

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-



TRABAJO DE GRADUACIÓN

Evaluación del rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en un sistema acuapónico, realizado en la Empresa Agrícola Santa Agustina Xolhuitz, Nuevo San Carlos, Retalhuleu

Presentado por:

T.A. ANA GIRÓ PETERSEN

**Para otorgarle el título de
Licenciada en Acuicultura**

Guatemala, Abril 2008

Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC–
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura –CEMA–

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente	M.Sc. Pedro Julio García Chacón
Coordinador Académico	M.Sc. Carlos Salvador Gordillo García
Secretaria	Licda. Norma Edith Gil Rodas de Castillo
Representante Docente	M.V. Ángel Salomón Medina Paz
Representante del Colegio de Guerra Médicos Veterinarios y Zootecnistas	Licda. Estrella de Lourdes Marroquín
Representante Estudiantil	T.A. Manoel Cifuentes Marckwordt
Representante Estudiantil	T.A. Diana Crespo Mendoza

AGRADECIMIENTOS

A la Empresa Agrícola Santa Agustina, por darme la oportunidad de realizar mi EPS en dicha institución.

A mis catedráticos, por formarme como Licenciada, darme su tiempo, colaboración y apoyo incondicional siendo además de profesionales verdaderos amigos:

Mv.Salomón Medina, M.Sc.Leonel Carrillo, M.Sc. Erick Villagran, M.Sc. Pedro Julio García, Ing. Gustavo Elías, M.Sc. Manuel Ixquiac, M.Sc. Carlos Salvador Gordillo y Licda. Olga Sánchez.

A todas las personas que colaboraron conmigo en la realización de este informe, por su valioso tiempo, sus conocimientos, paciencia y amistad en todo momento.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, en especial al Centro de Estudios del Mar y Acuicultura por mi desarrollo profesional.

ACTO QUE DEDICO

A DIOS Y LA VIRGEN MARÍA	Por ser mi fuente de inspiración, guía en los momentos difíciles, mi luz y mi todo.
A MIS PADRES	Jaime Giró Vila y Clara Luz Petersen de Giró, por brindarme todo el apoyo incondicional durante estos años de mi carrera, siendo modelos en mi vida.
A MI ESPOSO	Julio Arribillaga por estar a mi lado, ayudarme con su sabiduría y apoyo.
A MI HERMANA	Claudia Giró por ser como es única en todo, y por brindarme su apoyo en todo momento.
A MIS COMPAÑEROS	Por estar durante estos años de la carrera siempre juntos, pasando momentos inolvidables.
A MIS AMIGOS	Por todo su apoyo, Ma. Olga Morales, Sofía Méndez, Rachel Rodas, Marisol Sandoval, Nereida Aguilar y Ximena Mérida, su amistad es algo importante que me permitió salir adelante en los momentos difíciles, pasamos momentos inolvidables.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pag.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	2
III. MARCO TEÓRICO	4
3.1 Historia de la acuaponia	4
3.2 Principios de la acuaponia	6
3.3 Nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas	7
3.3.1 Nutrientes menores o microelementos	7
3.4 Ventajas del cultivo acuapónico	8
3.5 Desventajas del cultivo acuapónico	10
3.6 Sistemas y cultivos acuapónicos	10
3.7 Descripción de las especies utilizadas en el cultivo	11
3.7.1 Tilapia, <i>Oreochromis niloticus</i>	11
3.7.2 Lechuga, <i>Lactuca sativa</i> L.	14
IV. OBJETIVOS	18
4.1 General	18
4.2 Específicos	18
V. HIPÓTESIS	19
VI. METODOLOGÍA	20
6.1 Ubicación geográfica	20
6.2 Estructuras del sistema	20
6.3 Variables de respuesta	28
VII. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	33
7.1 Rendimiento en peso de la lechuga a la cosecha	33
7.2 Apariencia física de las lechugas a la cosecha	34
7.3 Análisis bromatológico de las lechugas	35

7.4 Incremento en peso de los peces	37
VIII. CONCLUSIONES	39
IX. RECOMENDACIONES	40
X. BIBLIOGRAFÍA	41
XI. ANEXO	43

ÍNDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro No. 1. Tabla de conversión de porcentaje de biomasa por peso promedio de los peces en gramos	13
Cuadro No. 2. Extractos vegetales utilizados para el control de plagas en acuaponía	17
Cuadro No. 3. Caracteres establecidos en el tintómetro, medidos por intervalos de cada color.	30
Cuadro No. 4. Evaluación de X^2 para el rendimiento en peso fresco y por m^2 de las lechugas evaluadas	34
Cuadro No. 5. Medidas obtenidas por color utilizando un tintómetro "Lovibond"	35
Cuadro No. 6. Contenido nutricional de la lechuga, <i>Lactuca sativa</i> L. variedad Paris Island Cos, producida por el sistema de acuaponía	35
Cuadro No. 7. Contenido nutricional de la lechuga Paris Island Cos, evaluadas con el sistema acuapónico comparado con la tabla del INCAP y sus diferencias	36
Cuadro No. 8. Compuesto analizado y valores obtenidos para X^2	36
Cuadro No. 9. Comparación del incremento en peso promedio durante 67 días de cultivo	38

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura No. 1. Cultivo acuapónico realizado en los Estados Unidos de América	5
Figura No. 2. Esquema del proceso de los compuestos nitrogenados en acuaponia	6
Figura No. 3. Antes de la construcción del sistema de cultivo acuapónico	21
Figura No. 4. Sistema de cultivo acuapónico en funcionamiento	21
Figura No. 5. Construcción del invernadero	22
Figura No. 6. Canales de cultivo	22
Figura No. 7. Estanques acuícolas	24
Figura No. 8. Concentrado utilizado para alimentar a los peces	25
Figura No. 9. Semillero de lechuga	25
Figura No. 10. Semillas de lechuga, Paris Island Cos	26
Figura No. 11. Germinación de las plántulas en el semillero	27
Figura No. 12. Plántulas de lechuga colocadas en bandejas	27
Figura No. 13. Trasplante de las lechugas a los canales de cultivo	28
Figura No. 14. Cosecha de la lechuga	28
Figura No. 15. Determinación del peso de la parte aérea de la lechuga	29

ÍNDICE DE ANEXO

	Pag.
Anexo No. 1. Metodología de Análisis por Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama	43

RESUMEN

La acuaponía es la actividad productiva que conjunta una producción de peces y plantas con alto valor nutritivo y comercial, en un sistema de circulación de agua donde se mezcla lo que es acuicultura e hidroponía (cultivo sin tierra).

A través de esta investigación se evaluó el rendimiento por área del cultivo de lechuga, *Lactuca sativa L.* variedad Paris Island Cos, al utilizar un sistema de cultivo acuapónico N.F.T (técnica de cultivo en flujo laminar de agua, por sus siglas en inglés) de raíz flotante. Los resultados de esta evaluación indican que el sistema acuapónico produce un mayor rendimiento en cuanto a peso fresco por lo que se observó que existe una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre ambos cultivos.

Luego se procedió a realizar un análisis químico foliar para conocer la composición de calcio, fósforo y hierro que aportan estas hortalizas cultivadas por un sistema acuapónico, en comparación con un sistema de cultivo tradicional. Se escogió esta hortaliza por la importancia económica y nutritiva, es una fuente de minerales importante para la alimentación humana. Los resultados de esta evaluación indican que el contenido de calcio y fósforo presentan diferencias significativa ($P < 0.05$) comparado con el contenido nutricional de las lechugas cultivadas mediante el método convencional. Para el contenido de hierro no se presentó diferencia significativa ($P > 0.05$).

