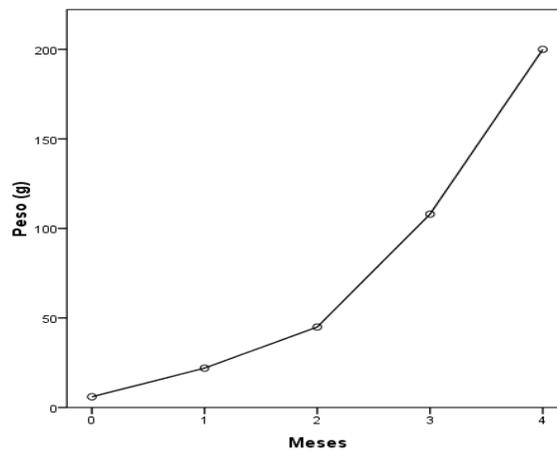


Figura 15. Peso promedio de la tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en un sistema acuapónico.

Cuadro 4. Comportamiento del crecimiento de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada en un sistema acuapónico.

Crecimiento de la tilapia	
Densidad de siembra m ³	25
Peso inicial (g)	6.0
Longitud inicial(cm)	5.0
Peso final (g)	200
Longitud final (cm)	22
Densidad inicial (g)	150
Densidad final (Kg)	5.0

7.2 Caracterización fisicoquímica del efluente acuapónico

En el cuadro 5, se presentan los resultados fisicoquímicos del agua en el sistema acuapónico, comparados con los rangos ideales para el cultivo de tilapia (Cantor, 2007).

Cuadro 5. Caracterización fisicoquímica del tanque acuapónico.

Parámetro	Rangos ideales	Rangos Obtenidos
Temperatura	24 a 28 °C	22.6 °C
pH	6.5 a 9.0	8.3
Conductividad eléctrica	0 a 40 ppm	2.99 ppm
Oxígeno disuelto	3 a 10 mg·L ⁻¹	5.61 mg L ⁻¹
Bicarbonatos	0 a 10 Meq L ⁻¹	4.65 Meq L ⁻¹
Dureza	10 a 500 mg·L ⁻¹	139.33 mg L ⁻¹
Cloruros	18 mg L ⁻¹	14.07 mg L ⁻¹
Sulfatos	18 mg L ⁻¹	31.67 mg L ⁻¹
Calcio	50 a 350 mg L ⁻¹	60.43 mg L ⁻¹
Magnesio	0 a 36 mg L ⁻¹	23.01 mg L ⁻¹
Potasio	0 a 2 mg L ⁻¹	1.30 mg L ⁻¹
Nitratos	0 a 40 mg L ⁻¹	7.33 mg L ⁻¹
Nitritos	0 a 0.1	0.00 mg L ⁻¹
Amonio Total	Hasta 2.0 mg·L ⁻¹	0.29 mg L ⁻¹
Sólidos disueltos	0 a 30 mg L ⁻¹	3.00 mg/L
Coliformes fecales	1000 NMP/1000	100 NMP/1000

Como se puede observar en el cuadro 5 los distintos parámetros estuvieron dentro de los rangos ideales para el cultivo de tilapia, con excepción del valor de temperatura que estuvo 1.4 °C por debajo del parámetro ideal pero esta diferencia no afectó de manera significativa el crecimiento de los peces dentro del sistema.

7.3 Producción de lechugas (*Lactuca sativa*) dentro del sistema acuapónico

Durante el periodo de cuatro meses de crecimiento de los peces, dentro del sistema acuapónico, se obtuvo una producción de 20 lechugas mensuales cada una de 300 g (Figura 16), haciendo en total 6 Kg por cosecha mensual (Figura 17), y una producción final total de 2 Kg de lechuga (*Lactuca Sativa L.*)



Figura 16. Pesado de lechugas (*Lactuca sativa L*) en el sistema acuapónico.



Figura 17. Producción de lechugas (*Lactuca sativa L*) en el sistema acuapónico.

7.4 Caracterización Físicoquímica de las soluciones nutritivas elaboradas

En el cuadro 6 se observa que las características físicoquímicas de las soluciones nutritivas se encuentran dentro de los rangos ideales o deseados para la fertilización de cultivos hidropónicos (Steiner, 1984; Vestergaard, 1984; Cornillon, 1988); Gilsanz, 2007).

Cuadro 6. Caracterización fisicoquímica para las soluciones nutritivas.

Parámetro	Rangos ideales	Rangos obtenidos testigo	Rangos obtenidos Solución nutritiva orgánica	Rangos obtenidos Solución nutritiva inorgánica
Temperatura (°C)	22	22	22	22
P.H	5.5 – 7	7.0	7.0	7.0
C.E (ppm)	750 – 1500	465	784	1484
Oxígeno disuelto (mg/L)	3	4.8	3.8	4.5
Bicarbonatos (mg/L)	0-10	1.2	3.1	2.8
Cloruros (mg/L)	<75	1.80	14.07	24.6
Nitrógeno total (mg/L)	100-250	32.07	110.5	189.7
Fosforo total (mg/L)	30-50	18.72	34.8	48.2
Calcio (mg/L)	80-140	20.40	122.13	128.4
Magnesio (mg/L)	30-70	11.10	50.2	60.87
Potasio (mg/L)	100-300	0.95	130.12	180.19
Sodio (mg/L)	0 -15	1.46	3.74	10.69
Solidos disueltos totales (mg/L)	0-2000	257	433	1030
Solidos suspendidos totales (mg/L)	0-1	0	1	1
Solidos sedimentables (mL/L)	0-150	0	84	0
Coliformes totales (UFC/100 mL)	2	0	1.8	0
Coliformes fecales (UFC/100 mL)	1000-2000	0	0	0

Una vez realizada la caracterización de las soluciones nutritivas elaboradas se puede observar que tanto la solución nutritiva inorgánica como la orgánica mostraron estar dentro de los valores ideales para ser utilizadas en la fertilización de cultivos destacando la solución nutritiva inorgánica con una mayor presencia de minerales, mientras que el testigo por otro lado mostro un contenido de minerales por debajo del necesario para la nutrición de cultivos.

7.5 Cultivo hidropónico de zanahoria (*Daucus carota*)

El análisis de ANOVA muestra que existe diferencias estadísticamente entre los tratamientos ($gl=2$, $p=0.000$). En el cuadro 7, se presenta la media, desviación estándar y error estándar del promedio de las variables de los tratamientos, obtenidos una vez concluido el periodo de desarrollo fenológico del cultivo de zanahoria (*Daucus carota*) en el sistema hidropónico. Obteniendo como resultado que para las variables de altura de la hoja (cm), peso de la planta (g), peso de la hoja (g), peso del fruto (g), diámetro ecuatorial y polar (cm) se obtuvo por igual una diferencia estadísticamente significativa al ser el valor de p menor de 0.05 para todas las variables.