Para determinar la apariencia física de las lechugas, se procedió a realizar un análisis colorimétrico. En este análisis se concluyó que las lechugas cultivadas por el sistema de acuaponía no presentaron diferencias significativas respecto al color y apariencia física, de las lechugas cultivadas en suelo.

Los resultados obtenidos en esta investigación pueden contribuir a generar nuevas propuestas para la elaboración de policultivos, donde se producen peces y plantas con alto valor nutritivo y comercial.

ABSTRACT

Aquaponics is an activity that combines the production of fish and plants with high nutrition and commercial value. This bio-integrated system links recirculating aquaculture with hydroponic vegetable production

Through this investigation the production per area of lettuce *Lactuca sativa* L., Paris Island Cos variety, was evaluated; the system used is known as the nutrient film technique (NFT), of floating roots. The results of this evaluation indicated that a significant difference exists ($P < 0.05$) since the aquaponic system produces a greater amount of lettuce per area in comparison to the traditional cultivation system in soil.

A foliar analysis was done in order to determine how much calcium, phosphorus and iron are present in the lettuce. This vegetable was chosen because of its high nutrition and economic importance, being an important source of minerals to the human diet. A comparison was done between the aquaponic system and the traditional cultivating system on soil. The results of this evaluation indicate that the content of calcium and phosphorus in the lettuce does present a significant difference ($P < 0.05$) in comparison to the lettuce cultivated in soil. For the content of iron there was no significant difference found ($P > 0.05$).

A final analysis to determine the physical appearance of the lettuce was made. In order to obtain this data a colorimetric analysis was done. The results concluded that the lettuce cultivated by an aquaponic system did not present any significant differences in aspect, colour nor physical appearance in comparison to the lettuce cultivated in soil

The results found in this investigation can contribute to generate new proposals for the growth of policulture crop elaboration, where fish and plants can be produced with highly commercial and nutritional value.

I. INTRODUCCIÓN

Según Escalante (2001), la acuaponía es la actividad productiva que conjunta una producción de peces y plantas con alto valor nutritivo y comercial, en un sistema de circulación de agua donde se mezcla lo que es acuicultura e hidroponía (cultivo sin tierra).

Es un método que se basa en policultivos o sistemas balanceados en donde las plantas reciben una nutrición adecuada al aprovechar los desechos generados por los peces. Estos desechos nutren a las plantas, éstas a su vez, limpian el agua de dichos compuestos haciéndola disponible nuevamente para que sea reutilizada por los peces. Es por ello que la acuaponía aprovecha al máximo el agua, el espacio y los desechos generados, por lo que se convierte en una forma de producción sustentable para el ambiente. Además es una forma sencilla, libre de químicos y económica de producir plantas de rápido crecimiento, de elevados rendimientos y por lo general, ricas en elementos nutritivos.

Escalante (2001) indica que existen diferentes sistemas utilizados para cultivos acuapónicos. En la presente investigación se utilizó el sistema N.F.T con las raíces sumergidas en agua. Esta técnica utiliza espacios reducidos para la producción de hortalizas y se puede llevar a cabo de forma intensiva tanto en áreas rurales como urbanas.

A través de esta investigación se evaluó el rendimiento por área del cultivo de lechuga, *Lactuca sativa L.* variedad Paris Island Cos, al utilizar un sistema de cultivo acuapónico N.F.T de raíz flotante. Se procedió a hacer un análisis químico foliar para conocer la composición de minerales que aportan estas hortalizas. Se escogió esta hortaliza por la importancia económica y nutritiva, es una fuente de minerales importante para la alimentación humana. Por estas razones se pretendió obtener un cultivo de alto rendimiento y con una mejora en la calidad nutritiva.

II. JUSTIFICACIÓN

La acuaponía es una forma de cultivo que se puede aplicar a cualquier tipo de plantas, ya sean para consumo u ornato y puede practicarse tanto en espacios abiertos como cerrados.

El cultivo acuapónico incrementa la rentabilidad de la granja acuícola. Al ser un poli cultivo, el sistema es utilizado en su totalidad. Se producen peces y plantas con alto valor nutritivo y comercial. La producción de hortalizas en un sistema acuapónico adquieren un alto valor comercial comparado con los cultivos tradicionales ya que se consideran cultivos orgánicos (libres de químicos, pesticidas y fungicidas).

El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (1997), indica que la acuaponía permite producir cultivos hortícolas de ciclo corto sin necesidad del suelo. Además con la técnica de acuaponía se obtiene una producción de peces con alto valor nutritivo, contribuyendo de esta manera a la iniciativa de seguridad alimentaria nutricional en Centroamérica impulsada por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), ya que su aplicación influye en la corrección de problemas nutricionales y contribuye a mejorar la calidad de los alimentos, disponibilidad y sobre todo mejorar la dieta haciéndola completa y saludable.

Al seguir la tendencia del mercado por una demanda de productos saludables, frescos y orgánicos, los sistemas de producción buscan objetivos que satisfagan dichas necesidades. La acuaponía es un sistema de producción orgánico que satisface dichas necesidades del mercado.

La estrategia básica detrás del concepto de acuaponía radica en que cada componente biológico del sistema debe trabajar a la mayor eficiencia posible, para obtener el mayor beneficio económico. Si el área de cultivo puede ser usada para la producción de policultivos, reduciendo los costos operativos, entonces la

inversión inicial se optimiza, lo que representa uno de los objetivos de la acuaponia.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Historia de la acuaponia

El conocimiento que hasta ahora se tiene de la acuaponia es el resultado del trabajo de muchos investigadores, por lo que es necesario dar una visión histórica a su desarrollo.

La historia de la acuaponia comienza con Jan Van Helmont (1600), citado por Escalante (2001), quien creyó haber probado que las plantas obtenían sus nutrientes del agua. Woodward (1699), citado por Escalante (2001) constató en su libro "Some thoughts and experiments concerning vegetation" que la adición de pequeñas cantidades de suelo a diferentes tipos de agua mejoraba el crecimiento de las plantas. De Sausure (1804) y Boussingault (1851-1856), citados por Escalante (2001) mostraron que las plantas contienen dióxido de carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno, cuando se cultivan en agua, arena y en carbón.

Escalante (2001), cita a Sacks (1960) y Knops (1861-1865), quienes fijaron las bases para el surgimiento de la hidroponía. Descubren que además de dióxido de carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno las plantas requieren de fósforo, potasio, calcio, magnesio y hierro. Publicaron las primeras fórmulas nutritivas a partir de las cuales se han desarrollado muchas más. Robins (1928), citado por Escalante (2001) indicó después de varios trabajos, que había muchas posibilidades de usar el sistema hidropónico de cultivo en arena a escala comercial. Gericke (1929), citado por Escalante (2001), fue el primero en desarrollar exitosamente un sistema práctico de cultivo hidropónico, base del cultivo acuapónico, es con este trabajo que surge el término hidroponía. Withyow y Biebel (1936), citados por Escalante (2001) perfeccionaron un mecanismo automático de riego por subirrigación. Así fue como comenzó el cultivo hidropónico.

Los intereses en combinar un sistema de acuaponía con hidroponía comenzaron a mediados de los años 70. Sneed y Ellis (1975), citados por Escalante (2001) escriben uno de los primeros artículos sobre la integración de acuicultura e hidroponía. Zweig a principio de los años 80, publica un artículo en la revista “Aquaculture“ llamado “An Integrated Fish Culture Hydroponic Vegetable Production System” donde se ve la integración de acuicultura con el crecimiento de vegetales. En 1985, la Universidad de Carolina del Norte emplean un sistema de recirculación de agua donde se producían ambos, peces y vegetales. La universidad publica una serie de artículos importantes para la investigación de acuaponía. En la actualidad las Universidades de Carolina del Norte, Arizona y Arkansas son las que han realizado la mayor cantidad de investigaciones de acuaponía (Figura No.1). Otro centro de importancia es El Pabellón de la Tierra, en el “Centro Epcot de Disney“, este centro dió a conocer diversas técnicas de acuaponía y está siendo impulsado por la NASA (Aeronáutica Nacional para la Administración del Espacio, por sus siglas en inglés).