Cuadro 7. Componentes estadísticos de las diferentes variables en los tratamientos aplicados al cultivo de zanahoria (*Daucus carota*) en un sistema hidropónico en camas.

Variables	Tratamiento								
	Testigo			Sustancia Orgánica			Sustancia Inorgánica		
	X	DS	E	X	DS	E	X	DS	E
Altura de la planta (cm)	21.8	2.5	0.3	48.1	1.04	0.14	53.4	0.9	0.12
Peso planta (g)	10.6	0.3	0.05	62.3	2.2	0.30	88.4	0.6	0.09
Peso hoja (g)	2.5	0.4	0.06	12.2	2.7	0.37	17.3	1.7	0.24
Peso fruto (g)	8.1	0.24	0.03	50.1	1.8	0.25	71.0	1.4	0.2
Diámetro ecuatorial (cm)	1.30	0.12	0.017	3.00	0.02	0.003	3.01	0.01	0.001
Diámetro polar (cm)	5.17	0.11	0.01	10.16	0.07	0.009	13.0	0.21	0.02

X= media, DS= desviación estándar, EE= Error estándar.

En la figura 18 se observa el desarrollo obtenido para las variables de diámetro ecuatorial y polar en el cultivo de zanahoria donde se puede apreciar que el tratamiento con solución nutritiva inorgánica arrojó el mejor desarrollo con una tamaño promedio de 3.01 cm para el diámetro ecuatorial y 13 cm para el diámetro polar. Seguido por la solución nutritiva orgánica con un promedio de 3.0 cm para el diámetro ecuatorial y de 10.16 cm para el diámetro polar y por último el testigo con un promedio de 1.30 para el diámetro ecuatorial y 5.17 cm para el diámetro polar.

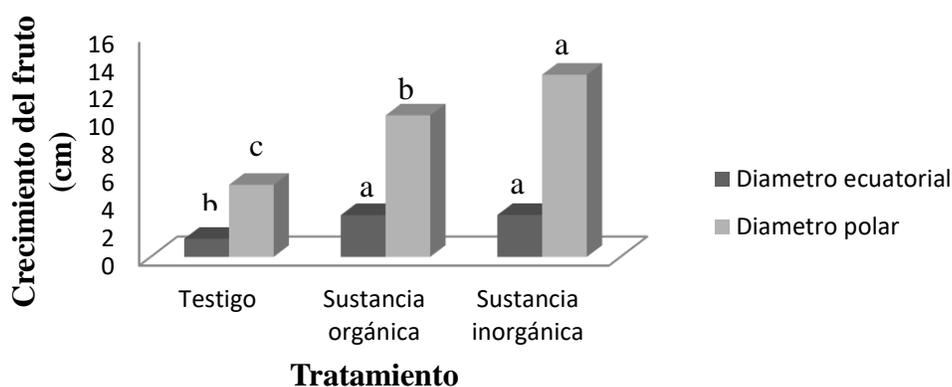


Figura 18. Crecimiento del fruto de zanahoria en diámetro ecuatorial y diámetro polar. Las barras corresponden a las medias y las letras a grupos homogéneos estadísticamente (Tukey HSD).

En la figura 19 se observa el desarrollo obtenido para el peso del fruto g (raíz), en el cultivo de zanahoria donde se puede apreciar que el tratamiento con solución nutritiva inorgánica arrojó el mejor desarrollo con una tamaño promedio 71.0 g. Seguido por la solución nutritiva orgánica con una tamaño promedio de 50.1 cm. Y por último el testigo con un promedio de 8.1 g.

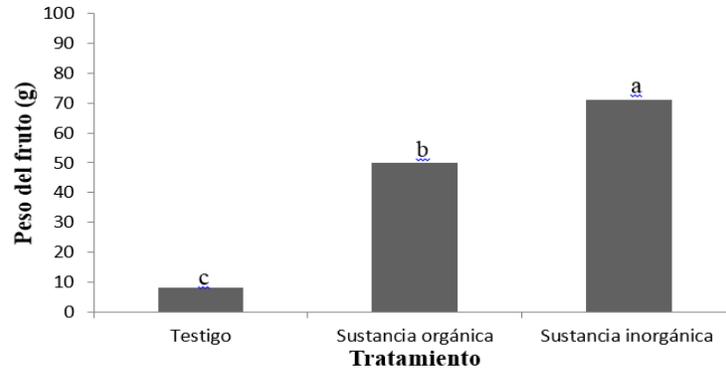


Figura 19. Peso del fruto de zanahoria. Las barras corresponden a las medias y las letras a grupos homogéneos estadísticamente (Tukey HSD).

En la figura 20 se observa el desarrollo obtenido para el crecimiento total de la planta (g) siendo este el conjunto entre el peso del fruto (raíz) y el peso de la hoja obteniendo como resultados que el tratamiento con solución nutritiva inorgánica arrojó el mejor desarrollo con un tamaño promedio de 88.4 g. Seguido por la solución nutritiva orgánica con un promedio de 62.3 g. Y por último el testigo con un promedio de 10.6 g.

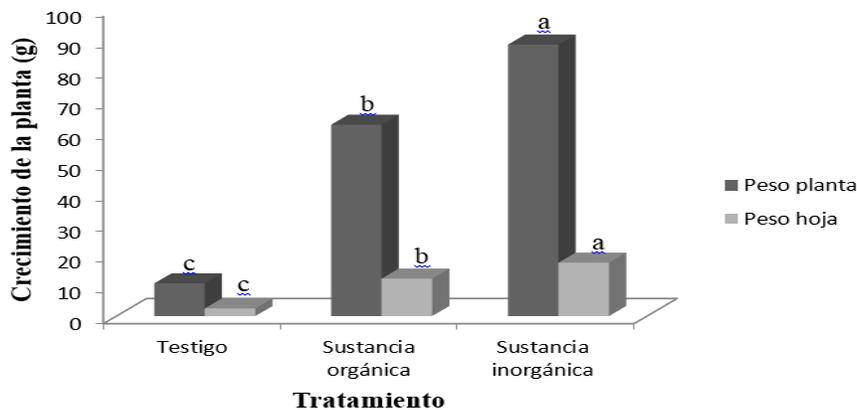


Figura 20. Crecimiento de la planta de zanahoria en peso de la planta y peso de la hoja. Las barras corresponden a las medias y las letras a grupos homogéneos estadísticamente (Tukey HSD).

En la figura 21 se observa el desarrollo obtenido para la variable de altura de la planta (cm), obteniendo como resultados que el tratamiento con solución nutritiva inorgánica arrojó el mejor desarrollo con un tamaño promedio de 53.4 cm. Seguido por la solución nutritiva orgánica con un promedio de 48.1 cm. Y por último el testigo con un promedio de 21.8 cm.

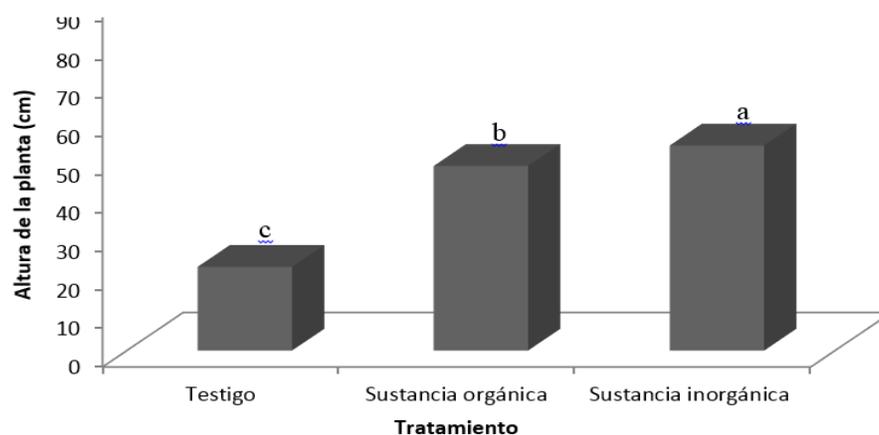


Figura 21. Altura de la planta de zanahoria. Las barras corresponden a las medias y las letras a grupos homogéneos estadísticamente (Tukey HSD).

XIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1 Producción de tilapia y lechuga dentro del sistema acuaponico

Dentro del sistema acuapónico se registró un valor promedio para la temperatura de 22.6 °C, el cual está 2.4°C fuera del rango ideal de 24 °C a 28°C (Cornillon, 1988). Para el cultivo de tilapia, aunque esta diferencia en temperatura no afectó el crecimiento de los peces en forma significativa ya que mostraron un peso y crecimiento acorde al de cada etapa de desarrollo (Cantor, 2007).

Respecto al pH se obtuvo un valor de 8.3 ppm, el cual está dentro del intervalo óptimo necesario para este cultivo 6.5 a 9.0. (Asián *et al.*, 2001). Pero por el contrario el pH estuvo fuera del rango ideal para las plantas de 5.5 a 7.0 (Gilsanz, 2007).

El oxígeno disuelto registró una medida de 5.61 mg L⁻¹ valor que se encuentra dentro del rango mínimo de 4 mg L⁻¹ (Asián *et al.*, 2001).

La conductividad eléctrica en el estudio fue de 2.99 ppm por lo cual el efluente se clasificó como C4 debido a la salinidad que esta presentó y por lo cual se recomienda únicamente para cultivos tolerantes a la salinidad alta (Murtaza *et al.*, 2006).

Los valores de bicarbonatos estuvieron dentro del rango óptimo de 0 a 10 Meq L⁻¹ para el cultivo de plantas (Ayers y Wescot, 1985). Los valores de cloruro estuvieron fuera del intervalo adecuado el cual debe ser <5 mg L⁻¹ (SAGARPA, 2009). Presentando un resultado de 18 mg L⁻¹. Por otra parte, los sulfatos estuvieron dentro del intervalo (0 a 18 Mg L⁻¹) para el cultivo de tilapia (Timmons *et al.*, 2002). Y entre 0 a 20 Mg L⁻¹ para plantas (Ayers y Wescot, 1985). El calcio estuvo en el intervalo óptimo de 50 a 350 mg L⁻¹ así

como el magnesio de 0 a 50 Mg L⁻¹. De igual manera los valores de potasio se encontraron dentro del rango óptimo de 0 a 2 Mg L⁻¹(Cantor, 2007).

Los valores de dureza total fueron bajos (139.33 mg L⁻¹) debido a que el rango para la tilapia es de 10 a 500 mg·L⁻¹(Cantor, 2007).

Los nitritos arrojaron un valor de 7.33 mg L⁻¹ estando dentro del rango ideal para el cultivo que va de 0 a 40 mg L⁻¹(Ayers y Wescot 1985). De igual manera para el rango de nitratos se encontraron valores de 0.00 mg L⁻¹ el cual se encuentra dentro del rango óptimo de 0 a 10 mg L⁻¹ (Ayers y Wescot 1985). Y para el amonio se obtuvo una medida de 0.29 mg L⁻¹ valor que se encuentra dentro del rango ideal de 0 a 2 mg L⁻¹(Ayers y Wescot 1985).

Los sólidos disueltos arrojaron un valor de 3.00 mg/L⁻¹ valor que igual manera se encontraron dentro de los rangos óptimos que van de 0 a 30 mg/L⁻¹ para el cultivo de la tilapia (Cantor 2007). Y respecto a la presencia de coliformes fecales estos se encontraron dentro de los límites indicados por la Norma Mexicana ECOL-1996 (DOF, 1996).

Respecto a la producción de lechuga dentro del sistema se obtuvo una producción promedio por cosecha de 6 kg/m² rendimiento que se puede considerar alto tomando en cuenta el promedio de producción promedio de la lechuga en sistemas acuapónicos de 4,9 kg/m² reportado por Rakocy (1992). Los obtenidos por Grande y Luna de 2,03 kg/m² (2010). Y por Castañeda y Cabrera 1,56 kg/m² (2009).

8.2 Caracterización fisicoquímica de las soluciones nutritivas elaboradas

Para evaluar la calidad de una solución nutritiva con fines de riego agrícola los principales factores a analizar son los parámetros de: Temperatura, pH, Oxígeno disuelto y la Conductividad eléctrica (Marín *et al.*, 2002).

Una vez realizada la caracterización de las soluciones nutritivas se encontró que para el valor de temperatura tanto el testigo como la soluciones nutritivas orgánica e inorgánica mostraron una temperatura de 22 °C valor que se encuentra dentro del rango ideal para las soluciones nutritivas de 22 °C (Cornillon, 1988).