Figura No. 1. Cultivo acuapónico realizado en los Estados Unidos de América. Duckworth, (1999).

La práctica del cultivo en sistemas acuapónicos, será en un futuro no muy lejano, una de las principales alternativas productivas ya que encierra muchas de las características propias que se exigen actualmente en los sistemas tradicionales de acuicultura, en vías de que tal industria guarde el

principio de armonía con el medio ambiente y sea sostenible para las generaciones presentes y futuras.

3.2 Principios de la acuaponía

Escalante (2001), indica que aquellos sistemas de recirculación de agua que integran la producción de organismos acuáticos (peces principalmente) y vegetales, se conocen como acuaponía. Tales sistemas se basan en el principio de utilizar los desperdicios nitrogenados provocados por el metabolismo de los peces, como nutrientes necesarios para el crecimiento de plantas, frutos o vegetales (Figura No. 2). Las plantas y bacterias nitrificantes, filtran el agua extrayendo los desechos nitrogenados como fuente de alimento mejorando así, el medio ambiente de los peces y promoviendo su crecimiento.

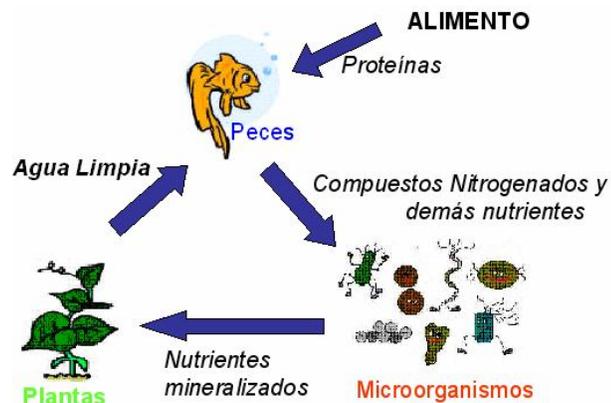


Figura No. 2. Esquema del proceso de los compuestos nitrogenados en acuaponía. Duckworth (1999).

En el sistema de acuaponía se reduce la cantidad de nitrógeno de los efluentes de descarga del agua. Por esta razón se puede reutilizar el agua ya que ésta queda libre de compuestos dañinos. Esto implica también una reducción de los costos de operación por acarreo de agua al sistema, sobretodo en zonas donde el abastecimiento de este recurso es escaso.

Esta actividad incrementa la rentabilidad de la granja acuícola ya que la producción de vegetales con este sistema adquiere un valor comercial mayor al ser considerados como "productos orgánicos" (libres de químicos como pesticidas, fungicidas, etc.) y no se tienen gastos extras por fertilización de plantas debido a que los nutrientes están contenidos en el flujo de agua que circula por el sistema

3.3 Nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas

Según Kramer (1965), los elementos esenciales para el desarrollo normal de la planta, están contenidos en algunas sales y en sustancias químicas compuestas y son, el Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S), Cloro (Cl), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Manganeso (Mn), Boro (B), Zinc (Zn) y Molibdeno (Mo). Cada uno de estos elementos tiene una o varias funciones en el proceso de crecimiento de la planta, así como su carencia se traducen en síntomas específicos que se reflejan en la estructura de la planta. A este conjunto de elementos químicos, se los divide en dos grupos: Nutrientes principales, que son los que las plantas requieren en mayores cantidades, y los nutrientes menores, también llamados micronutrientes o elementos menores, que son tan esenciales como los primeros, pero requeridos solamente en cantidades ínfimas. Los que integran el primer grupo son: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre; los restantes, son considerados micronutrientes.

3.3.1 Nutrientes menores o microelementos

Kramer (1965), indica que los nutrientes menores o microelementos, son elementos importantes para el desarrollo de las plantas, estos se encuentran contenidos en ellas, en muy pequeñas cantidades, que van desde 0,01% hasta 0,0001%. Este grupo de nutrientes está compuesto por: hierro, cobre, manganeso, boro, zinc, molibdeno y cloro.

Debido a que trece de los dieciséis elementos esenciales que requiere la planta para su crecimiento, son producidos en los tanques de peces, y los tres restantes (carbono, hidrógeno y oxígeno) provienen del agua y dióxido de carbono, se puede decir que prácticamente todos los nutrientes dependen del alimento que ingiere el pez. Es por ello que es importante alimentar a los peces con un alimento balanceado.

3.4 Ventajas del cultivo acuapónico

Según Escalante (2001), la acuaponia presenta un gran número de ventajas con respecto a los cultivos realizados en suelo, a continuación se presentan las siguientes ventajas:

- Promueve el balance de aire, agua y nutrientes: con algunas excepciones al utilizar un sistema de cultivo en suelos, es difícil abastecer a las raíces simultáneamente con las cantidades de agua, aire y nutrientes que requieren. Cuando el suelo se satura el agua se encuentra disponible para las raíces en grandes cantidades pero el oxígeno del suelo tiende a ser limitado; a medida que el suelo va perdiendo agua, la cantidad de oxígeno disponible va en aumento. En acuaponia es posible mantener tanto el aire como el agua dentro del rango requerido por los cultivos.
- Permite una mayor densidad de población: las plantas cultivadas en este sistema pueden plantarse a menor distancia una de la otra (entre un 15 a 30%) que sus similares en el suelo. Los nutrientes no son limitantes por lo que no afecta la densidad del cultivo.
- Control del pH: es un factor que influye notablemente en la asimilación de los nutrientes y por lo tanto en el rendimiento de las plantas y peces. En un cultivo sobre suelo el pH puede estar muy desviado del rango (ácido o alcalino) adecuado y su corrección en la mayoría de los

casos, puede ser difícil y costosa. En acuaponía al trabajar con agua es muy fácil y barato ajustar y mantener el pH a nivel deseado ya que este se corrige de forma directa en el sistema.

- Permite obtener productos orgánicos: ya que no se utilizan químicos, pesticidas, fungicidas ni fertilizantes.
- Permite producir varias cosechas al año: esto implica desde luego un clima en el cual el cultivo pueda crecer durante todo el año o bien el uso de invernaderos. La ventaja radica en la posibilidad de abastecer la demanda del mercado durante todo el año.
- Permite un ahorro en el consumo de agua: en acuaponía, generalmente se recircula el agua en el sistema, las plantas se encargan de filtrar el agua para ser utilizada nuevamente por los peces.
- Se reducen los costos de producción: debido a que no se utilizan fertilizantes, insecticidas ni fungicidas, se ahorra tiempo y dinero.
- Mayor limpieza e higiene: mediante el cultivo acuapónico se elimina el riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales producidos por microorganismos que contienen las aguas negras cuando estas son utilizadas para riego de hortalizas.
- No hay gasto de maquinaria agrícola: no se requiere de tractor, arado u otros implementos semejantes.
- Se reduce en buena medida la contaminación ambiental y los riesgos de erosión: al no utilizar compuestos químicos para el control de plagas y enfermedades, se reduce la contaminación. Al ser un sistema en el cual las plantas se encargan de filtrar el agua la contaminación generada es reducida.
- Debido a que es un policultivo se maximizan los recursos: La integración de plantas y animales incrementa la diversidad y por lo tanto brinda estabilidad al sistema utilizando el agua, nutrientes y espacio al máximo.