El pH de igual manera tanto para el testigo como las soluciones nutritivas orgánica e inorgánica estuvieron en una medida de 7 valor que se encuentra dentro del rango ideal para las soluciones nutritivas que va de 5.5 a 7.0 (Gilsanz, 2007).

El oxígeno disuelto en el testigo mostro un valor de 4.8 mg/L⁻¹. Para la S.N Orgánica se obtuvo un valor de 3.8 mg/L⁻¹. Y para la S.N Inorgánica se obtuvo un valor de 4.5 mg/L⁻¹. Valores que se encuentran dentro del rango ideal de 3 mg/L⁻¹ para la utilización de soluciones nutritivas con fines de riego agrícola (Chang *et al.*, 2000).

La C.E en el testigo mostro un valor de 465 ppm. Para la S.N Orgánica se obtuvo un valor de 784 ppm y para la S.N Inorgánica se obtuvo un valor de 1484 ppm. Valores que se encuentran dentro del rango ideal de 0.75 a 2 mS/cm o 375 a 1000 ppm para la utilización de soluciones nutritivas con fines de riego agrícola (Chang *et al.*, 2000).

8.3 Producción de zanahoria hidropónica

De acuerdo a los resultados, en la producción de zanahorias hidropónicas, se obtuvo en promedio 1.80 kg/m² de crecimiento con la solución nutritiva orgánica, comparada con

el testigo 0.29 kg/m^2 , consiguiendo con esto un aumento en la producción del 84.1% este incremento en la producción indica que el residuo del efluente acuaponico puede ser utilizado para la producción de zanahoria en sistemas hidropónicos. Ya que otro estudio sobre producción hidropónica de zanahorias, es el realizado por Carrillo Ramirez; Martinez, Vasquez y Penate Flores (1994), el cual consistió en la evaluación de tres sustratos con programa de fertilización tradicional y amino proteínas en zanahoria bajo técnicas hidropónicas, obtuvo como resultado una producción media de 5.58 Kg/m^2

Según SAGARPA (2014), el promedio de producción para la zanahoria es de 2.5 Kg/m^2 , el cual en este experimento fue obtenido mediante la utilización de la solución nutritiva inorgánica con una producción de 2.54 Kg/m^2

IX. CONCLUSIÓN

Las características fisicoquímicas del efluente acuaponico manejado con Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), mostraron que la temperatura, pH, C.E, oxígeno disuelto, bicarbonatos, dureza, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, potasio, nitratos, nitritos y amonio total, estuvieron dentro de los intervalos óptimos para el cultivo tilapia. Con respecto a los coliformes fecales y totales de igual manera se encontraron dentro de los rangos ideales para el cultivo de tilapias. Debido a estas características en la calidad del agua se puede explicar el sano desarrollo y sobrevivencia del 100% de los peces durante el experimento.

El sistema acuaponico implementando en este trabajo es viable para la producción complementaria de hortalizas y proteína animal al lograr una producción mensual promedio para hortalizas de 6 kg/m² superando el valor de 4,9 kg/m² promedio en la producción de lechugas acuapónicas, así como para el desarrollo de los peces se obtuvo una producción de biomasa total de 5.0 kg/m³ con una sobrevivencia del 100%.

Las diferentes soluciones nutritivas utilizadas en el experimento demostraron que las plantas de zanahoria mostraran una diferencia estadísticamente significativa respecto a las variables de crecimiento. Con excepción de la variable de diámetro ecuatorial entre la solución nutritiva orgánica y la orgánica, ya que ésta no fue significativa respecto al crecimiento de ambos tratamientos.

Los residuos sólidos presentes en un efluente acuaponico son una opción viable para ser utilizados como fertilizante de cultivos ya que presentan características fisicoquímicas dentro del rango ideal para la elaboración de soluciones nutritivas.

Como se demuestra en esta investigación, se puede obtener una buena producción a base de estos residuos ya que la aplicación de la solución nutritiva orgánica en comparación con el testigo (agua) logró mayor un rendimiento para todas las variables de crecimiento del cultivo.

A pesar del mayor rendimiento obtenido a partir de la solución nutritiva inorgánica el uso de la solución nutritiva orgánica a base de residuos sólidos acuapónicos es una opción viable como fuente para la nutrición adecuada en la producción de zanahoria hidropónica con la finalidad de reducir el uso de los fertilizantes inorgánicos.

X. LITERATURA CITADA

- Adams, P. y Ho L.C. (1992). The susceptibility of modern tomato cultivars to blossom-end rot in relation to salinity. *J. Acta horticulturae : technical communications of I.S.H.S. / International Society for Horticultural Science.* 67, 827-839. Recuperado de <http://jxb.oxfordjournals.org/content/50/332/357.full.pdf>
- Adams, P. (1994). Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hidroponic systems. *Acta horticulturae : technical communications of I.S.H.S. / International Society for Horticultural Science.* 361, 245-257. Recuperado de <http://library.wur.nl/WebQuery/titel/863341>
- Ayers, R. S. y Wescot, D. W. (1985). Water quality for agriculture. FAO, Irrigation and Drainage paper 29
- Alvarado, D., Chávez, F. y Anna, K. (2001). Seminario de Agronegocios. Lechugas Hidropónicas .Universidad del Pacífico. Quibdó, Chocó. 10 pp
- Rev. I. Roma, Italia. 174 p.
- Alvarado, D., Chávez, F. y Anna, K. (2001). Seminario de Agronegocios. Lechugas Hidropónicas .Universidad del Pacífico. Quibdó, Chocó. 10 pp
- Álvarez, T. P., Ramírez M. C. y Orbe M. A. (1999). Desarrollo de la acuicultura en México y perspectivas de la acuicultura rural. En Álvarez T (Presidencia) *Red de Acuicultura Rural en pequeña escala.* Llevado a cabo en Taller ARPE, FAO-UCT, Centro Regional de Investigación Pesquera Pátzcuaro, Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, SEMARNAP

- Álvarez, T.P., Soto F., Avilés Q. S., Díaz L.C. y Treviño C.L. (2012). Panorama de la investigación y su repercusión sobre la producción Acuícola en México. *Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca -Instituto Nacional de la Pesca*. p. 30
- Amirkolaie, A. K. (2008). Environmental impact of nutrient discharged by aquaculture waste water the Haraz river. En: *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 3, 275–279.
- Arano, C. (2004). El ABC de la Hidroponía. Recuperado de <http://carlosarano.tripod.com.ar/>
- Asiain, H. A., Fernández, D. B., Reta, M. J. L. y Suárez, S. C. A. (2011). Manual de acuicultura para la producción de mojarra tilapia (*Oreochromis sp.*). Colegio de Postgraduados. Montecillos, Texcoco, Estado de México. 32 p.
- Backyard Aquaponics. (2011). The ibc of aquaponics. Consultado el: 08/05/2016. Recuperado de <http://www.backyardaquaponics.com/Travis/IBCOfAquaponics1.pdf>
- Bernal, M. I., García R. E. y Soto Z. G. 2014. Sistema de producción mixta Hortícola-acuícola. Facultad de Ingeniería. Departamento de Posgrado. Universidad Autónoma de Querétaro. 54 pp.
- Bernal, H. (2012). Cultivo asociado de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) y lechuga (*Lactuca sativa*); libres de químicos, mediante la acuaponía. Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería Pesquera Escuela Académica Profesional de Ingeniería Pesquera, Huacho Perú. 89 pp.

- Benacchio, S.S. (1982). Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nacional de Investigación Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela. 202 p.
- Borja, Á. (2002). Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad. *Boletín Instituto Español de Oceanografía* 18(1-4): 41-49.
- Carrasco, G. E Izquierdo, J. (1996). La Empresa Hidropónica de Mediana Escala: La Técnica de la Solución Nutritiva Recirculante (NFT). Editorial Universidad de Talca, FAO. Chile. 61 pp.
- Carrillo-Ramírez, J., Martínez-Vasquez, O. y Penate-Flores, R. (1994). Evaluación de la interacción de tres sustratos con programas de fertilización tradicional y amino proteínas en zanahoria (*Dacus carota* L.) bajo la técnica de hidroponía. Tesis de Licenciatura. Universidad de El Salvador, El Salvador. 67 pp.
- Cantor, F. (2007). Manual de producción de tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. Puebla, México. 97 pp.
- Castañeda, A. y Cabrera J. (2009). Producción hidropónica de lechuga integrada con el cultivo de tilapia con tres niveles de potasio y hierro. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 78 pp.
- Chang, M., Hoyos, M., y Rodríguez, A. (2000). Manual práctico de hidroponía: sistema de raíz flotante y sistema de sustrato sólido. Perú. 42 pp.

- Chávez, F, Rangel, P. y Mendoza, B. (2006). Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Torreón Coahuila. México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Lima Perú. 67 pp.
- Chuquisengo, (2011). Guía de Gestión de Riesgos de Desastres. Aplicación Práctica Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; BID; Soluciones Prácticas. Lima, Perú.
- Colagrosso. (2014). Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala. San José, Costa Rica.
- CONEVAL. (2014). Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social. Recuperado www.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Informes_pobreza/2014/Municipios/Chiapas/Chiapas_078.pdf.
- Cornillon, P. (1988). Influence of root temperature on tomato growth and nitrogen nutrition. *Acta horticulturae : technical communications of I.S.H.S. / International Society for Horticultural Science*. 229: 211-218.
- Dediu, L., Cristea, V., Docan, A., y Vasilean, I. (2011). Evaluation of condition and technological performance of hybrid bester reared in standrad and aquaponic system. *AAAL Bioflux*. 4(4):490-498.
- Directorio agropecuario. (2016). El cultivo de la zanahoria. Consultado el 10 de octubre del 2016. Recuperado de <http://www.directorioagropecuario.com.mx/article/el-cultivo-de-la-zanahoria.html>.

- Diver, S. (2006). Aquaponics; Integration of Hydroponics with Aquaculture . ATTRA, National Sustainable Agriculture Information Service. 28 pp
- FAO. (1994). ECOCROP 1. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Versión 1.0. AGLS. FAO. Rome, Italy
- FAO. (2000). Los pequeños estanques grandes integradores de la producción agropecuaria y la cría de peces. Consultado el 09/05/2016. Recuperado de http://www.fao.org/docrep/003/x7156s/x7156s03.htm#P150_39266
- FAO. (2008). Estado mundial de la pesca y la acuicultura. Roma: Food and agriculture Organization of the United Nations. Consultado el 07/06/2016. Recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/35675/icode/>
- FAO. (2009). La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Consultado el 29/05/2016. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf
- FAO. (2011). El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. ¿Cómo afecta la volatilidad de los precios internacionales a las economías nacionales y la seguridad alimentaria? Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. Roma, Italia. pp. 56
- FIRA. (2003). Agricultura orgánica. Una oportunidad sustentable de negocios para el sector agroalimentario mexicano Consultado el 11/05/2016. Recuperado de

<https://es.scribd.com/doc/108906748/agricultura-organica-una-oportunidad-sustentable-para-Mexico>

Gilsanz, C. J. (2007). Hidroponía. Editorial Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. 31 pp.

Gobierno del Estado de Chiapas. (2010). Región v – altos tzotzil tzeltal. Consultado el 12/07/2016. Recuperado de: http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/wp-content/uploads/Secciones/InfoPorNivel/InfoRegional/Contexto/REGION_V_ALTO_S_TSOTSIL_TSELTAL_post.pdf

Gómez, Cruz MA, Schwentesius-Rindermann R, Meraz-Alvarado MR, Lobato-García AJ, Gómez, Tovar L. (2005). Agricultura, Apicultura y Ganadería Orgánica en México (Situación-Retos-Tendencias). CONACYT, SAGARPA, CEDRSSA, UACH, CUESTAAM, PIAS. Texcoco.

Gómez, Grande, P. and Pérez Sarmentero, J. (2008). Efectos sobre el cultivo de rábano rojo (*Raphanus sativus*, L) de tres fertilizantes orgánicos. In: VIII Congreso SEAE MURCIA 2008. Consultado el 09/05/2016. Recuperado de http://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2009/eventos-seae/cds/congresos/actas-bullas/seae_bullas/verd/posters/9%20P.%20FER/fer6.pdf

Grande, E, Luna P. 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. Tesis de ingeniero agrónomo. Universidad de Zamorano. Honduras. 2010.