3.5 Desventajas de la acuaponia

- Falta de estudios: debido a esto todavía se están realizando pruebas para optimizar el sistema.
- Se requiere conocimiento técnico para un manejo adecuado: ya que es un sistema de integración de dos cultivos por lo que se requiere a una persona que tenga conocimientos básicos de fisiología vegetal (hortalizas) y animal (peces).
- Es importante integrar dos cultivos con los mismos requerimientos ambientales: para esto es necesario conocer sobre las especies que se quieren integrar en el cultivo para optimizar la producción.

3.6 Sistemas y cultivos acuapónicos

El principio de suministro de nutrientes en la acuaponia es siempre el mismo, consiste en humedecer las raíces de las plantas con el agua que sale del cultivo acuícola, en donde se aprovechan los desechos generados por los peces para nutrir a las plantas. Lo que puede variar, es el sistema empleado para poner las raíces en contacto con el líquido.

Rodríguez, *et al.* (2002) indica que existen tres formas básicas de suministrarle el agua con nutrientes a las plantas:

1. Humedeciendo el sustrato en el que están ubicadas las plantas.
2. Colocando las raíces directamente en el agua con nutrientes.
3. Aplicándole el agua con nutrientes mediante un atomizador, directamente sobre las raíces.

De acuerdo al sistema empleado para nutrir a las plantas, la acuaponia se puede clasificar de la siguiente manera: raíces en sólido, en líquido o en

gaseoso. La nutrición de las raíces en líquido, se puede hacer a través de las técnicas hidropónicas, de flujo laminar (N.F.T), flotante o de inmersión.

3.7 Descripción de las especies utilizadas en el cultivo

3.7.1 Tilapia, *Oreochromis niloticus*

Según Morales (1991), la tilapia, *Oreochromis niloticus* es un pez nativo de África que ha sido introducido a muchos países del mundo. Es resistente a enfermedades, se reproduce con facilidad, consume una gran variedad de alimentos y tolera aguas con bajas concentraciones de oxígeno disuelto. Comúnmente, es cultivada en estanques, jaulas y arrozales inundados. La mayoría de las especies de tilapia pueden crecer en aguas salobres y algunas se adaptan al agua de mar. Todas estas características hacen que la tilapia sea una especie de cultivo apta en la mayoría de los países tropicales.

La tilapia, *Oreochromis niloticus* se cría cada vez más en condiciones ambientalmente controladas en climas templados. Se considera en general la mejor especie para la acuicultura de agua dulce, presenta muchos atributos adecuados para su domesticación y cría entre ellos la buena calidad y el sabor de su carne, tiene gran tolerancia a distintos entornos, resistencia a enfermedades habituales de los peces y relativa facilidad de reproducción.

- Generalidades de la especie

Este pez pertenece a la familia cichlidae. Su tamaño y peso máximo es de 80 cm y hasta 5 kg. Su peso promedio es de 0.18 a 0.27 kg en reservorios. El tamaño y peso comercial es de 20 a 30 cm y de 0.22 a 0.45 kg. Para un adecuado cultivo se necesita una temperatura del agua de 23 a 35°C. En

cuanto al hábitat es una especie de ambientes lénticos (lagos, lagunas e incluso reservorios), aunque también se le encuentra en algunos ambientes lóticos (ríos y riachuelos).

De acuerdo con Morales (1991), las características biológicas de la especie son las siguientes: se desarrollan bien en agua dulce y salobre, son especies rústicas y de alimentación omnívora, acepta alimento balanceado. Se reproduce a partir de los 4 meses de edad y desova parcialmente cada 2 ó 3 meses, los machos crecen mejor que las hembras, por lo que es preferible los cultivos de monosexo, es por esto que se realiza la producción de súper machos o se efectúa la reversión a machos aplicando hormonas en el alimento en los primeros 30 días de nacidos.

- Parámetros físico-químicos del agua

Morales (1991), establece que los parámetros físico-químicos del agua para el cultivo de tilapia son los siguientes:

1. Temperatura: rango entre 22 a 26°C, fuera de este rango decae la actividad metabólica de los peces.
2. pH: rango entre 5 a 9, siendo ideal 7. Valores fuera de este rango ocasionan aletargamiento, disminución en la reproducción y el crecimiento. Para mantener el pH en este rango, es necesario encalar cuando esté ácido o hacer recambios fuertes de agua y fertilizar cuando este se torna alcalino.
3. Oxígeno disuelto: mayor a 4 ppm. Existe una estrecha relación entre la concentración de oxígeno y la temperatura. En las noches los niveles de oxígeno pueden descender a menos de 2 ppm razón por la cual los peces reducen el metabolismo. Este parámetro debe ser observado para determinar la densidad de siembra previendo así el recambio de agua necesario o la aireación suplementaria.

4. Dureza: debe ser mayor a 60 ppm.
5. CO₂: debe ser menor a 20 ppm.

- Alimentación

Para tener éxito y rentabilidad en el cultivo es importante controlar al parámetro quizá más costoso, la alimentación. Para determinar cuanto alimento suministrar al día se realiza un muestreo de la población, que consiste en sacar del 10% al 15% de los peces, tomar su peso promedio, multiplicarlo por el número total de animales del estanque obteniendo la biomasa, la cual sirve para ajustar la ración diaria según un porcentaje establecido para cada peso promedio (Cuadro No. 1).

Cuadro No. 1. Tabla de conversión de porcentaje de biomasa por peso promedio de los peces en gramos

Peso promedio en gramos	(%) de biomasa
Menos de 5 g	10.0
De 5 a 20 g	8.0
De 20 a 50 g	6.0
De 50 a 100 g	4.0
De 100 a 200 g	3.5
De 200 a 300 g	3.0
De 300 a 500 g	2.5

Fuente: Scarpa, 2000

3.7.2 Lechuga, *Lactuca sativa* L.

La lechuga, *Lactuca sativa* L. es una planta anual, propia de las regiones templadas, se cultiva para alimentación humana. Debido a las muchas variedades que existen se puede consumir durante todo el año.

- Origen y variedades

Para Kramer (1965), el origen de la lechuga no está muy claro. Algunos autores afirman que procede de la India, mientras que otros la sitúan en las regiones templadas de América del Norte, a partir de la especie *Lactuca serviola*.

El cultivo de la lechuga comenzó hace 2,500 años. Era una hortaliza ya conocida por persas, griegos y romanos. Estos últimos tenían la costumbre de consumirla antes de acostarse después de una cena abundante para así poder conciliar mejor el sueño. Además, en esta época ya se conocían distintas variedades de lechuga. En la edad media su consumo comenzó a descender, pero volvió a adquirir importancia en el renacimiento.

Las primeras lechugas de las que se tiene referencia son las de hoja suelta, mientras que las variedades acogolladas no se conocieron hasta el siglo XVI. Dos siglos más tarde se obtuvieron numerosas variedades gracias a los estudios llevados a cabo por horticultores alemanes. En la actualidad, la lechuga es una verdura cultivada al aire libre o en invernaderos en zonas templadas de todo el mundo.

- Generalidades de la especie

Duckworth (1999), establece que la lechuga es una planta anual, perteneciente a la familia *Compositae* y cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa* L.

La raíz tiene la característica que nunca sobrepasa los 25 cm de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones. Las hojas se despliegan 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. El tallo es cilíndrico y ramificado.

- Parámetros físico-químicos del cultivo

Escalante (2001), indica que los parámetros físico-químicos que hay que tomar en cuenta para el cultivo de lechuga son los siguientes:

1. Temperatura: el valor óptimo de germinación oscila entre 18-20°C. Durante la fase de crecimiento del cultivo se requiere entre 14-18°C por el día y 5-8°C por la noche, pues la lechuga exige que haya diferencia de calor entre el día y la noche. Como máximo puede soportar los 30°C y como mínimo -6 °C.
2. pH: El pH ideal es de 7. Se necesita un pH neutro para mantener un balance en el sistema ya que este incide en la absorción de nutrientes en la planta.

- Propiedades nutritivas

Para Barceló (1980), la lechuga es un alimento que aporta muy pocas calorías por su alto contenido en agua, su escasa cantidad de hidratos de carbono y menor aún de proteínas y grasas. En cuanto a su contenido en vitaminas, destaca la presencia de vitamina A o beta-caroteno, y vitaminas C y E. Los folatos intervienen en la producción de glóbulos rojos y blancos, en la síntesis de material genético y la formación de anticuerpos del sistema inmunológico.

Twicc (1962), indica que el beta-caroteno es un pigmento natural que confiere el color amarillo-anaranjado-rojizo a los vegetales y que el organismo transforma en vitamina A según sus necesidades. En el caso de la lechuga, el beta-caroteno está enmascarado por la clorofila, pigmento más abundante. La vitamina A es esencial para la visión, el buen estado de la piel, el cabello, las mucosas, los huesos y para el buen funcionamiento del sistema inmunológico, además de tener propiedades antioxidantes.

De acuerdo a Barceló (1980), la lechuga favorece la absorción del hierro de los alimentos y la resistencia a las infecciones. En cuanto a los minerales, la lechuga destaca por la presencia de potasio y hierro. También contiene magnesio y calcio, aunque en menor proporción. El potasio es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, además de colaborar en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula. El magnesio se relaciona con el funcionamiento de intestino, nervios y músculos, forma parte de huesos y dientes, mejora el sistema inmunológico y posee un suave efecto laxante. Las hojas más externas de la lechuga concentran la mayor parte de vitaminas y minerales.

- Variedad cultivada en el sistema acuapónico

La variedad de lechuga que se seleccionó para el cultivo acuapónico tiene el nombre de Paris Island Cos, esta variedad pertenece a la especie *Lactuca sativa L.* la cual corresponde a las lechugas llamadas romanas o cos, conocidas específicamente como costinas. La planta desarrolla hojas grandes, erguidas, oblongas y ovaladas, de 20 a 30 cm de largo, con nervadura prominente, superficie ligeramente ondulada, y borde irregularmente denticulado. El tallo presenta una longitud de 35 a 40 cm el cual permanece protegido por el conjunto de hojas, las que forman una cabeza cónica o cilíndrica.

- Control de plagas

En el sistema acuapónico, las plagas (insectos y larvas) se controlaron utilizando métodos de control natural para no alterar la composición de los nutrientes y no contaminar las hortalizas.

Como control natural se aplica una solución concentrada de jabón tipo doméstico al 10%. Esta solución se aplica con un atomizador en forma de rocío y sirve para el control de pulgones y larvas pequeñas.

Como complemento para el control de plagas se aplica en rotación una vez por semana extractos de ajo, cebolla, eucalipto y apazote. Estos extractos se extraen de macerando y exprimiendo los jugos de las hojas o bulbos (Cuadro No. 2)

Cuadro No .2. Extractos vegetales utilizados para el control de plagas en acuaponia

Especie vegetal	Cantidad	Dosis del extracto por litro de agua	Control de plaga
Ajo y cebolla	Una cabeza de ajo y una cebolla mediana.	500 ml	Control de la mosca blanca
Ajo	100 gramos de bulbos	150 ml	Control de pulgones
Eucalipto	150 gramos de hojas	100 ml	Control de insectos
Apazote	200 gramos hojas	100 ml	Control de insectos

Fuente: PNUD, 1997

La preparación de los extractos para cualquiera de las especies vegetales a utilizar es el mismo. Primero se macera completamente luego se coloca en un colador para extraer la parte jugosa. Este extracto se coloca en el fuego hasta que hierva. Luego se deja enfriar y ya está listo para ser utilizado.

IV. OBJETIVOS

4.1 General

Evaluar el rendimiento por área del cultivo de lechuga *Lactuca sativa L.* utilizando un sistema de cultivo acuapónico de raíz flotante.

4.2 Específicos

- Establecer el rendimiento por área, mediante el peso en fresco de la lechuga *Lactuca sativa L.* variedad Paris Island Cos.
- Determinar el contenido de calcio, fósforo, potasio, magnesio, sodio, hierro y color de la lechuga cultivada en el sistema acuapónico.

V. HIPÓTESIS

1. La lechuga, *Lactuca sativa* L. variedad Paris Island Cos, cultivada en un sistema acuapónico, presenta un mejor rendimiento por área que la misma variedad de lechuga cultivada mediante el método convencional.
2. La lechuga producida por el método acuapónico tiene un alto contenido de calcio (Ca), fósforo (F) y hierro (Fe); comparado con el contenido nutricional de las lechugas producidas mediante el método convencional.

VI. METODOLOGÍA

6.1 Ubicación geográfica

La presente investigación se llevó a cabo en la empresa agrícola Santa Agustina Xolhuitz, ubicada en el municipio de Nuevo San Carlos, departamento de Retalhuleu. Con coordenadas N 14 ° 30.163´ W 091° 41.684´.

Colinda al norte con la comunidad agraria Candelaria, al sur con la comunidad agraria Camelias, al este con la finca Santa María y al oeste con la finca Laureles. La finca está a una distancia de 15 kilómetros de la cabecera departamental, de los cuales 3 kilómetros son de terracería transitable durante todo el año con vehículos todo terreno.

La finca se encuentra ubicada a 650 metros sobre el nivel del mar. De acuerdo al mapa de zona de vida de Holdridge, pertenece a la zona climática Tropical Húmeda y Sub-Tropical Muy Húmeda. La temperatura promedio anual es de 25.5 °C. La precipitación pluvial promedio anual es de 6,000 mm.

6.2 Estructuras del sistema

- Invernadero

Este se construyó con el objeto de minimizar las plagas en el sistema. El lugar de la construcción era un área a la cual no se le estaba dando ningún uso, había únicamente ripio (Figura No. 3).



Figura No. 3. Antes de la construcción del sistema de cultivo acuapónico

Se seleccionó este lugar para realizar la construcción del invernadero y posteriormente de todo el sistema de producción (Figura No. 4).



Figura No. 4. Sistema de cultivo acuapónico en funcionamiento

Las dimensiones del invernadero son las siguientes:

- Largo 7 m
- Ancho 4 m
- Alto 3 a 4 m

El invernadero se construyó con madera denominada de baja calidad producida en la misma finca. Se forró con plástico transparente y una malla “antivirus”, esta malla protege al sistema ya que no permite que pasen

insectos, larvas ni otros agentes externos que son dañinos para el sistema (Figura No. 5).



Figura No. 5. Construcción del invernadero

- Canales de cultivo

Los canales se construyeron con tubos de PVC con una longitud de 6 metros y 7.5 cm de diámetro (Figura No. 6). Se utilizaron 15 tubos de PVC. A cada uno de los tubos se le abrieron agujeros circulares de 2.5 cm de diámetro. Estos agujeros se abrieron con un barrenos. Por tubo se perforaron 33 agujeros, cada uno separado por 15 cm. Los canales de cultivo fueron colocados en forma de serpentina, cada tubo se unió por dos codos. Se calculó un desnivel en cada extremo de los tubos para asegurar el flujo continuo de agua, se utilizó una pendiente del 0.5 %. Todos los canales de cultivo reposaban sobre cinco bases de madera.