- Grande, G., Sarmentero, P. (2008). Efectos sobre el cultivo de rábano rojo (*Raphanus sativus*, L.) de tres fertilizantes orgánicos. En F. Medina (presidencia). VIII Congreso SEAE Murcia 2008, Bullas Murcia
- Graves, C.J. (1983). The nutrient film technique. *Acta horticulturae: technical communications of I.S.H.S. / International Society for Horticultural Science*. Consultado el 02/03/2017. Recuperado de www.onlinelibrary.wiley.com/book/.
- Guangzhi, G. (2001). Mass Balance and Water Quality in Aquaculture tanks. The United Nations University. Iceland.
- Guzmán, G. (2004). Hidroponía en Casa: Una actividad familiar Costa Rica: MAG.
- Hernández, V. (2014). Producción de melón (*Cucumis melo* L.) con diferentes soluciones nutritivas orgánicas en invernadero. (Tesis de pregrado) Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreo, Coahuila
- INEGI. (2005). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos San Cristóbal de las Casas, Chiapas Clave geo estadística (07078). Consultado el 19/07/2016. Recuperado de www.inegi.org.mx/mexicocifras/datos-geograficos.pdf.
- Ingham, E. (2005). The compost tea brewing manual, latest and research. Ingham, Australia: Soil Food Web Incorporate.
- Losordo, T. M., Masser, M. P., y Rakocy, J. (1998). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: An Overview of Critical Considerations. Southern Regional

- Aquaculture Center (SRAC) publication. Recuperado de <http://www2.ca.uky.edu/wkrec/451fs.PDF>
- Marin, G., M., Aragon R. P., Gomez B., C. (2002). Análisis químico de suelos y aguas. Valencia, España: Universidad politécnica de valencia. Servicio de publicación
- Mendoza, S. I. (2009). Calidad de las aguas residuales urbano-industriales que riegan el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 212 p.
- Melo, B. (2014). Acuaponía. Revista Divulgación Acuícola. 23 pp.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2011). Introducción a la Acuaponía. Consultado el 02/05/17. Recuperado de http://www.agroindustria.gob.ar/site/pesca/acuicultura/06_Publicaciones/_archivos/130423_Introducci%C3%B3n%20a%20la%20ACUAPONÍA.pdf
- Montero, SM; Singh, BK y Taylor, R. (2006). Evaluación de seis estructuras de producción hidropónica diversificada en el trópico húmedo de Costa Rica. Tierra Tropical 2 (1):27-37.
- Moorby, J. and C.J. Graves. (1980). The effects of root and air temperature on the growth of tomatoes. Acta horticultrae : technical communications of I.S.H.S. / International Society for Horticultural Science.. 98: 29-43.
- Morgan, L. (1999). El cultivo Hidropónico de lechugas. Narrabeen, Australia: Casper Publications Pty Ltd

- Munasinghe, M. (1993). *Environmental Economics and Sustainable Development*. Environmental. World Bank. Washington DC.
- Murtaza, G.; Ghafoor, A. y Qadir, M. (2006). Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cottonwheat rotation. *Agric. Water Manage.* 81:98-114.
- Navarro, B., S. y Navarro G., G. (2003). *Química agrícola; el suelo y los elementos químicos*. Esenciales 2a ed. Barcelona, España: mundi-Prensa.
- Naylor, R.L., Goldberg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C.M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., y Troell, M. (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. En: *Nature*. 405, 1017–1024.
- Nelson, R.L. (2004). Tilapia. Fast growing, hardy and tasty. *Aquaponics Journal*. 35:16-17.
- Ortiz, I. A. S. (2009). Remocao de nitrogenio de agua residuaria de producao intensiva de tilapias com recirculacao utilizando reator de leito fluidizado com circulacao em tubos concéntricos. (Tesis de maestría). Universidad Estadual Paulista. Ilha Solteira.
- Others, T. (2016). ¿Qué es un sustrato? Consultado el 03/01/2017. Recuperado de: http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=31
- Others, T. (2016). ¿Qué es electro conductividad?. Consultado el 02/02/17. Recuperado de: http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=35
- Pant, A.P., Rodovich, K.T. J., Hue, V. N., Tlacott T. S. And Krenek, A. K. (2009). Effects of vermicompost tea (aqueous extract) on pak choid yield, quality and on soil biological properties. *Compost Sci. Utilization* 19 (4): 279-292.

- Pardo, S. S. y Soriano, H. E. (2006). Tratamiento de efluentes: una vía para La acuicultura responsable. *Revista MVZ Córdoba*. 11 (1), 20-29.
- Pérez, C. J. (2006). La política de fomento de la agricultura orgánica. *El cotidiano*. 21 (139), Pp. 101-106
- Piedrahita, R. H. (2013). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture* 226(1-4):35-44.
- Pillay, T.V. y Kutty, M.N. (2005). *Aquaculture: principles and practices*. Garsington Road, Oxford: Blackwell Publishing.
- Ponics, H. (2013, Octubre, 19). DIY How To Build A Swirl Filter (Archivo de video). Consultado el 28/03/16 Recuperado de <https://www.youtube.com/user/raycraighannaford/about>
- Popma, T. y Masser, M. (1999). *Tilapia. Life history and biology*. SRAC Publication No. 283.
- Rafiee, G. y Saad, C. R. (2005). Nutrient and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis sp.*) Growth in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture*, 244, 109-118.
- Rakocy, J. Losordo T, Masser M. (1992). *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Integrating Fishing and Plant Culture*. SRAC Publication N°454. Southern Region Aquaculture Center. Mississippi State University.
- Rakocy, J.E. (1988). Hydroponic lettuce production in a recirculating fish culture system. *Aquaponics*. Consultado el 06/03/16. Recuperado de:

<http://aquaponicsglobal.com/wpcontent/uploads/2012/02/Hydroponic-Lettuce-Production-in-a-Recirculating-Aquaculture-system.pdf>

Rakocy, J. E. (1999). The status of aquaponics Part 1. Aquaculture Magazine. Pp 83 – 88.

Reish, W.H. (1999). ¿Es la hidroponía orgánica o inorgánica? Red Hidroponía. Boletín informativo. Ene mar. No.2

Resh, H. M. (1997). Cultivos Hidropónicos. 4 edición. Mundi Prensa. Barcelona. España. 78 pp.

Resh, M., H. (2006). Cultivos hidropónicos. 5a ed.: Barcelona, España: Mundi-Prensa. 88 pp.

Reyes, V. y Gonzales P. E. (2016). Determinación de la relación pez planta en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) en sistema de acuaponía. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7(5):984-992.

Rodríguez, A. (2002). Manual Práctico de Hidroponía. 3 edición. Lima, Perú. 67 pp.

Rusell, E., J y Wild, A. (1992). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Mundi Prensa. Madrid, España. 120 pp.

SAGARPA. (2014). Programa Integral de Desarrollo Rural 2014 Componente de Agricultura Familiar Periurbana y de Traspatio. Consultado el 09/07/2016. Recuperado de www.sagarpa.gob.mx/Documents/AgriculturaF/Rabano.pdf.

Saavedra, M. (2006). Texto de Asignatura Producción Agropecuaria y Acuícola. Carrera Ingeniería Industrial. Departamento de Tecnología y Arquitectura. Facultad de

Ciencia, Tecnología y Ambiente. Universidad Centroamericana. Managua, Nicaragua.

Scott, J. (2002). Evolutions Aquaponics. *Aquaponics Journal* 6 (1): 14-17.

Secretaria de Pesca y Acuicultura. (2013). Programa Institucional de Pesca y Acuicultura 2013-2018. Tuxtla Gutiérrez. Consultado el 05/03/2016. Recuperado de www.planeacion.chiapas.gob.mx/planeacion/ProgInst.%20pesca%20y%20acuacult/Prog%20Inst%20pes.

Soto, B. F. y Ramírez A. M. (2002). Hidroponía. San José, Costa Rica, Instituto Nacional de Aprendizaje. 109p.

Tacon, A. y Forster, I. (2003). Aquafeeds and the environment: policy implications. En: *Aquaculture*. 226 (4), 181-189.

Talavera, R. V., D. Sánchez C., L. M. Zapata V., M. C. Salazar B. (2001). El oxígeno disuelto en tanques de cultivo. *Boletín Nicovita*. Edición Tumpis. Lima, Perú. 8(3):1-2.

Timmons, M. B.; Ebeling, J. M.; Wheaton, F. W.; Summerfelt, S. T. y Vinci, B. J. (2002). *Recirculating aquaculture systems*. Northeastern Regional Aquaculture Center. EUA. 769 pp.

Taiz L. y Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal* 3a ed. Editorial universitat Jaume. Brasil.

Tovar, A. H. (2001). Tilapia: Densidad de siembra por m³ (Mensaje en un blog.). Consultado el 23/04/2016/ Recuperado de <http://www.zoetecnocampo.com/foroacua/Forum4/HTML/000024.html>

- Ulloa, M. G., R. C. (2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponía. Avances en investigación Agropecuaria, 9(1), pp.1 a 5.
- Velasco, A, P. I., Calvario, M. O., Pulido, F. G., Acevedo, S. O., Castro, R. J. y Román, G. A. D. (2012). Problemática Ambiental de la Actividad Piscícola en el Estado de Hidalgo, México. Revista Académica Ingeniería, 16(3):165-174.
- Wheaton, F. (1982). Acuicultura, diseño y construcción de sistemas. AGT Editor. S. A. México, D.F.
- Vega, V., F., C. B. Jaime., M. A. Cupul L., L. J. Galindo, y C. F. German (2009). Acuicultura de la Tilapia a pequeña escala para autoconsumo de familias rurales y periurbanas de la costa del pacífico. Universidad de Guadalajara, Puerto Vallarta, Jalisco, México. 72 p.
- Zepeda, L. (2012). Efecto de la solución nutritiva en el rendimiento de lechuga (*Lactuca Sativa L.*). En dos sistemas hidropónicos: camas flotantes y aeroponía, (Tesis de pregrado) Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro Qro.

XI. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Acuicultura: Cultivo de especies acuáticas en un medio controlado

Acuaponía: La acuaponía se define como la combinación de un sistema de acuicultura con un sistema de producción hidropónica

Agricultura orgánica: Es un sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos de la finca, dándole énfasis a la fertilidad del suelo y la actividad biológica y al mismo tiempo a minimizar el uso de recursos no renovables reduciendo o eliminando el uso de fertilizantes y plaguicidas sintéticos para proteger el medio ambiente y la salud humana

Efluente: corresponde a un curso de agua, también llamado distributivo, que desde un lugar llamado confluencia se desprende de un lago o río como una derivación menor, ya sea natural o artificial. Puede ser aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua; o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias.

Fertilizantes: Es cualquier tipo de sustancia orgánica o inorgánica que contiene nutrientes en formas asimilables por las plantas, para mantener o incrementar el contenido de estos elementos en el suelo, mejorar la calidad del sustrato a nivel nutricional, estimular el crecimiento vegetativo de las plantas

Hidroponía: Cultivo de plantas en sustratos inertes, fertilizadas por medio de Solución Nutritiva

Materia Orgánica: es el producto de la descomposición química de las excreciones de animales y microorganismos, de residuos de plantas o de la degradación de cualquiera de ellos tras su muerte.

Manto Freático: Conocido como tabla de agua, es el nivel por el que discurre el agua en el subsuelo

Residuos Sólidos: constituyen aquellos materiales desechados tras su vida útil, y que por lo general por sí solos carecen de valor económico.

Sustentable: es un término ligado a la acción del hombre en relación a su entorno. Dentro de la disciplina ecológica, la sustentabilidad se refiere a los sistemas biológicos que pueden conservar la diversidad y la productividad a lo largo del tiempo. Por otra parte, como decíamos al principio, está ligada al equilibrio de cualquier especie en particular con los recursos que se encuentran en su entorno.

ANEXO



Figura 22. Contenedor IBC plástico 1000 L.



Figura 23. Tanque y cama acuaponica con tanque IBC.



Figura 24. Sifon de campana dentro de la cama acuaponica.



Figura 25. Alimento balanceado para tilapia nutripec.



Figura 26. Balanza granataria digital.



Figura 27. Pesado semanal de tilapias acuaponicas.



Figura 28. Medidor digital pH 80.



Figura 29. Kit para acuarios traфин test.



Figura 30. Muestreo de la conductividad eléctrica en las soluciones nutritivas.



Figura 31. Ajuste de PH en la soluciones nutritivas.



Figura 32. Sales minerales para elaborar soluciones nutritivas hidropónicas.



Figura 33. Mezcla de sales minerales para la solución nutritiva inorgánica.

Cuadro 8. Materiales utilizados en el sistema acuapónico

Material	Cantidad (pza.)	Precio por unidad (MXN)	Total (MXN)
Tanque IBC	1	1200	1200
Tubo de pvc hidráulico de ½" de 1 metro	1	10	10
Tubo de pvc hidráulico de 1" de 1 metro	1	18	18
Tubo de pvc hidráulico de 2" de 1 metro	1	24	24
Coples de PVC hidráulico de 1" con rosca macho	1	15	15
Llave de pvc hidráulico de 1"	2	18	36
Tezontle rojo (bolsa de 20 litros)	5	80	400
Bomba de agua 1500 litros	1	600	600
Garrafón de agua (20 litros)	1	50	50
Total			2353

Cuadro 9. Costos de producción en el sistema acuapónico

Material	Cantidad (pza.)	Precio por unidad (MXN)	Total (MXN)
Tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	25	.20	5
Sobre de semillas de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	1	25	25
Alimento balanceado nutripec 1.5 mm (1 kilo)	2	20	40
Alimento balanceado nutripec 2.4 mm (1 kilo)	2	22	44
Alimento balanceado nutripec 3.5 mm (1 kilo)	2	25	50
Kit para acuarios trañin test	1	900	900
Medidor de P.H (ph 80)	1	1300	1300
Total			2364

Cuadro 10. Materiales utilizados en el sistema hidropónico

Material	Cantidad (pza.)	Precio por unidad (MXN)	Total (MXN)
Tablas de madera de 3 metros	6	70	420
Plástico negro m ²	9	24	216
Saco de perlita (100 litros)	9	80	720
Total			1356

Cuadro 11. Costos de producción en el sistema hidropónico

Material	Cantidad (pza.)	Precio por unidad (MXN)	Total (MXN)
Sales minerales inorgánicas	1	250	250
Medidor de P.H digital	1	1300	1300
Conductímetro digital (COM-80)	1	1300	1300
Regulador de pH (Ph down 946 ml)	1	400	400
Total			3250

PRODUCTOS

1.- Se llevó a cabo la presentación de la ponencia “Residuo Sólido Acuapónico, Como Solución Nutritiva Hidropónica: Una Alternativa de Producción Sustentable” en el V. Congreso Pobreza, Migración y Desarrollo, en tiempos de muros. En san Cristóbal de las Casas Chiapas el 07/04/2017.

Sebastián Gordillo Santander*, Carolina Orantes-García**, Noé Samuel León Martínez***, Alma Gabriela Verdugo Valdez**, Adriana Caballero Roque****.

*Maestría en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgo, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Norte Poniente No. 1150, Colonia Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.**Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Norte Poniente No. 1150, Colonia Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.***Departamento Agricultura, Sociedad y Ambiente, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal, San Cristóbal de las Casas, Chiapas.****Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimento, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Norte Poniente No. 1150, Colonia Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Eje temático: Sustentabilidad y desarrollo rural

Modalidad del trabajo: Avances de investigación

Resumen:

El objetivo de esta investigación fue determinar la calidad nutrimental de los residuos sólidos presentes en el efluente de un sistema acuapónico con cultivo de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), como fuente para la elaboración de una solución nutritiva orgánica en la fertilización del cultivo de zanahoria (*Daucus carota*) bajo un sistema hidropónico de camas con sustrato sólido. Para la elaboración de la solución nutritiva se realizó la colecta semanal de los residuos sólidos del tanque de cultivo acuapónico los cuales se diluyeron en agua hasta alcanzar una conductividad eléctrica (CE) de 0,75 a 2 mS/cm o 375 a 1000 ppm, ya que este es el rango óptimo para la mayoría de cultivos. Se aplicó un diseño experimental en parcelas divididas, tres repeticiones, con tres tratamientos: inorgánico (con base en una solución nutritiva elaborada con fertilizantes químicos), orgánico (a base de una solución nutritiva elaborada de los residuos sólidos presentes en el sistema de acuaponía) y testigo. Como avance de resultados se tiene que la solución orgánica puede ser viable para el cultivo de zanahorias, ya que en comparación con el testigo esta aumenta hasta en un 70% de producción, de acuerdo al análisis de ANOVA los tratamientos son estadísticamente significativos ($p < 0.000$). Este proceso puede ser un modelo de producción sustentable de peces y hortalizas para comunidades con escasas agua y de bajo recurso.

Palabras clave: Acuaponía, hidroponía, producción sustentable.



LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
 A TRAVÉS DE LA DES (CIENCIAS JURÍDICAS Y GESTIÓN PÚBLICA)
 E INSTITUCIONES COLABORADORAS



Otorga el presente

RECONOCIMIENTO

Al C.

SEBASTIÁN GORDILLO SANTANDER

Por su destacada participación con la ponencia “Residuo Sólido Acuapónico, como Solución Nutritiva Hidropónica: Una Alternativa de Producción Sustentable” impartido en el **Vº Congreso Internacional Pobreza, Migración y Desarrollo**. Realizado los días 5, 6 y 7 de abril de 2017 en la Facultad de Derecho C-III.

San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México, abril de 2017

“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”



Mtro. Carlos Eugenio Ruíz Hernández
 Rector de la UNACH



CEDES

Mtro. Rokeiván Velázquez Gutiérrez
 Coordinador General del CEDES



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas

Campache-Córcoba-Montecillo-Puebla-San Luis Potosí-Tabasco-Veracruz

San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México a 25 de Mayo 2017

AGRO: 45/2017

Asunto: Recepción artículo

DR. GORDILLO SANTANDER SEBASTIÁN
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
(UNICACH). 1ª Sur Poniente No. 1460
Col. Centro, C. P. 29000
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
PRESENTE

Estimado: Dr. Santander-Gordillo:

Por este medio, confirmo recepción del artículo: **RESIDUO SÓLIDO ACUAPÓNICO, COMO SOLUCIÓN NUTRITIVA HIDROPÓNICA: UNA ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN SUSTENTABLE**, de los autores: **GORDILLO SANTANDER SEBASTIÁN**; la cual será sometida al proceso de arbitraje para su posible publicación en *Agroproductividad*.

La Revista *Agroproductividad* está incorporada a los índices: *CONACyT*, *Latindex*, base de datos del *USDA*, *EBSCO*, *CENGAGE LEARNING, INC.*, además de *Zoological Records* en *Master Journal List de Clarivate Analytcs*, y recientemente a *PERIODICA-Biblat*.

Atentamente

DR. JORGE CADENA IÑIGUEZ
Director *AGROProductividad*
Editorial Colegio de Postgraduados

C.c.p. Bitácora Arbitraje Conacyt
C.c.p. expediente

Km. 36.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México CP. 56230 (595) 9284703 jocadena@colpos.mx
INDICE DE REVISTAS MEXICANAS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA-CONACyT
MASTER JOURNAL LIST CLARIVATE ANALYTICS; INDICE DE REVISTAS LATINDEX; EBSCO, CENGAGE Learning, Inc., PERIODICA-Biblat



CERTIFICATE OF ACHIEVEMENT

This is to certify that

Gordillo Sebastian

achieved the following scores on the

TOEFL ITP® Test

Listening Comprehension:	62
Structure & Written Expression:	50
Reading Comprehension:	49
Total:	537

Under the auspices of:
ESC LENG SN CRISTBL UNACH
At: MEXICO
Date: abril 08, 2017
BRONZE MEX201411301105107885160

David G. Payne

David G. Payne
Vice President and Chief Operating Officer
Global Education Division, ETS