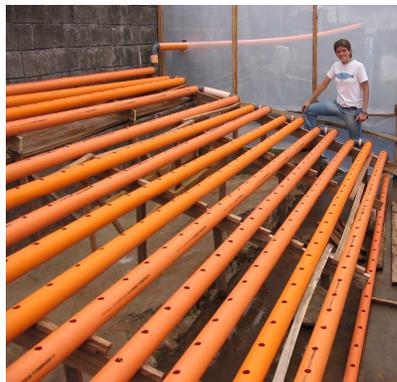


Figura No. 6. Canales de cultivo

- Estanques acuícolas

Se utilizaron cuatro estanques de concreto ubicados en el beneficio húmedo de café. En tres de los estanques se cultivaron tilapias, *Oreochromis niloticus* y uno se utilizó como estanque captador de agua que actuó como sedimentador y biofiltro (filtro biológico) (Figura No. 7). La temperatura promedio del agua fue de 23.5°C.

En cada uno de los estanques se manejaron diferentes tallas. Se utilizaron tres estanques acuícolas con las siguientes condiciones:

Capacidad de agua por estanque:

- Estanque No.1 y 2 = 20 m³ de agua.
- Estanque No.3 = 10.9 m³ de agua.

Densidad por estanque:

- Estanque No. 1= 16 kg por m³ de agua
- Estanque No.2 = 8 kg por m³ de agua
- Estanque No. 3 = 19 kg por m³ de agua

Cantidad de peces y peso promedio por estanque:

- Estanque No. 1 = 2,420 peces de 0.14 kg
- Estanque No.2 = 612 peces de 0.25 kg
- Estanque No. 3 = 397 peces de 0.45 kg



Figura No. 7. Estanques acuícolas

- Estanque para sedimentación y biofiltro

Para que los desechos de los peces fueran utilizados por las plantas estos pasaron por un biofiltro. En dicho biofiltro actuaron bacterias nitrificantes y el amonio desechado por los peces fue convertido a nitritos por medio de la bacteria *Nitrosomonas*, luego otra bacteria llamada *Nitrobacter sp.* Se encargó de convertir los nitritos a nitratos. Las lechugas aprovechan los nitratos ya que estos les sirven como alimento. Para lograr un balance en el sistema de filtración biológica fue importante tomar en cuenta los parámetros de calidad del agua en especial el pH y la temperatura. Ya que si estos parámetros aumentan en el sistema también aumenta el amonio. El estanque que sirvió como sedimentador y biofiltro se trabajó con una capacidad de 20.54 m³ de agua.

- Alimentación de los peces

Los peces se alimentaron dos veces al día. La ración de alimento se calculó de la siguiente forma:

$$BT = \text{Peso promedio de peces} \times \text{Número de peces}$$

Siendo BT la biomasa total por estanque. Luego se ajustó la ración alimenticia a un 6% de la biomasa total por estanque.

El alimento que se utilizó contiene un 32% de proteína cruda (Figura No. 8).



Figura No. 8. Concentrado utilizado para alimentar a los peces.

- Preparación del semillero para lechuga

El semillero se construyó de madera, teniendo una forma de caja dividida por cuatro secciones, siendo sus dimensiones 2.5m de largo por 1m de ancho. Cada espacio de la caja se forró con plástico vinílico negro el cual sirvió para impermeabilizar.

Como sustrato para la germinación de las semillas se utilizó cascabillo de café y arena de río, previamente desinfectados y tamizados para obtener partículas homogéneas. Se realizó una mezcla de un 60% de cascabillo de café y 40% de arena. Esta mezcla se esparció homogéneamente en la caja (Figura No. 9).



Figura No. 9. Semillero de lechuga.

Luego de la construcción del semillero se procedió a realizar la siembra. Se utilizó un clavo para abrir agujeros lineales a una distancia de un centímetro, en forma de surcos. Se trazaron 15 surcos de 70 cm a lo ancho de cada sección de la caja, en cada surco se colocaron 70 semillas de lechuga aproximadamente 1 a 2 semillas por agujero (Figura No. 10). La profundidad de siembra fue de 0.5cm luego de depositadas las semillas se cubrieron los agujeros con el mismo material.



Figura No. 10. Semillas de lechuga, Paris Island Cos.

Después de realizada la siembra se efectuó un riego muy suave sobre el sustrato, se cubrió la caja con hojas de papel periódico para que la mezcla se mantuviera húmeda y oscura. Se procedió a regar sobre el papel periódico durante cuatro días para garantizar la germinación.

Al cuarto día de haber hecho la siembra se destapó el semillero y verificó la germinación de las semillas. Luego se retiró el papel periódico y se tapó con una malla fina para evitar insectos (Figura No. 11). Se regó el semillero durante dos veces al día y se utilizó el agua procedente de los estanques acuícolas. Siendo esta agua una solución nutritiva para el semillero.



Figura No. 11. Germinación de las plántulas en el semillero

A los 25 días de plantadas las semillas se realizó un trasplante de las lechugas a bandejas con el fin de facilitar el manejo de las mismas (Figura No. 12). A los 30 días de su germinación se trasladaron al sistema de cultivo acuapónico.



Figura No. 12. Plántulas de lechuga colocadas en bandejas

- Transplante de lechugas al sistema acuapónico

El transplante se realizó a los 25 días de la siembra, las plántulas tenían cinco hojas germinadas. Se colocaron en cubos de poli estireno o esponja de baja densidad de 2.5 cm de espesor y 3 cm por 3 cm de largo y ancho. A estos cubos se les realizó un corte vertical atravesando la esponja de arriba abajo. En estos cortes se colocaron las plantas provenientes de las bandejas, para luego ser trasladadas a los canales de cultivo (Figura No.13).



Figura No. 13. Trasplante de las lechugas a los canales de cultivo

6.3 Variables de respuesta

- Rendimiento mediante el peso de la parte aérea de las lechugas

La cosecha se realizó a los 67 días después de la siembra, en este tiempo las lechugas alcanzaron un tamaño comercial (aproximadamente de 25 cm de alto) (Figura No. 14).



Figura No. 14. Cosecha de la lechuga

Se midió la altura en centímetros y el peso en gramos de la parte aérea de las lechugas, cada dato se tomó por unidad experimental. Para tomar el peso de la parte aérea se procedió a cortar la raíz y luego se pesó la lechuga (Figura No. 15).



Figura No. 15. Determinación del peso de la parte aérea de la lechuga

- Apariencia física de la lechuga

Para determinar la apariencia física de la lechuga se procedió a realizar un análisis colorimétrico con un tintómetro “Lovibond”, el cual se realizó en el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). Esto fue realizado con el fin de conocer la calidad de las lechugas producidas por el método acuapónico. Para esta prueba se sacó una muestra de tres lechugas del mayor tamaño. El análisis se hizo a las primeras tres hojas que es donde se ve la apariencia física de la lechuga. Se introdujeron las hojas en el tintómetro y se observó la clasificación de los colores según caracteres establecidos en el tintómetro (Cuadro No. 3).

Luego se procedió a realizar la interpretación de los resultados mediante un análisis estadístico utilizando la prueba de chi-cuadrado (X^2) esta prueba es considerada como una prueba no paramétrica que mide la discrepancia entre una distribución observada y otra teórica.

$$X^2 = \sum_i \frac{(\text{observada}_i - \text{teórica}_i)^2}{\text{teórica}_i}$$

Cuadro No. 3. Caracteres establecidos en el tintómetro, medidos por intervalos de cada color.

Medidas por intervalo	Colores
0.1 - 79.9	Rojo
0.1 - 79.9	Amarillo
0.1 - 49.9	Azul
0.1 - 3.9	Neutro

Fuente: Instrumentación y Servicios Analíticos, 2007

- Análisis bromatológico de las lechugas

Se tomó una muestra al azar de 2 kg de la variedad de lechuga Paris Island Cos, para realizarle un análisis de composición química de minerales.

Los minerales analizados fueron: calcio, fósforo, potasio, magnesio, sodio y hierro. El análisis se realizó en el laboratorio de suelos llamado Analab, ubicado en la Asociación Nacional del Café (ANACAFE). Se utilizó el método de análisis por espectrofotometría de absorción atómica de llama (Anexo No.1).

Para la interpretación de los resultados se procedió a realizar un análisis estadístico utilizando la prueba de chi-cuadrado (X^2).

$$X^2 = \sum_i \frac{(\text{observada}_i - \text{teórica}_i)^2}{\text{teórica}_i}$$

- Peso de los peces

Se tomaron datos del peso promedio de los peces antes de comenzar con la investigación. El procedimiento consistió en seleccionar 30 peces de cada estanque, luego se pesó cada pez. De estos pesos se sacó un peso promedio para cada uno de los estanques.

Al finalizar la investigación se calculó el peso promedio de peces por estanque, de esta forma se analizó el incremento en peso a lo largo de la investigación.

Para el análisis de estos datos se comparó el incremento en peso obtenido en la investigación con el incremento en peso de los datos históricos de la empresa.

- Recursos materiales y humanos

1. Material y equipo

- 4 estanques acuícolas
- 17 tubos y 32 codos de PVC, con una medida de 3 pulgadas.
- Tetra test de Laborett para toma de parámetros físico-químicos del agua como el amonio, pH y oxígeno disuelto.
- Semillas de lechuga variedad Paris Island Cos.
- Alimento para Tilapia
- Cama de germinación de plántulas hecha con madera y revestida en plástico negro.
- Arena blanca
- Malla fina

- Cascabillo de café
- Tintómetro Lovibond
- Balanza analítica
- Libreta de apuntes
- Mortero
- Tarimas de madera
- Clavos
- Barreno de 2.5 cm
- Tijera
- Esponja de baja densidad de 2.5 cm de espesor
- Martillo
- Malla antivirus
- Plástico transparente
- Vigas de madera

2. Recurso humano

- Carpintero: Encargado de la construcción del invernadero.
- Administrador del beneficio: Encargado de revisar el sistema de producción y alimentar a los peces.
- Técnico acuícola: encargado de evaluar el buen funcionamiento del sistema.

VII. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1 Rendimiento en peso de la lechuga a la cosecha

Al momento de la cosecha se procedió a determinar el peso fresco de las lechugas cultivadas en el sistema de cultivo acuapónico. La cosecha se realizó a los 67 días después de la siembra, esta fue la cantidad de días que se necesitó para que las lechugas alcanzaran un tamaño comercial (25 cm de altura).

Se obtuvo una cantidad de 495 unidades de lechuga o 17 lechugas por metro cuadrado, con un peso promedio de 0.12 kilogramos por unidad. En total se obtuvo un peso de 54 kilogramos de lechuga por 28 metros cuadrados o 2 kilogramos por metro cuadrado de área de cultivo.

Según Duckworth, R. (1999), en un sistema de cultivo tradicional de la misma variedad de lechuga se obtienen 10 plantas por metro cuadrado de cultivo en cuanto a peso se obtienen aproximadamente 1 kilogramo por metro cuadrado. Estos datos son obtenidos por promedios de diversos cultivos realizados a nivel regional.

Para evaluar si existen diferencias significativas entre el rendimiento por peso fresco y por metro cuadrado del sistema acuapónico evaluado y los de un cultivo convencional, se procedió a realizar un análisis estadístico utilizando la prueba de chi-cuadrado (X^2). Para esta prueba se utilizó un nivel de significancia de 0.05 (Cuadro No. 4). Con 1 grado de libertad y $P= 3.841$

Cuadro No. 4. Evaluación de X^2 para el rendimiento en peso fresco y por m^2 de las lechugas evaluadas

Rendimiento de las lechugas	Cultivo tradicional	Cultivo acuapónico	X^2
Rendimiento en peso fresco (kg)	1	2	0.5
Rendimiento de unidades por m^2	10	17	11.11

Fuente: Trabajo de campo

En comparación con el sistema de cultivo tradicional, el sistema acuapónico produce un mayor rendimiento en cuanto a peso fresco. Con el análisis de X^2 se observó que si existe diferencia significativa ($P < 0.05$) (Cuadro No. 4).

En cuanto al rendimiento por m^2 no existe diferencia significativa entre el sistema de cultivo tradicional y el sistema acuapónico ($P > 0.05$) (Cuadro No. 4).

7.2 Apariencia física de las lechugas a la cosecha

Después de realizar el análisis colorimétrico se encontró que las lechugas presentan un alto contenido de amarillo, en comparación con el verde, esto fue debido a que el color verde natural de la lechuga es verde pálido, el cuál se obtuvo al mezclar un amarillo fuerte con un azul pálido, dando poca tonalidad de verde y alta tonalidad de amarillo. Las lechugas presentaron una mínima cantidad de color rojo (Cuadro No. 5).

Cuadro No. 5. Medidas obtenidas por color utilizando un tintómetro “Lovibond”

Medidas	Colores
0.1	Rojo
70	Amarillo
3	Azul
2	Neutro

Fuente: Trabajo de campo

El color obtenido con la variedad de lechuga cultivada con el sistema de cultivo acuapónico no difiere con las producidas por el método convencional de producción en suelo ya que las medidas son iguales (Cuadro No. 5).

7.3 Análisis bromatológico de las lechugas

Luego de realizar el análisis químico a las lechugas con el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama, se determinó que la variedad Paris Island Cos contiene la siguiente información nutricional (Cuadro No. 6):

Cuadro No. 6. Contenido nutricional de la lechuga, *Lactuca sativa L.* variedad Paris Island Cos, producida por el sistema de acuaponia

mg/ 100g					
Ca	P	K	Mg	Na	Fe
46.6	49.7	4.9	44.9	12.1	1.0

Fuente: Trabajo de campo

La comparación del contenido nutricional de esta variedad de lechuga cultivada por el método de acuaponia y el contenido nutricional de la misma variedad producida por el cultivo convencional expresado en la tabla de composición de

alimentos del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), se expresa a continuación (Cuadro No. 7).

Cuadro No. 7. Contenido nutricional de la lechuga Paris Island Cos, evaluadas en el sistema acuapónico comparado con la tabla del INCAP

Sistema acuapónico evaluado			Tabla INCAP cultivo convencional			Diferencias		
mg/ 100g			mg/ 100g			mg/ 100g		
Ca	P	Fe	Ca	P	Fe	Ca	P	Fe
46.6	49.7	1.0	16	23	0.4	+ 30.6	+ 26.7	+ 0.6

Fuente: INCAP, 1986

+ Significa que la diferencia entre la variedad cultivada en cultivo acuapónico, posee mayor contenido de nutrientes en comparación con la tabla de composición de alimentos del INCAP.

Para evaluar si existen diferencias significativas entre el contenido nutricional del sistema acuapónico investigado y la tabla del INCAP de cultivo convencional, se procedió a realizar un análisis estadístico utilizando la prueba de chi-cuadrado (X^2). Esta prueba es considerada como una prueba no paramétrica que mide la diferencia entre una distribución observada y otra teórica. Para esta prueba se utilizó un nivel de significancia de 0.05 (Cuadro No.8). Con grados de libertad= 1 y $P= 3.841$

Cuadro No. 8. Compuestos analizados y valores obtenidos para X^2

Compuesto	X^2
Ca	58.5
P	30.9
Fe	0.9

Fuente: Trabajo de campo

Con la evaluación de X^2 se observó diferencia significativa entre las concentraciones de calcio y fósforo ($P<0.05$). En cuanto a la concentración de hierro, no se observó diferencia significativa ($P>0.05$) (Cuadro No.8).

7.4 Incremento en peso de los peces

Para el análisis del incremento en peso de los peces se calculó el peso promedio de 30 peces antes de iniciar la investigación. De estos pesos se sacó un peso promedio para cada uno de los estanques, dando los siguientes resultados:

- Estanque No. 1 = 0.14 kg
- Estanque No.2 = 0.25 kg
- Estanque No. 3 = 0.45 kg

Al finalizar la investigación (después de 67 días) se volvió a calcular el peso promedio por estanque obteniendo los siguientes resultados:

- Estanque No. 1 = 0.26 kg
- Estanque No.2 = 0.37 kg
- Estanque No. 3 = 0.57 kg

Se observó un incremento en peso promedio de 0.12 kg para cada uno de los estanques.

Según los datos históricos del cultivo de tilapia, *Oreochromis niloticus* en la empresa. Se ha registrado un incremento en peso promedio de los peces de 0.67 kg anuales. Si se analiza el incremento en peso por 67 días, para comparar los datos obtenidos en la investigación con los datos históricos de la empresa se observa un incremento de 0.123 kg (Cuadro No. 9).

Cuadro No. 9. Comparación del incremento en peso promedio durante 67 días de cultivo

Datos comparados	Incremento en peso promedio (kg)
Dato histórico de la empresa	0.123
Dato obtenido en la investigación	0.120

Fuente: Trabajo de Campo

Al analizar los datos de incremento en peso promedio, se observa que hay una diferencia de 0.003 kg en los datos históricos de la empresa, en comparación con los datos obtenidos en la investigación. Esta diferencia de 0.003 kg se puede dar por muchos factores como la cantidad de alimento suministrado, temperatura del agua así como otros factores ambientales, sin embargo un aspecto importante a considerar son los datos históricos de la empresa que fueron pesos promedios anuales y se acortaron a 67 días de cultivo.

VIII. CONCLUSIONES

- Se acepta la hipótesis 1 de la presente investigación, el análisis estadístico de chi-cuadrado presentó diferencias significativas, ($P < 0.05$) el cultivo acuapónico evaluado presentó mejor rendimiento en cuanto a peso fresco por m^2 que la misma variedad de lechuga cultivada mediante el método convencional.
- Se rechaza la hipótesis 2 de la presente investigación, el análisis estadístico de chi-cuadrado presentó diferencias significativas en cuanto a la evaluación del contenido de calcio y fósforo ($P < 0.05$). Para el contenido de hierro no hubo diferencia significativa ($P > 0.05$); comparado con el contenido nutricional de las lechugas cultivadas mediante el método convencional.
- Las lechugas cultivadas por el sistema de acuaponia no presentaron diferencias significativas respecto al color y apariencia física, de las lechugas cultivadas en suelo.

IX. RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones futuras para evaluar el rendimiento de un sistema de cultivo acuapónico por cuatro ciclos de cultivo, adquiriendo datos precisos por ciclo para luego obtener un promedio.
- Obtener un análisis de costos incurridos en la producción de un sistema de cultivo acuapónico.
- Aprovechar al máximo el espacio en el sistema para lograr una mayor eficiencia y volumen de producción de lechuga.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. Barceló, C. 1980. Fisiología vegetal. España, Pirámide. 118 p.
2. Castañeda, F. 1997. Diseño y evaluación de un sistema de cultivo hidropónico para la producción de hortalizas a nivel domestico. Tesis Ing. Químico. Guatemala, USAC. 109 p.
3. Castañeda, F. 1997. Manual técnico de hidroponía popular, cultivo sin tierra. Guatemala, INCAP. 67 p.
4. Duckworth, R. 1999. Fruit and vegetables. Estados Unidos, Auburn University. 306 p.
5. Escalante, E. 2001. Acuaponia. México, Universidad Autónoma de Chapingo. 176 p.
6. INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, GT). 1986. Tabla de composición de alimentos para uso en América Latina. Guatemala, INCAP. 144 p.
7. Instrumentos y Servicios Analíticos, MX. 2007. Lovibond Tintometer Modelo F: El mayor avance en colorimetría visual (en línea). Consultado 20 sep. 2007. Disponible en <http://www.sasaleon.com.mx/productos/lovibond040.html>
8. Kramer, R. 1965. Evaluation of quality of fruits and vegetables. Washington, McGraw-Hill. 30 p.
9. Morales, A. 1991. Cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*). México, Universidad Autónoma de Chapingo. 40 p.

10. NothernAquaFarms.com, CA. 2007. Using aquaponics to produce sustainable food (en línea). Canadá, Aquaculture Farming and Fish Resources. Consultado 21 sep. 2007. Disponible en <http://www.Nothernaquafarms.com/aquaponics.html>
11. PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, NI). 1997. Hidroponía popular, cultivos sin tierra. Nicaragua, Ex Libris. 42 p.
12. Rodríguez, D; Hoyos, M; Chang, M. 2002. Manual práctico de hidroponía. Lima, PE, Universidad Agraria La Molina; Centro de Investigación de Hidroponía e Investigación Mineral. 100 p.
13. Twicc, B. 1962. Fundamentals of the quality control for the food industry. London, Norman Rodger. 512 p.

XI. ANEXO

Procedimiento para realizar el análisis por espectrofotometría de absorción atómica de llama:

1. En un crisol de porcelana pesar aproximadamente 1g de muestra.
2. Colocar la muestra en una mufla y llevar a cenizas a una temperatura de 550° C durante 16 horas aproximadamente.
3. Dejar enfriar la mufla y posteriormente secar la muestra.
4. Si la muestra después de la calcinación presentan excesiva cantidad de carbón se procederá al blanqueo de las mismas mediante el siguiente procedimiento:
 - Humedecer toda la ceniza con unas gotas de agua destilada y agregar 0.5 a 1ml de ácido nítrico concentrado.
 - Evaporar en baño maría y volver a colocar la muestra en la mufla a una temperatura de 550° C por 2 horas. Si es necesario repetir el tratamiento con ácido nítrico y la calcinación para obtener cenizas libres de carbón. Se recomienda repetir el tratamiento no más de tres veces.
5. Si las cenizas son blancas, se disuelven de la siguiente forma:
 - Agregar 5ml de ácido clorhídrico 6N al crisol que contiene la muestra de cenizas. Luego secarlo en baño maría.
 - Agregar 2ml de ácido clorhídrico 6N y mantener en baño maría por cinco minutos
 - Trasvasar la solución a un balón de 25ml utilizando agua destilada.
 - Agregar cloruro de lantano al 10% en una relación de 1:100 (0.25ml para un balón de 25ml)
 - Aforar con agua destilada
 - Leer el espectrofotómetro

Reactivos utilizados

- Agua destilada
- Ácido clorhídrico 6N
- Ácido nítrico concentrado
- Solución de cloruro de lantano

Equipo y cristalería

- Espectrofotómetro de absorción atómica equipado con aire- acetileno
- Crisoles de porcelana
- Mufla
- Balones volumétricos de 25ml
- Pipetas pasteur
- Varillas de vidrio
- Pipeta graduada de 5ml o pipeta volumétrica de 10ml
- Balanza analítica
- Termómetro

Anexo No. 1. Metodología de análisis por Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama