

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT

Evaluación productiva y económica de un sistema acuapónico semi-intensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*), lechuga (*Lactuca sativa*) y pepino (*Cucumis sativus*)



JORGE ARTURO GARCÍA PARRA

Tesis presentada para requisito parcial para la obtención del grado de:
Maestro en ciencias biológico agropecuarias en el área de ciencias pesqueras

XALISCO, NAYARIT; JULIO 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

CBAP/117/17.

Xalisco, Nayarit; 10 de julio de 2017.

ING. JOSÉ ERNESTO VILLANUEVA TREJO
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
P R E S E N T E.

Con base al oficio de fecha 07 de julio del presente, enviado por los CC. Dr. Javier Marcial de Jesús Ruíz Velazco Arce, Dr. Oscar Iram Zavala Leal, Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete y Dra. Elia Cruz Crespo, donde se indicó que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha finalizado con los demás requisitos que establece nuestra institución, se autoriza al C. Jorge Arturo García Parra, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado del Programa de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias en el Área de Ciencias Pesqueras.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Por lo Nuestro y lo Universal"

Dr. J. Diego García Paredes
Coordinador del Posgrado



C.c.p.- Expediente

Enclm

DR. J. DIEGO GARCÍA PAREDES

COORDINADOR DEL POSGRADO (CBAP)

PRESENTE

Los suscritos integrantes del Cuerpo Tutorial para asesorar la Tesis titulada: Evaluación productiva y económica de un sistema acuapónico semi-intensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*), lechuga (*Lactuca sativa*) y pepino (*Cucumis sativus*); que presenta el C. Biólogo Jorge Arturo García Parra, para obtener el Grado de Maestría en Ciencias con opción terminal en Ciencias Pesqueras, damos nuestra aprobación para que continúe con los trámites correspondientes para la obtención de su grado.

ATENTAMENTE



Dr. Javier Marcial de Jesús Ruiz Velaaco Arce

Director



Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete

Asesora



Dr. Oscar Germán Zavala Leal

Asesor



Dr. Ana Cruz Crisóstomo

Asesora

Mi familia y familiares

En especial a mi esposa e hijos, con mucho amor y cariño, agradezco el apoyo y la paciencia que me brindaron para concluir mi posgrado.

Con mucho afecto, amor y mi mayor agradecimiento dedico la presente tesis de posgrado a mis padres, quienes siempre me apoyaron.

A mi hermana de quien siempre he recibido apoyo incondicional y cariño.

A mis tíos, tías, primos y primas por su apoyo y su aliento.

A mis maestros

A quienes les dedico y agradezco con toda sinceridad sus consejos, guía y apoyo en todo momento para llevar a cabo la presente tesis

Al Dr. Javier Marcial Ruiz Velazco Arce por su apoyo incondicional, sus conocimientos brindados y su paciencia para realizar esta tesis. Así como también por el apoyo y comprensión en todos los sentidos profesionales, académicos y personales hacia mi persona, mil gracias.

Al Dr. Alfredo Hernández Llamas por el aporte de sus tan valiosos conocimientos y tiempo empleado para realizar este trabajo.

A compañeros y amigos

Les dedico la presente tesis dándoles las gracias por su apoyo, compañerismo y amistad durante estos años cursando la universidad y el posgrado.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme la oportunidad de finalizar mi posgrado, la salud brindada durante esta travesía y por darme la dicha de llegar a esta instancia.

Le agradezco ampliamente a CONACYT, por otorgarme una beca para realizar el Posgrado en Ciencias Biológicas Agropecuarias en la Universidad Autónoma de Nayarit.

Agradezco a la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera por la estancia otorgada durante el experimento realizado; también, a las personas que trabajan o estudian en esta unidad académica y que colaboraron o apoyaron la investigación Al PROMEP por el financiamiento del presente proyecto.

A la Universidad Autónoma de Nayarit, por aceptarme como estudiante y todas las oportunidades que me ha brindado al ser estudiante en esta alma mater y por permitirme ser estudiante del posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, para obtener el grado de maestro en ciencias.

Agradezco a mi comité tutorial por haberme apoyado en estos años de mi posgrado y por haberme guiado y dirigido en esta tesis; Dr. Javier Marcial de Jesús Ruiz Velazco Arce, Dr. Alfredo Hernández Llamas, Dr. Iram Zavala Leal, Dra. Cecilia Rocio Juárez Rosete y Dra. Elia Cruz Crespo.

Muchas gracias

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
RESUMEN.....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	12
II. ANTECEDENTES.....	14
III. OBJETIVOS.....	19
3.1 Objetivo general.....	19
3.2 Objetivos específicos.....	19
IV. HIPÓTESIS.....	20
V. MATERIALES Y METODOS.....	21
5.1 Ubicación.....	21
5.2 Sistema acuapónico.....	21
5.2.1 Componente acuicola.....	22
5.2.2 Componente biofiltración.....	22
5.2.3 Componente hidropónico.....	22
5.3 Sistema hidropónico.....	23
5.4 Desempeño productivo de los sistemas.....	23
5.4.1 Sistema acuapónico.....	23
5.4.2 Sistema Hidropónico.....	25
5.5 Flujo de nutrientes de ambos sistemas.....	25
5.6 Análisis económico.....	26
5.7 Análisis estadístico.....	28
VI. RESULTADOS.....	29
6.1 Producción de peces.....	29
6.2 Variables ambientales.....	30
6.3 Concentración de la calidad del agua.....	30
.....	31
6.4 Concentración de iones de nutrientes.....	32
6.5 Producción de plantas.....	35

6.5.1 Variables de producción de plantas de lechuga	35
6.5.2 Variables de producción de plantas de pepino	36
6.5.3 Rendimiento productivo de las plantas.....	38
6.6 Análisis económico.....	39
VII. DISCUSIONES	41
7.1 Producción de peces.....	41
IX. CONCLUSIONES	50
X. LITERATURA CITADA.....	51

ÍNDICE DE CUADROS

No. Cuadro	Descripción	Página
1.	Costos fijos y variables de los sistemas hidropónicos y acuapónico.....	27
2.	Costos totales de producción de los sistemas hidropónicos y acuapónicos.....	28
3.	Valores promedios de los parámetros de crecimiento del cultivo de peces.....	29
4.	Correlación de las variables de calidad del agua con las variables de crecimiento de los peces.....	29
5.	Valores promedio de las variables de la calidad del agua \pm SE oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura y pH de los sistemas hidropónicos (H) y acuapónicos (A) de ambas temporadas.....	30
6.	Análisis de varianza de los variables de la calidad del agua.....	31
7.	Valores promedio de concentración \pm SE de los iones amonio, fosfatos, nitritos y nitratos de los sistemas hidropónicos (H) y acuapónicos (A) de ambas temporadas.....	32
8.	Correlación de las variables de calidad del agua con las de crecimiento de los Análisis de varianza de los iones nutrientes del agua.....	33
9.	Valores promedio de las variables \pm SE de producción de las plantas de lechuga de los sistemas hidropónicos (H) y acuapónicos (A) de ambas temporadas.....	35
10.	Análisis de varianza de las variables de crecimiento de lechugas.....	36
11.	Valores promedio de las variables \pm SE de producción de las plantas de pepino de los sistemas hidropónicos (H) y acuapónicos (A) de ambas temporadas.....	37
12.	Análisis de Varianza de las variables de crecimiento de las plantas de pepino.....	37
13.	Rendimientos económicos de los sistemas productivos hidroponía y acuaponía.....	40
14.	Indicadores económicos de los temas de producción.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

No. Figura	Descripción	Página
1.	Concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L^{-1}) en el agua entre sistemas y temporadas.....	31
2.	Concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L^{-1}) en el agua entre sistemas y temporadas	32
3.	Concentración del ion fosfato (PO_4^{3-}) entre sistema y temporadas.....	34
4.	Longitud (cm) del tallo en plantas de pepino en la etapa experimental dos.....	34
5.	Concentración del ion Nitrato (NO_3^-) entre sistema y temporadas.....	35
6.	Concentración del ion Nitrito (NO_2^-) entre sistema y temporadas.....	38
7.	Rendimiento productivo de plantas de lechuga por ha^{-1} de los sistemas hidropónicos y acuapónicos entre ambos ciclos de producción.....	39

RESUMEN

En la presente investigación se determinó el desempeño productivo y económico de un sistema acuapónico semi-intensivo de Tilapia (*Oreochromis niloticus*)- Lechuga (*Lactuca sativa*) - Pepino (*Cucumis sativus*) de recirculación continua y de un sistema hidropónico de Lechuga - Pepino, se compararon ambos sistemas en términos de la producción y rentabilidad. Se determinó la concentración expresada en mg L^{-1} de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), amonio (NH_4^+) y fosfatos (PO_4^-) en ambos sistemas. El experimento se desarrolló en las instalaciones de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera de la Universidad Autónoma de Nayarit. El sistema acuapónico tuvo un ciclo de cultivo de tilapia de cinco meses, manejando una densidad de siembra de 30 peces m^{-3} con un peso inicial promedio de 78.1 g. El componente hidropónico consistió de un sistema NFT con una densidad de cuatro plantas m^{-2} de pepino y seis plantas m^{-2} de lechuga, realizando dos ciclos de producción para ambas plantas. El primer ciclo fue de septiembre–octubre en la temporada verano-otoño y el segundo ciclo de diciembre–enero de la temporada otoño-invierno. Las variables evaluadas fueron el crecimiento en peso y talla para el cultivo de los peces, así como la biomasa producida. En las plantas de lechuga las variables evaluadas fueron: el número de hojas, altura (cm) y peso foliar (g), mientras que a las plantas de pepino se determinó la longitud del tallo (cm) y el peso fresco (g), y para los frutos, la longitud (cm), peso fresco (g) y diámetro. En el sistema hidropónico se evaluaron las mismas variables que el componente hidropónico del sistema acuapónico, y en ambos sistemas se realizó un análisis económico del rendimiento productivo escalado a una hectárea, determinando el indicador beneficio-coste y las utilidades, las cuales se compararon para determinar cuál sistema presentó un mejor rendimiento económico. Como resultado se obtuvo en el sistema acuapónico una producción de 21.33 kg m^{-3} de peces, 8.7 piezas de lechuga m^{-2} y 0.01 kg m^{-2} de pepino. En el sistema hidropónico obtuvo una producción de 9.4 piezas de lechuga m^{-2} y 1.10 kg m^{-2} . Se obtuvo un beneficio-coste de 1.36 el sistema acuapónico y 1.34 el sistema hidropónico, con utilidades de \$88,536.00

pesos MXN el sistema de hidroponia y \$225,155.00 el sistema de acuaponia, por lo que se concluye que el sistema acuapónico tuvo un mejor rendimiento económico, debido a la utilización de tres productos distintos (tilapia-lechuga-pepino) en comparación con los dos productos empleados en el sistema hidropónico (pepino-lechuga).

I. INTRODUCCIÓN

La acuaponía es la interacción del cultivo de peces y plantas en un mismo sistema, en donde se genera un beneficio mutuo (Ramírez *et al.*, 2008), presenta varias ventajas sobre los sistemas convencionales acuícolas y agrícolas para la producción de alimentos, como la reducción de la cantidad de nitrógeno en las descargas de agua (Diver, 2006), reducción de hasta un 90% en los requerimientos de agua para un cultivo normal de peces (Al-Hafedh *et al.*, 2008), reduce los costos de operación y aumenta los rendimientos económicos (Mateus, 2009), produce vegetales en una menor extensión de tierra dando un valor agregado al ser considerados como productos orgánicos, elimina el uso de químicos y ahorro de fertilizantes (Scott, 2002), ya que el agua de un sistema de producción de peces proporciona el 80% de los 17 elementos que éstas necesitan (Rakocy, 1999; Masser, 2002; Lennard y Leonard, 2006).

Los sistemas acuapónicos se caracterizan por ser sistemas de recirculación en ambientes protegidos, generalmente combinando dos especies (peces-plantas) (Aguilera-Morales *et al.*, 2012). El principio básico radica en el aprovechamiento de la energía del sistema (García-Ulloa *et al.*, 2005), ya que solo una fracción del alimento es aprovechado por los peces (Church y Pond, 1982), mientras que el resto (excreción, alimento no consumido y diluido) se reutiliza como nutriente para las plantas (Rakocy, 1989 y Nelson 2008). El componente extra formado por bacterias nitrificantes realiza dos funciones importantes: degrada los compuestos nitrogenados en su forma tóxica para los peces (amonio (NH_4^+) y nitritos (NO_2^-)) y provee de nutrientes a las plantas (Rakocy *et al.*, 2004a; Aguilera-Morales *et al.*, 2012).

Existen diferentes tipos de sistemas acuapónicos en la actualidad, los sistemas de camas flotantes con sustrato (Rossta y Mohsenian, 2011) y los sistemas de película de nutrientes (NFT), los cuales requieren de un menor volumen de agua, espacio, y facilitan el manejo de las especies de plantas a diferencia de los sistemas de cama (Gilsanz, 2007; Lennard y Leonard, 2006).

Adler *et al.* (2000), Rakocy *et al.* (2004b) y Goodman, (2005) refieren que se genera un mayor rendimiento económico al conjuntar un sistema hidropónico con un sistema piscícola. Asimismo, genera efectos positivos en la calidad del agua, presentando así una alternativa viable que se puede integrar a los sistemas de circulación cerrados en la acuicultura; también como alternativa viable para la reducción de costos y, para la diversificación productiva de las unidades de acuicultura. Sin embargo, la acuaponía aún requiere de una mayor investigación para establecer procedimientos más asequibles a los pequeños productores acuícolas (Mateus, 2009).

Por lo antes expuesto, la presente investigación favorece el desarrollo tecnológico y permite conocer y determinar una forma de producción agro-acuícola en un sistema NFT empleando un policultivo de tilapia-pepino-lechuga comparándolo con un sistema hidropónico. Lo anterior permite generar conocimiento para los productores tanto agrícolas como acuícolas, el cual les muestra una forma de mejorar su producción y sus rendimientos económicos.

II. ANTECEDENTES

En las últimas décadas, se han observado avances importantes en el diseño y manejo de los sistemas cerrados de recirculación de agua utilizados en la acuicultura, debido a la demanda por proteínas de origen animal y el grado de conciencia sobre lo frágil y limitado de los recursos acuáticos en el mundo. Desde hace cuatro décadas comenzaron a desarrollarse diversas investigaciones sobre los cultivos acuapónicos al respecto, Lewis *et al.* (1978) demostraron que los desechos metabólicos que los peces generaban podían ser utilizados para el cultivo de plantas, en forma hidropónica. Zweig (1986) desarrolló un sistema flotante en un invernadero donde seis grupos de lechuga de diferentes etapas de crecimiento fueron cultivados. Sanders y McMurtry (1988), fueron los pioneros en experimentar con la recirculación del efluente proveniente de un tanque de tilapia que se dirigía a camas rellenas de arena, las cuales contenían jitomate y pepino que actuaban como filtro, además el único "fertilizante" que se añadía era el alimento de tilapias con 32% de proteína. Sin embargo, no fue sino hasta la década de los 80 que se empezaron a obtener datos concretos aplicables a producciones comerciales (Rakocy, 1989).

Durham (1992) menciona que Speraneo a finales de la década de los 90 modificó el método de McMurtry y Sanders construyendo camas de hidroponía con grava de río dentro de un invernadero, posteriormente lo dimensionó a una talla comercial llamando "nodo" al conjunto de estanque y camas. Fertilizó con alimento que contenía 40% de proteína y cosechó tilapias entre los 7 y 12 meses con un peso de 680 Kg.

Posteriormente se han realizado investigaciones que han ayudado a mejorar las técnicas de producción enfatizando en mejorar los rendimientos productivos y determinando variables y factores que se deben contemplar.

García-Ulloa *et al.* (2005), evaluaron la concentración de compuestos nitrogenados en un sistema experimental de acuaponía utilizando tilapia (*Oreochromis mossambicus*) y pepino (*Cucumis sativus*), durante 75 días con una

densidad de 0.6 peces por litro con un peso de 90 g, en un total de 500 L y se sembraron 2 camas de pepino empleando arena estéril, en donde se plantaron 20 plantas por cama, al final del cultivo se obtuvo como resultado un incremento de 25 g por pez y una obtención de 5 kg de pepino en total con un 100% de supervivencia, mencionando que 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.

Al- Hafed *et al.* (2008) emplearon un sistema acuapónico empleando las especies tilapia (*O. niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) utilizando como biofiltro el componente hidropónico para mantener la calidad del agua en niveles óptimos para los peces produciendo, 33 kg de peces m^{-3} y 42 plantas m^{-2} .

Graber y Junge, (2009) evaluaron el potencial de tres especies de plantas para reciclar los nutrientes de un sistema acuapónico usando como testigo un sistema hidropónico, las especies utilizadas fueron berenjena (*Solanum melongena*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y pepino (*Cucumis sativus*), donde determinaron que el tomate es la planta con mayor absorción de nutrientes y genera una mejor calidad del agua para el cultivo de los peces.

Hidalgo-Vilchez y Garcia-Seminario (2009) evaluaron el comportamiento morfo-productivo de tres variedades de lechuga (Dark Green Boston, White Boston y Americana), cultivadas en condiciones hidropónicas. Los resultados indicaron que la variedad Americana destacó sobre las variedades Dark Green Boston y White Boston en los diferentes parámetros morfoproductivos evaluados, cosechándose productos de excelente calidad, uniformidad y sobre todo sanidad, el rendimiento obtenido en peso fresco de la parte comestible fue de 9.38 Kg m^{-2} ; 4.50 Kg m^{-2} ; y 4.00 Kg m^{-2} , respectivamente.

Aparicio *et al.* (2009) evaluaron el efecto del pH sobre las características morfológicas y productivas de lechuga variedad Crufia, evaluando 5 niveles de pH: 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0. Las plántulas crecieron en el sistema hidropónico de raíz flotante, las plántulas crecieron a temperaturas que fluctuaban entre 25 - 30 °C y 70-80% HR. Los parámetros evaluados fueron: altura, número de hojas, peso

fresco y seco, radicular y rendimiento, obteniendo 4.125 Kg m⁻² de lechuga con un pH de 6.5, lo cual mencionan está relacionado con una efectiva asimilación de los elementos minerales por las raíces de las plantas.

Rubio (2012) evaluó la producción semi-intensiva de tilapia (*O. niloticus*) y lechuga acropolis (*Lactuca sativa*) en dos sistemas acuapónicos, uno con biofiltración (SCB), y otro con recambio de agua (SRA). El tiempo de cultivo para la tilapia y lechuga fue de 160 y 30 días, respectivamente. La tilapia registró el mayor crecimiento promedio (364.64±43.16 g) en el SCB, la lechuga creció mejor en el SRA (11.74±1.63 g). Observó diferencias significativas con el control 100% tierra (P<0.05). Las concentraciones más altas de nitritos, amonio y fosfatos menciona fueron obtenidas en el SCB, mientras que la mayor concentración de nitratos fue observado en el SRA (P<0.05).

Martínez-Gutiérrez *et al.* (2012) evaluó la incorporación de oxígeno en un sistema hidropónico recirculante por dos métodos pasivos: aumentar la pendiente del contenedor y agregar saltos hidráulicos en cultivos de tomate (*Lycopersicon esculentum L.*) y lechuga (*Lactuca sativa L.*). Para lo cual empleó contenedores de 24 m de longitud con 2% y 4% de pendiente y de cero a tres caídas como saltos hidráulicos de la solución nutritiva. Determinó el oxígeno disuelto en cada salto hidráulico a la entrada y salida del contenedor. En ambos cultivos midió el peso fresco de la planta y de la raíz, peso seco y volumen de la raíz. En el tomate se determinó el peso de los frutos por planta. En lechuga el máximo peso fresco de la planta se obtuvo en contenedores con 4% de pendiente y tres saltos hidráulicos. En tomate, el peso de frutos fue mayor en contenedores con 2% de pendiente y tres saltos hidráulicos, o con 4% de pendiente y dos saltos hidráulicos, como conclusión nos dice que a mayor tasa de oxigenación mayor producción se obtiene.

Campos-Pulido (2013) evaluó el crecimiento de siete tipos de vegetales herbáceos (epazote, empleando un sistema acuapónico con tilapia (*Oreochromis niloticus* X *O. aureus*) comparándolo contra un sistema tradicional en suelo, en donde las plantas de epazote en acuaponía presentaron una altura máxima de 19

cm mientras que en el suelo alcanzaron los 80 cm, el orégano orejón alcanzó los 20 cm en acuaponía y en suelo 120 cm, el Vaporub en acuaponía presentó 35 cm de altura y en suelo 70 cm, el rendimiento de hierbabuena fue estadísticamente igual en ambos sistemas, con 26 cm en acuaponía y 27 en suelo, por su parte el perejil obtuvo una altura de 34 cm en suelo mientras que en acuaponía de 1 cm, el chile serrano presentó una altura de 10 cm en acuaponía mientras que en el suelo fue de 76 cm y por último el chile de ornato alcanzó los 0 cm en acuaponía y en el suelo de 23 cm. Por su parte la producción de tilapia fue de 3.3 kg m⁻³ obteniendo una sobrevivencia del 91% con un factor de conversión alimenticia (FCA) de 1.27.

Por otro lado se han realizado diversas investigaciones referidas al potencial económico que puede llegar a tener los sistemas acuapónicos:

Adler *et al.* (2000) describieron la relación económica entre un sistema de recirculación para la producción de 22 600 kg de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y una unidad de sistema hidropónico, para el cultivo de lechuga y albahaca. Esta unidad hidropónica era capaz de reducir la concentración de los niveles de fósforo en los efluentes de la piscigranja a menos de 0.1 mg L⁻¹. Se determinó que la integración de los sistemas de producción de peces y plantas, genera ahorros económicos. Asimismo, el análisis de inversión demostró la rentabilidad del sistema combinado para un periodo de vida útil de 20 años. La tasa interna de retorno (TIR), para una inversión de \$244,720, fue de 12.5%.

Rakocy *et al.* (2004b) realizaron un experimento en un sistema acuapónico de escala comercial (0.05 ha) ubicado en el trópico. La producción proyectada anual de tilapia fue de 4.37 t; mientras que la producción de albahaca fue de 2.0, 1.8 y 0.6 kg m⁻² usando los sistemas de producción en lotes, escalonadas y, en campo, respectivamente. La producción anual proyectada del sistema fue de 5.0 t de albahaca con la producción escalonada. Los síntomas de la deficiencia de nutrientes solo aparecieron en el cultivo de albahaca en lotes completos.

Rakocy *et al.* (2004a) menciona que se han realizado pruebas con tilapia del Nilo (77 peces m⁻³) y roja (154 peces m⁻³) y con cosechas cada 6 semanas, las

producciones promedio de las últimas 20 cosechas fueron de 61.5 kg m⁻³ para tilapia del Nilo y 70.7 kg m⁻³ para tilapia roja. El peso promedio fue de 813.8 g para tilapia del Nilo y 512.5 g para tilapia roja. La producción anual estimada es de 4.16 t para tilapia del Nilo y 4.78 t para tilapia roja.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar el desempeño productivo y económico de un sistema productivo (acuapónico) en un ambiente protegido utilizando "Tilapia – Lechuga - Pepino" comparado con un sistema hidropónico.

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar el desempeño de la producción del sistema acuapónico
- Evaluar el desempeño de la producción del sistema hidropónico
- Determinar concentración de nutrientes de ambos sistemas
- Comparar en términos de la producción y de los beneficios económicos ambos sistemas de producción.

IV. HIPÓTESIS

Dado que el cultivo hidropónico funciona con soluciones nutritivas ideales para el desarrollo de las plantas (lechugas y pepinos), se espera que en términos de producción sea más eficiente que el sistema acuapónico. No obstante, se espera que en términos económicos el sistema acuapónico tenga mayores beneficios económicos debido a la combinación de los productos cultivados (peces y plantas).

V. MATERIALES Y METODOS

5.1 Ubicación

La ubicación del sistema experimental fue en la Unidad Académica Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera de la Universidad Autónoma de Nayarit, en el municipio de San Blas, Nayarit. En el municipio de San Blas el clima predominante es cálido húmedo, presenta una temperatura promedio anual de 25.6 °C con temperaturas máximas de 35 °C y mínimas de 18 °C, una humedad relativa promedio anual de 89% (INIFAP, 2014).

La presente investigación fue desarrollada durante los meses de septiembre de 2014 a enero de 2015. En donde se realizaron dos ciclos de cultivo de plantas de lechuga y pepino (temporada verano-otoño (septiembre – octubre de 2014) y temporada otoño-invierno (diciembre 2014 – enero 2015) y el ciclo de cultivo de peces (septiembre de 2014 a enero de 2015). Se compararon los rendimientos productivos entre los sistemas encada temporada y entre ambas temporadas de cultivo de las plantas.

El diseño experimental utilizado fue un diseño factorial completamente al azar 2x2, contemplando tres réplicas de un sistema acuapónico y tres de un sistema hidropónico. Los sistemas estuvieron protegidos por un invernadero evitando así plagas y protegiendo los sistemas del medio ambiente. Las especies utilizadas fueron: tilapia (*Oreochromis niloticus*) variedad Spring, lechuga (*Lactuca sativa*) variedad parrislandy pepino (*Cucumissativus*) variedad carolina.

5.2 Sistema acuapónico

Cada réplica del sistema acuapónico se conformó por tres componentes: el acuicola, de biofiltración y el hidropónico. Todos estos conectados entre si a

través de tubos de PVC de dos pulgadas con un sistema de recirculación de agua mediante bombas eléctricas.

5.2.1 Componente acuicola

Fue constituido por un tanque de plástico de polietileno de alta densidad de 1000 L de capacidad.

5.2.2 Componente biofiltración

Este componente fue integrado por un sedimentador y un biofiltro, ambos con una capacidad de 100 L cada uno. La función de éste fue remover los sólidos del agua mediante un sedimentador, posteriormente, el flujo de agua saliente llegaba al biofiltro que mediante la acción de bacterias del género *Nitrobacter* y *Nitrosomonas* transformaron los desechos nitrogenados de los peces en compuestos nitrogenados asimilables por las plantas, utilizando la biotecnología TBN la cual favorece un mejor balance de NH_4^+ : NO_2^- : NO_3^- (Quillere *et al.*, 1995).

5.2.3 Componente hidropónico

Se empleó un sistema NFT, complejo y eficaz en la producción a gran escala. Éste es un sistema eficiente el cual no requiere un sustrato y se utiliza una menor cantidad de agua y fertilizantes en comparación con otros.

El componente hidropónico fue conformado por 6 tubos de PVC de 4 pulgadas de diámetro y 3 metros de largo, con una capacidad de 10 plantas por canaleta, espaciadas 30 cm entre cada planta, provistos de aireación suministrada a través de mangueras de silicón, para lo cual se utilizó un blower de 1 Hp.

5.3 Sistema hidropónico

Este sistema funcionó de la misma manera que el componente hidropónico del sistema acuapónico, con la única diferencia que se adicionó en el agua la solución nutritiva de Steiner a una concentración del 50% en las primeras dos semanas y el tiempo restante del ciclo a un 75%.

El sistema hidropónico, tuvo las mismas características técnicas que el sistema acuapónico, el mismo volumen de agua y canaletas, con la única diferencia de la ausencia de peces.

5.4 Evaluación del desempeño productivo de los sistemas

5.4.1 Sistema acuapónico.

5.4.1.1 Componente acuícola

Para el componente acuapónico se utilizaron peces del laboratorio Genetilapia de Mazatlán, Sinaloa, los cuales fueron previamente masculinizados, utilizando una densidad de siembra de 30 peces m^{-3} con un peso inicial de 78.1 g. Donde se determinó el crecimiento en talla (cm) y peso (g), la biomasa ($kg\ m^{-3}$) y la supervivencia de los organismos semanalmente. Los peces fueron alimentados con alimento balanceado (35% y 30% de proteína de acuerdo a la etapa de crecimiento) y la cantidad se determinó de acuerdo a las tablas de tasas de alimentación de las empresas productoras de alimento. La talla del pez se determinó utilizando un vernier, el peso fue cuantificado haciendo uso de una balanza digital Velab modelo VE-5000 precisión = 0.01 g y la tasa de crecimiento (T_c) se determinó con la ecuación:

$$T_c = (w_f - w_i)/t_f \quad (1)$$

Donde: w_f es el peso final de los organismos, w_i es el peso inicial de los organismos y t_f es el tiempo final del cultivo.

Para determinar la biomasa final (b_f) se utilizó la ecuación:

$$b_f = w_f n_f \quad (2)$$

Donde: w_f es el peso final de los organismos y n_f es el número de organismos sobrevivientes al final del cultivo.

Para el cálculo de n_f se utilizó la ecuación:

$$n_f = n_0 e^{rt} \quad (3)$$

Donde n_0 es el número de individuos al momento de la siembra y n_f es el número de individuos sobrevivientes al finalizar el cultivo y t es el tiempo final.

Para evaluar el efecto del desarrollo de los peces sobre el crecimiento de las dos variedades de plantas (lechuga y pepino) del módulo hidropónico, se estableció una fecha de cosecha de las plantas que fue a los 35 días para las lechugas y 49 días para las plantas de pepino a partir del trasplante de las plántulas al subsistema hidropónico.

5.4.1.2 Componente Hidropónico

Antes de colocar las plantas, primeramente se sembraron semillas de lechuga y pepino en contenedores de poliestireno expandido con una capacidad de 200 cavidades empleando peat moss y vermiculita como sustratos. Las plántulas fueron regadas a diario hasta que éstas alcanzaron un tamaño óptimo para ser trasplantadas (presentado dos hojas verdaderas). Posteriormente se realizó el trasplante del almácigo al subsistema hidropónico (colocación en los tubos de PVC), utilizando vasos de plástico de cinco cm de diámetro, los cuales fueron perforados en la parte inferior por donde salían las raíces y la plántula fue fijada utilizando guata como sustrato.

Las plántulas se colocaron cada 30 cm en los tubos de PVC, a los cuales se les realizó una perforación de un diámetro de cinco cm cada 30 cm en la parte superior, donde se colocaron los vasos de plástico con las plántulas. Para las

plantas de lechuga se utilizaron 36 orificios en el componente (tubos de PCV) y 24 para pepinos. Para las plantas de lechuga, se determinó el número de hojas y longitud de la planta mediante un muestreo al azar del 30% de la población de cada sistema de cultivo semanalmente, utilizando un vernier para medir las plantas de lechuga, también se determinó el peso total de las plantas (biomasa peso fresco g) al cosechar, se calculó el rendimiento en gramos por pieza, y se determinó la supervivencia semanalmente para ambas especies de plantas. Al cosechar las plantas de pepino se empleó un flexómetro para medir la longitud del tallo, sin embargo, también a los respectivos frutos que generaron las plantas de pepino, se pesaron, se midieron a lo largo y el grosor y se realizó un registro para cada planta del total de frutos, con lo que se obtuvo el rendimiento productivo (kg m^{-2}) de frutos. En el sistema, cada semana se determinó la concentración de los iones: (amonio (NH_4^+), fosfato (PO_4^-), nitrato (NO_3^-) y nitrito (NO_2^-)) expresada en mg L^{-1} .

5.4.2 Sistema Hidropónico.

En este sistema se determinaron los mismos parámetros para las plantas que en el componente hidropónico del sistema acuapónico.

5.5 Flujo de nutrientes de ambos sistemas

Para analizar el flujo de nutrientes, se determinó semanalmente la concentración de los iones en el agua tal como: nitratos (NO_3^-) mg L^{-1}), nitritos (NO_2^-), amonio (NH_4^+) y fosfatos (PO_4^-) expresados en mg L^{-1} utilizando la técnica de espectrofotometría mediante un lector de microplacas BioTek modelo Synergy HTX de acuerdo a la metodología señalada en Strickland y Parsons (1972).

Adicionalmente se determinó para ambos sistemas, la temperatura del agua con un termómetro, el pH utilizando un potenciómetro, los niveles de oxígeno disuelto en el agua con un medidor de oxígeno YSI55 y la conductividad eléctrica

del agua con un medidor Hanna HI 98130. Los parámetros se tomaron diariamente tres veces al día (6:00 am – 12:00 pm – 6:00 pm) en tres puntos de cada componente (Tanque de 1000 L, biofiltro y en la salida de agua de las canaletas).

5.6 Análisis económico

Este experimento se realizó en un área de 9.25 m² por sistema, la producción fue calculada y simulada para escenarios productivos de una hectárea, empleando un periodo de simulación para la producción de tilapia de un ciclo de 6 meses y dos ciclos de plantas (lechuga y pepino) de 35 días cada uno.

Se determinó la utilidad (U) y la relación beneficio-costos (B/C) con fines comerciales (Parkin, 2006).

La utilidad se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$U = I - C \quad (4)$$

Donde I son los ingresos totales y C son los costos de producción del cultivo.

La relación beneficio-costos se obtuvo por la ecuación:

$$B/C = I / C \quad (5)$$

A su vez, los ingresos se calcularon de acuerdo a la ecuación:

$$I = b p \quad (6)$$

Donde b es la biomasa de las especies cultivadas y p es el precio comercial.

Los costos de producción dependen de los costos fijos (C_f) y los costos variables (C_v) (Cuadro 1 y 2) y se calcularon mediante la ecuación:

$$C = C_f + C_v \quad (7)$$

Cuadro 1. Costos fijos y variables de los sistemas hidropónicos y acuapónico.

Conceptos	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
<u>Costos fijos sistema acuapónico</u>			
Energía eléctrica (Kwh ⁻¹)			80,145.59
Oficina			6,000.00
Personal			50,000.00
<u>Costos Variables sistema acuapónico</u>			
Gasolina (L)	1,650	12.50	20,625.00
<u>Costos variables producción de tilapia</u>			
Crias (Individuos)	24,990	0.80	19,992.00
Alimento (kg) balanceado	25,823	11.50	304,711.00
Cosecha (kg)	17,770.67	2	35,541.34
<u>Costos variables Producción de plantas</u>			
Sustrato de siembra pet moss (kg)	861	19.80	17,047.00
Semillas de lechuga (paquetes)	30	14.00	420.00
Semillas de pepino (paquetes)	572	14.00	8,008.00
Material de siembra (Por sistema)	833	44.93	74,858.93
<u>Costos fijos sistema hidroponia</u>			
Energía eléctrica (Kwh ⁻¹)			43,732.50
Oficina			6,000.00
Personal (personas)			50,000.00
<u>Costos variables sistema hidroponia</u>			
Sustrato de siembra peet moss (kg)	861	19.80	17,047.00
Semillas de lechuga (paquetes)	30	14.00	420.00
Semillas de pepino (paquetes)	572	14.00	8,008.00
Gasolina (L)	1,650	12.50	20,625.00
Fertilizantes (Kg)	3648	11.13	40,577.13
Material de siembra (Por sistema)	833	44.93	74,858.93

Cuadro 2. Costos totales de producción de los sistemas hidropónicos y acuapónicos.

Costos totales de producción por sistema de cultivo	Costo (\$)
Sistema acuapónico	
Costos fijos	136,145.59
Costos variables	481,203.27
Total de egresos	617,348.86
Sistema hidropónico	
Costos fijos	99,732.50
Costos variables	161,536.06
Total de egresos	\$261,268.43

5.7 Análisis estadístico

Se elaboró una base de datos utilizando el software Office Excel 2010, donde se capturaron todos los datos de los registros de las variables del agua, ambientales y las biometrias realizadas tanto a peces y plantas.

Se aplicaron pruebas de normalidad y homogeneidad a los datos obtenidos para determinar el análisis estadístico a utilizar. De acuerdo a los resultados de las pruebas mencionadas anteriormente se determinó emplear un método paramétrico (ANDEVA) de dos vías a un nivel de significación de 0.05, para comparar el desempeño productivo con todas las variables implicadas entre los dos sistemas (acuapónico e hidropónico) en cada temporada de cultivo y entre ambas temporadas de cultivo, en donde se encontraron diferencias estadísticas, se utilizó la prueba de Tukey HLS con un nivel de significación de 0.05. Se realizaron correlaciones entre los parámetros de crecimiento de los peces y de las plantas con las variables de calidad del agua y nutrientes de acuerdo a lo establecido por Zar (2010).

VI. RESULTADOS

6.1 Producción de peces

Se obtuvo una producción de 21.33 kg m⁻³ de peces (Cuadro 3), teniendo una mortalidad de 0.66% en la primer temporada del cultivo de plantas, aumentando a un 2.36% durante la segunda temporada de producción de plantas. En el análisis de correlación se determinó una correlación positiva entre las variables peso y la variable oxígeno disuelto, considerando un mayor peso en relación al incremento de la concentración del oxígeno disuelto (Cuadro 4).

Cuadro 3. Valores promedios de los parámetros de crecimiento del cultivo de peces

Temporada	Verano – Otoño	Otoño – Invierno
Supervivencia (%)	99.44 ±1.26	97.08±2.46
Peso inicial (g)	78.1±7.17	505.5±99.04
Peso final (g)	285.53±64.91	736.00±161.70
Ganancia diaria de peso (g día ⁻¹)	4.23±1.97	4.70±5.02
Peso ganado final (g)	207.53±64.90	271.71±132.00
Talla inicial (cm)	16.29 ±1.27	28.61 ±2.40
Talla final (cm)	23.75±1.55	32.15 ±2.26
Ganancia talla semanal (cm)	1.06 ±0.41	0.50 ±0.62
Factor de condición (%) inicial	1.80	2.15
Factor de condición (%) final	2.13	2.21

Cuadro 4. Correlación de las variables de calidad del agua con las variables de crecimiento de los peces.

Variable	OD (mg L ⁻¹)
Peso (g) final	0.9979

6.2 Variables ambientales

Durante la primer temporada (verano-otoño (V-O)) del cultivo de plantas la temperatura media ambiental registrada fue de $29.61\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.31$ y el porcentaje de humedad relativa de $69.61\% \pm 3.35$ y en la segunda temporada (otoño-invierno (O-I)) la temperatura media ambiental registrada fue de $21.93\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.60$ y el porcentaje de humedad relativo de $74.42\% \pm 0.64$ dentro del invernadero.

6.3 Concentración de la calidad del agua

Los valores promedio de las variables de la calidad del agua obtenidas en este experimento se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Valores promedio de las variables de la calidad del agua \pm SE oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura y pH de los sistemas hidropónicos (H) y acuapónicos (A) de ambas temporadas.

Temporada / Sistema	OD (mg L ⁻¹)	Conductividad (ms cm ⁻¹)	Temperatura (° C)	pH
Temporada V-O: Hidroponía	5.99 \pm 0.55	1.42 \pm 0.40	30.21 \pm 0.24	8.09 \pm 0.01
Temporada V-O: Acuaponía	5.07 \pm 0.10	0.59 \pm 0.01	30.25 \pm 0.18	8.10 \pm 0.02
Temporada O-I: Hidroponía	7.19 \pm 0.11	1.91 \pm 0.37	24.90 \pm 0.41	8.64 \pm 0.06
Temporada O-I: Acuaponía	4.75 \pm 0.08	0.66 \pm 0.03	25.20 \pm 0.37	8.40 \pm 0.01

Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el oxígeno disuelto entre sistemas con una interacción significativa entre temporadas y sistemas (Cuadro 6), mostrando una tendencia ligeramente negativa conforme a la temporada en el sistema acuapónico (Figura 1), la conductividad eléctrica y temperatura no presentaron una interacción significativa ($P > 0.05$) entre las temporadas y sistemas, sin embargo existió una diferencia significativa ($P < 0.05$) en la conductividad eléctrica entre sistemas y una diferencia en la temperatura entre temporadas (Cuadro 6). El pH presentó diferencias estadísticas significativas tanto entre temporadas como entre sistemas, mostrando una interacción

significativa (Cuadro 6) y se observó una tendencia a incrementarse en ambos sistemas entre temporadas (Figura 2).

Cuadro 6. Análisis de varianza de los variables de la calidad del agua

Factor	OD (mg L ⁻¹)	Conductividad (ms cm ⁻¹)	Temperatura (° C)	pH
Temporada				
Temporada V-O	5.53±0.32	1.01±0.25	30.23±0.13 a	8.09±0.01
Temporada O-I	5.97±0.55	1.29±0.27	25.05±0.25 b	8.52±0.06
Sistema				
Hidroponia	6.59±0.36	1.66±0.21	27.56±1.20	8.36±0.12
Acuaponia	4.91±0.09	0.63±0.02	27.72±1.14	8.25±0.06
Anova dos vías (p-valor)				
Temporada	0.171003	0.207842	0.000000	0.000002
Sistema	0.000419	0.000975	0.617127	0.011837
Temporada x Sistema	0.031498	0.333506	0.695675	0.007509

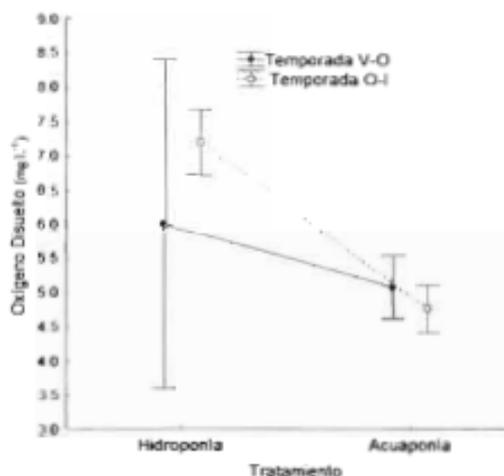


Figura 1. Concentraciones de oxígeno disuelto (mg L⁻¹) en el agua entre sistemas y temporadas.

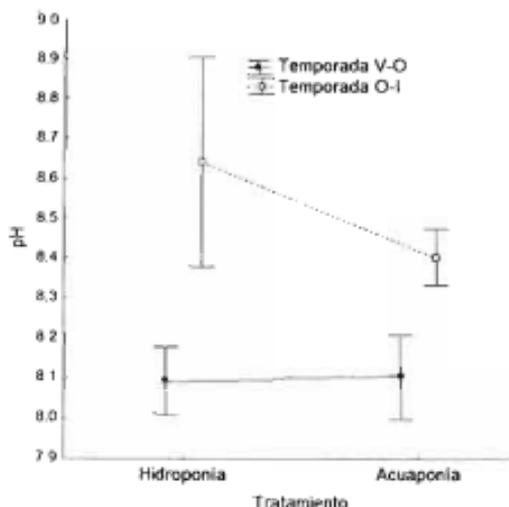


Figura 2. Concentraciones del pH (mg L^{-1}) en el agua entre sistemas y temporadas.

6.4 Concentración de iones de nutrientes

Los valores promedio de los iones de nutrientes obtenidos en este experimento se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Valores promedio de concentración \pm SE de los iones amonio, fosfato, nitrito y nitrato en mg L^{-1} en los sistemas hidropónicos (H) y acuapónicos (A) de ambas temporadas.

Temporada / Sistema	Amonio (NH_4^+)	Fosfato (PO_4^{3-})	Nitrato (NO_3^-)	Nitrito (NO_2^-)
Temporada V-O: Hidroponia	1.05 \pm 0.11	20.13 \pm 2.62	50.15 \pm 3.66	4.85 \pm 0.95
Temporada V-O: Acuaponia	0.60 \pm 0.04	11.06 \pm 0.14	85.05 \pm 17.44	3.27 \pm 0.10
Temporada O-I: Hidroponia	1.40 \pm 0.11	10.09 \pm 1.68	221.07 \pm 17.55	6.82 \pm 0.35
Temporada O-I: Acuaponia	1.84 \pm 0.65	19.97 \pm 5.54	139.85 \pm 5.98	9.00 \pm 0.75

Al realizar el análisis de la concentración de iones evaluados se encontró una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre temporadas para el ion amonio, en el ion fosfato se encontró una diferencia significativa ($P < 0.05$) en la interacción entre temporada y sistema (Cuadro 8), mostrando una tendencia negativa entre temporadas en el sistema hidropónico y un aumento en el sistema acuapónico (Figura 3). Los nitratos y nitritos presentaron una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre temporadas y la interacción entre temporada y sistema (Cuadro 8), mostrando los iones nitratos y nitritos una tendencia en ambos sistemas a incrementar entre la temporada verano-otoño a la temporada otoño-invierno (Figura 4 y 5).

Cuadro 8. Análisis de varianza de los iones nutrientes del agua en mg L^{-1}

Factor	Amonio (NH_4^+)	Fosfato (PO_4^{3-})	Nitrato (NO_3^-)	Nitrito (NO_2^-)
Temporada				
Temporada V-O	0.82±0.11 a	15.59±2.34	67.60±11.15 a	4.06±0.55 a
Temporada O-I	1.62±0.31 b	15.03±3.40	180.46±19.96 b	7.91±0.61 b
Sistema				
Hidroponia	1.22±0.10	15.11±2.64	135.61±39.05	5.84±0.63
Acuaponia	1.22±0.40	15.11±3.18	112.45±14.77	6.13±1.32
Anova dos vías (p-valor)				
Temporada	0.045	0.864	0.000	0.000
Sistema	0.985	0.901	0.109	0.650
Temporada x Sistema	0.224	0.017	0.001	0.018

Medias ± SE que comparten una letra no son significativamente diferentes.

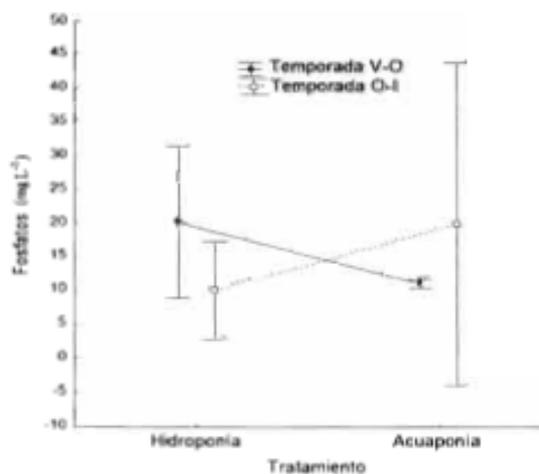


Figura 3. Concentración del ion fosfato (PO₄³⁻) entre sistema y temporadas.

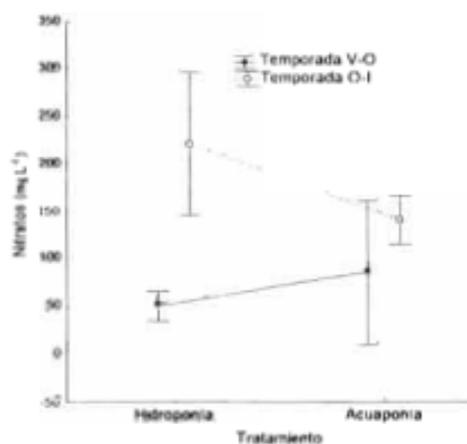


Figura 4. Concentración del ion Nitrato (NO₂⁻) entre sistema y temporadas.

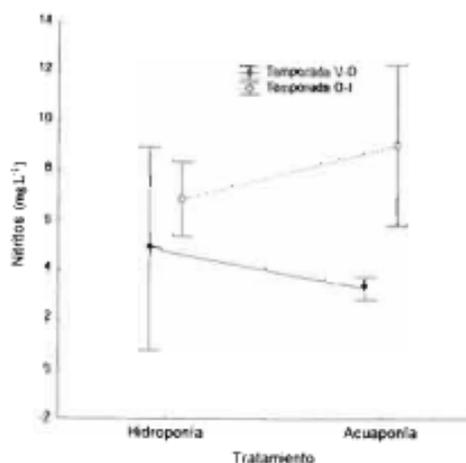


Figura 5. Concentración del ion Nitrito (NO_2^-) entre sistema y temporadas.

6.5 Producción de plantas

6.5.1 Variables de producción de plantas de lechuga

Los valores promedio de las variables de la producción de plantas de lechuga obtenidas en este experimento se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Valores promedio de las variables \pm SE de producción de las plantas de lechuga de los sistemas hidropónicos (H) y acuapónicos (A) de ambas temporadas.

Temporada / Sistema	Biomasa		
	Longitud (cm)	Número de hojas	foliar en peso fresco (Kg)
Temporada V-O: Hidroponia	13.87 \pm 1.22	12.39 \pm 0.68	123.19 \pm 13.96
Temporada V-O: Acuaponia	6.91 \pm 0.44	7.26 \pm 0.22	13.08 \pm 0.85
Temporada O-I: Hidroponia	16.88 \pm 1.52	13.44 \pm 1.39	81.69 \pm 13.90
Temporada O-I: Acuaponia	10.86 \pm 0.86	7.10 \pm 0.53	5.70 \pm 1.72

Los análisis estadísticos mostraron que existió una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los sistemas de producción en las variables longitud de la planta, número de hojas y biomasa foliar en fresco de las plantas, mostrando una mayor producción de hojas, talla y peso en las plantas hidropónicas (Cuadro 10) y en la variable biomasa foliar en fresco de las plantas también existió una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre temporadas, obteniendo una mayor biomasa en la temporada verano-otoño (V-O) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de varianza de las variables de crecimiento de lechugas

Factor	Longitud (cm)	Número de hojas	Biomasa foliar en peso fresco (Kg)
Temporada			
Temporada V-O	10.39±1.66	9.82±1.19	68.14±25.40
Temporada O-I	13.87±1.55	10.27±1.56	43.69±18.11
Sistema			
Hidroponía	15.37±1.10	12.91±0.73	102.44±12.80
Acuaponía	8.89±0.98	7.18±0.26	9.39±1.86
Anova dos vías (p-valor)			
Temporada	0.605775	0.605775	0.038807
Sistema	0.000122	0.000122	0.000013
Temporada x Sistema	0.485487	0.485487	0.123136

6.5.2 Variables de producción en plantas de pepino

Los valores promedios de las variables de la producción de las plantas de pepino obtenidas en este experimento se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Valores promedio de las variables \pm SE de producción de las plantas de pepino de los sistemas hidropónicos (H) y acuapónicos (A) de ambas temporadas.

Temporada / Sistema	Longitud (cm)	Biomasa foliar en peso fresco (Kg)
Temporada V-O: Hidroponía	156.21 \pm 1.81	417.64 \pm 37.82
Temporada V-O: Acuaponía	51.44 \pm 8.10	33.73 \pm 7.17
Temporada O-I: Hidroponía	127.76 \pm 7.02	416.78 \pm 46.91
Temporada O-I: Acuaponía	38.15 \pm 8.61	71.16 \pm 12.48

Se encontró una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los sistemas de producción en la variable longitud de la planta entre sistemas y también entre temporadas, mostrando mayores tallas en las plantas hidropónicas en la temporada V-O (Cuadro 12). En la biomasa foliar en peso fresco se encontró una diferencia significativa ($P < 0.05$) en los sistemas de producción, teniendo un mejor rendimiento los sistemas hidropónicos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de Varianza de las variables de crecimiento de las plantas de pepino

Factor	Longitud (cm)	Biomasa foliar en peso fresco
Temporada		
Temporada V-O	103.83 \pm 23.71	225.68 \pm 87.55
Temporada O-I	82.95 \pm 20.64	243.97 \pm 80.27
Sistema		
Hidroponía	141.98 \pm 7.14	417.21 \pm 26.95
Acuaponía	44.80 \pm 6.06	52.44 \pm 10.56
Anova dos vías (p-valor)		
Temporada	0.016869	0.571295
Sistema	0.000001	0.000002
Temporada x Sistema	0.306531	0.553708

6.5.3 Rendimiento productivo de las plantas

6.5.3.1 Lechugas

La producción obtenida en hidroponía en el primer ciclo fue inferior al segundo ciclo, ya que se generó mayor rendimiento con una diferencia de 11,662 piezas, obteniéndose extrapolado a una hectárea un total de 47,202 piezas; lo que superó la producción total del sistema acuapónico con 43,871 piezas ha^{-1} , teniendo una diferencia de 3,331 plantas ha^{-1} (Figura 6).

En el sistema hidropónico se determinó una supervivencia de $59.25 \pm 24.27\%$ durante el primer ciclo y $98.14 \pm 1.60\%$ en el segundo ciclo, 38.89% más. En acuaponía la supervivencia fue de $93.51 \pm 6.41\%$ en el primer ciclo y $52.77 \pm 16.66\%$ en el segundo, presentando una disminución del 40.74%.

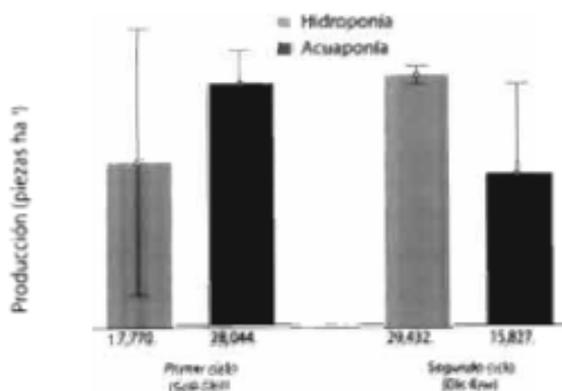


Figura 6. Rendimiento productivo de plantas de lechuga por ha^{-1} de los sistemas hidropónicos y acuapónicos entre ambos ciclos de producción.

6.5.3.2 Pepino

La producción del fruto de pepino se produjo en el primer y segundo ciclo en el sistema hidropónico dando un total de 5.54 t ha⁻¹, mientras que en acuaponía solo se dio en el primer ciclo, con una producción de 0.05 t ha⁻¹ (Figura 7).

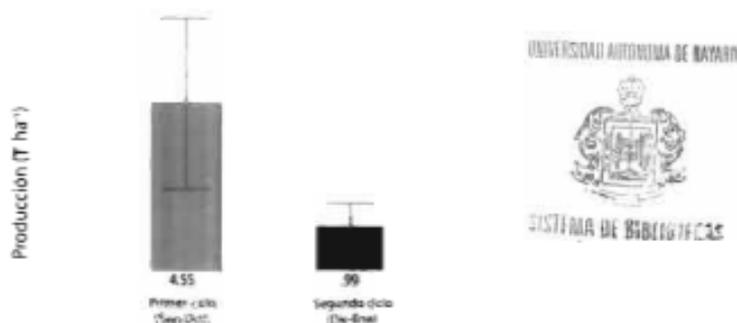


Figura 7. Rendimiento productivo del fruto de pepino por ha⁻¹ del sistemas hidropónicos entre ambos ciclos de producción.

La producción de pepino en el primer ciclo de cultivo del sistema hidropónico, fue superior al segundo ciclo, calculando una diferencia de 3.56 toneladas entre ciclos. Para el sistema acuapónico, solo se obtuvo un total de 0.053 toneladas de pepino calculadas.

6.6 Análisis económico.

Los rendimientos económicos de ambos sistemas se calcularon a una escala de una hectárea, obteniendo mayores ingresos en el sistema acuapónico que el hidropónico, como resultado a la combinación de varios productos, aunque en el sistema hidropónico se obtuvo un mayor ingreso con los productos de las plantas de pepino y lechuga (Cuadro 13).

Cuadro 13. Rendimientos económicos de los sistemas productivos hidroponía y acuaponía.

Determinación del capital de sistema	valor
Sistema acuapónico	
<u>Tilapia</u>	
Biomasa (kg) tilapia	17,770.67
Precio de venta por kilo de tilapia (\$)	40.00
Ingresos por venta de pescado entero (\$)	710,826.67
<u>Lechugas y pepinos</u>	
Lechugas (piezas) producidas	43,857
Pepinos (kg) producidos	53.00
Precio unitario lechugas (\$)	3.00
Precio por kilo de pepino (\$)	2
Ingresos por venta de lechugas y pepinos (\$)	131,677.00
Total de ingresos por venta de productos acuapónicos (\$)	842,503.00
Sistema hidropónico	
<u>Lechugas y pepinos</u>	
Lechugas (piezas)	47,202
Pepinos (kg)	5,540
Precio unitario lechugas	7.00
Precio por kilo de pepino	3.50
Total de ingresos por venta de productos hidropónicos	\$ 349,804

Los resultados del indicador económico beneficio-coste muestran una pequeña superioridad en el sistema acuapónico 0.02 más que el sistema hidropónico, aunque una amplia diferencia en las utilidades, obteniendo \$136,619.00 pesos más el sistema acuapónico (Cuadro 14).

Cuadro 14. Indicadores económicos de los sistemas de producción

Indicadores económicos	
Relación beneficio-coste de hidroponía	1.34
Utilidades (\$) netas sistema de hidroponía	\$88,536.00
Relación beneficio-coste de acuaponía	1.36
Utilidades (\$) netas de acuaponía	\$225,155.00

VI. DISCUSIONES

7.1 Producción de peces

De acuerdo a los reportes productivos de otras investigaciones: Garcia-Ulloa *et al.* (2005) reportan una producción de *O. niloticus* de 69 kg m⁻³ a una densidad de 552 peces m⁻³ alcanzando un peso de 125 g promedio por pez, obteniendo mejor rendimiento en biomasa que la encontrada en esta investigación. Sin embargo, los pesos alcanzados de los peces en este estudio fueron superiores a los resultados obtenidos por Garcia-Ulloa *et al.* (2005), esto puede atribuirse a las diferencias en densidades de siembra iniciales (El-Sayed, 2006).

Las variables de la calidad del agua juegan un papel fundamental en el desarrollo de los cultivos de tilapia, pudiendo generar adversidades en el desarrollo de los organismos si llegasen a estar fuera de los niveles óptimos para su crecimiento (El-Sayed, 2006; Caló 2011). Sayed (2006) y Caló (2011) recomiendan mantener una concentración del oxígeno disuelto mayor a 5 mg L⁻¹. En la presente investigación se mantuvo en los sistemas valores superiores a 5 mg L⁻¹, lo que se tradujo en un buen crecimiento de los peces.

Los iones amonio son un producto generado en la excreción de los peces, es un ion tóxico en concentraciones superiores a 0.2 ppm (El-Sayed, 2006; Caló, 2011) Masser *et al.* (1999) establece que concentraciones de 5 mg L⁻¹ generan un ligero estrés en tilapias y El-Sayed (2006) refiere que concentraciones superiores a 1.81 mg L⁻¹ reduce específicamente la tasa de crecimiento. En el presente trabajo se obtuvieron concentraciones de 1.6 mg L⁻¹, sin embargo, no se observó algún efecto negativo que limitara el crecimiento de los peces, esto puede ser atribuible a que el amonio logró mantenerse estable, debido a la presencia de bacterias del genero nitrobacter y al consumo de amonio de las plantas del componente hidropónico, que mantuvieron una media estable del ion amonio

factible para el crecimiento de los peces, sin alcanzar los niveles necesarios para que hubiese algún tipo de estrés.

Por otro lado, Plumb (1997) establece que las exposiciones prolongadas de nitritos a niveles elevados, pueden disminuir la respuesta del sistema inmune e inducir a la muerte, ya que éstos alteran el funcionamiento fisiológico del crecimiento (Masser *et al.*, 1999). La concentración de nitratos óptima para las tilapias es de 40 mg L^{-1} (Bautista-Covarrubias y Ruiz-Velazco, 2011) siendo tóxicos a partir de 300 mg L^{-1} (Masser, 1999; Caló, 2011) y toleran hasta 500 mg L^{-1} (El-Sayed, 2006). Los valores de nitratos más altos en esta investigación fueron de 180 mg/L^{-1} , por lo que se infiere que el sistema acuapónico estuvo dentro de los intervalos permisibles.

Debido a que los valores de los iones no llegaron a alcanzar niveles críticos y se mantuvo en el sistema acuapónico una calidad de las variables del agua adecuada para los peces, puede atribuirse que debido a esto, la mortalidad fue baja en este experimento (2.36%) obteniendo un buen desarrollo y crecimiento de los peces.

De acuerdo con Rakocy *et al.* (2004a), Caló (2011) y FAO (2014) los sistemas acuapónicos generan un gran beneficio en la calidad del agua de los sistemas productivos, ya que integran varios subsistemas que mantienen un equilibrio; los peces son fundamentales puesto que son los generadores de materia orgánica del sistema, bacterias que generan una función de transformación de nutrientes y las plantas, captadoras de los nutrientes transformados por las bacterias, manteniendo así un equilibrio del sistema, optimizando y aprovechando al máximo el alimento otorgado a los peces convirtiéndolo en un subproducto de este sistema. Además, las plantas en conjunto con las bacterias, mantienen los niveles óptimos requeridos de la calidad del agua para los peces, generando un control biológico equilibrado para todos los organismos (Rakocy *et al.*, 2004a). Conforme a lo anteriormente mencionado, el sistema acuapónico de esta investigación funcionó como se esperaba, se mantuvo

el equilibrio biológico adecuado para los organismos. Sin embargo, la producción de plantas mostró un rendimiento inferior que el sistema hidropónico.

7.2 Producción de plantas

Los resultados muestran que existió una diferencia significativa ($P < 0.05$) en todos los parámetros de crecimiento de las plantas entre ambos sistemas, lo que conllevó a una diferencia marcada entre los sistemas de producción, ya que se observó un mejor desempeño en crecimiento y producción del sistema hidropónico para las plantas comparado con el sistema acuapónico.

De acuerdo con Caló (2011) y Muñoz (2012) esto pudiera atribuirse al factor nutritivo entre ambos sistemas, ya que al sistema hidropónico se le adicionó la cantidad necesaria de nutrientes para un óptimo desarrollo de las plantas, mientras que en el sistema acuapónico, las plantas dependían del aporte nutricional generado por el cultivo de los peces, en el que los desechos nitrogenados (heces y excesos de alimento) en conjunto con bacterias nitrificantes y oxígeno óptimo, jugaron un papel fundamental para convertir el amonio en formas de nitrógenos más accesibles para las plantas (Caló, 2011).

El sistema hidropónico utilizó la solución de Steiner que de acuerdo con Steiner (1961) las plantas requieren de 18 elementos esenciales para su desarrollo, mismo que dicha solución contiene. Caló (2011) menciona que los sistemas acuapónicos van acumulando los nutrientes provenientes de los peces con el paso del tiempo, de un 35% a 40% del alimento consumido es asimilado y transformado en carne, mientras que el resto (60-65%) se excreta hacia la columna de agua (Chapell *et al.*, 2008), en este trabajo, la biomasa de los peces en el sistema acuapónico fue de 21.33 kg m^{-3} y una densidad 6 plantas de lechuga por m^2 que en comparación con el estudio realizado por Al-Hafedh (2008) quienes obtuvieron una biomasa de 33.5 kg m^{-3} y 42 plantas de lechuga por m^2 mostraron una mayor concentración en los iones nitrato (NO_3^-) y nitrito (NO_2^-), esto podría estar relacionado a la densidad inferior de plantas utilizadas en el sistema acuapónico del experimento.

A pesar de que en este experimento se registraron mayores concentraciones de nutrientes, los resultados productivos en plantas fueron inferiores en proporción a los resultados obtenidos por Al-Hafedh *et al.* (2008) quien obtuvo plantas de 250 g. De acuerdo a las densidades utilizadas por estos autores, estos emplearon 0.79 kg de peces por planta cultivada, mientras que en este estudio se empleó 3.55 kg de peces por planta cultivada, obteniendo plantas de 9.39 g en el sistema acuaponico y 102 g en el sistema hidropónico, inferiores a los resultados mostrados por Al-Hafedh *et al.* (2008). De acuerdo a Trejo-Téllez y Gómez-Merino (2012) y Muñoz (2012) pudiera deberse a la disponibilidad de los nutrientes en función a las variables del agua de los sistemas.

Los parámetros del agua juegan un papel importante en el desarrollo de las plantas y peces en los sistemas acuapónicos e hidropónicos, la temperatura, Oxígeno y el pH son los parámetros con mayor influencia en el proceso de crecimiento de las plantas y peces, y estos a su vez tienen una relación directa entre estos.

Caló (2011) refiere que en sistemas acuapónicos la calidad de agua debe considerarse un factor muy importante para que el sistema funcione bien, debido a que este es el medio en el cual conviven peces y bacterias y del cual las plantas obtienen sus nutrientes. Es por esto que el agua debe tener la calidad suficiente como para mantener adecuadamente a las tres comunidades existentes en el sistema acuapónico. En esta investigación, las variables de temperatura y oxígeno disuelto fueron los adecuados para los organismos, mientras que el pH se mantuvo en intervalos buenos para los peces y un poco estresante para las plantas (Caló, 2011; Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012)

El oxígeno es un requerimiento esencial en el desarrollo de los peces (Sayed, 2006; Caló, 2011) y plantas (Graber y Junge, 2009), de acuerdo a los resultados obtenidos nos demuestra que entre las temporadas y los sistemas, existió una interacción de la variable oxígeno disuelto, lo cual puede deberse a que el sistema hidropónico durante la temporada verano-otoño existió una mayor oscilación de ésta variable en comparación con la temporada otoño-invierno, que

de acuerdo con Trejo-Téllez y Gómez-Merino (2012) la temperatura tiene una relación directa con el oxígeno, a mayor temperatura, existirá una menor concentración de oxígeno debido a la volatilidad del gas, y a que las plantas absorben una menor cantidad de oxígeno por la raíz y en mayor cantidad por las hojas (vía aérea) (Martínez-Gutiérrez *et al.*, 2012), lo anterior podría atribuirse a que el sistema hidropónico de la primera temporada en comparación a la segunda temporada, presentó mayor variación y concentración de oxígeno disuelto en el agua, mientras que el sistema acuapónico presentó una menor oscilación que el sistema hidropónico durante cada temporada, debido al control que generan los mismos peces por el consumo que requieren, y así mismo, existe una tendencia a obtener menores concentraciones de este gas entre temporadas, debido al crecimiento de los organismos acuáticos del sistema, que requieren mayores cantidades de oxígeno (Rakocy *et al.*, 2004a; Caló, 2011; FAO, 2014).

El pH es un parámetro que interviene en varios procesos en los sistemas acuapónicos e hidropónicos, ya que con base en éste se genera la disponibilidad de los nutrientes para las plantas (Caló, 2011; Aparicio *et al.*, 2009). El proceso de nitrificación puede ocurrir en un rango muy variado de pH como 6 a 9 pero algunos autores sostienen que el rango óptimo se encuentra entre 7,2 a 7,8 (Caló, 2009). En la presente investigación se obtuvieron valores medios de pH de 8.36 en el sistema hidropónico y 8.25 en el sistema acuapónico que de acuerdo con Caló (2011) y Trejo-Téllez y Gómez-Merino (2012) es muy probable que el efecto del pH se viera reflejado en la disposición de los nutrientes en ambos sistemas, que por los altos pH generó una menor disponibilidad de nutrientes para las plantas ya que en la solución nutritiva de los sistemas hidropónicos, el amoníaco (NH_3^*) sólo forma un complejo con H^+ en un rango de pH entre 2 y 7 estando presente en su forma de amonio (NH_4^*) y cuando el pH aumenta por encima de 7, la concentración de amonio (NH_4^*) disminuye, mientras que la concentración de amoníaco (NH_3^*) aumenta. Así también, Trejo-Téllez y Gómez-Merino (2012) establecen que un pH de 8,5 da como resultado una acumulación de nitritos (NO_2^-) a niveles cercanos a los dañinos para las plantas de $4,2 \text{ mg/L}^{-1}$. De acuerdo con esto, los niveles promedios obtenidos en la concentración de nitritos (NO_2^-) fue

superior a lo anteriormente mencionado, pudiendo ser un factor determinante en el desarrollo obtenido de las plantas. Esto debido al potencial aumento de los niveles de amoníaco (NH_3^*) no ionizado que reduce la absorción de nutrientes de las plantas por la precipitación de micronutrientes, asociados con un pH de 8,5 (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012).

El fósforo (P) es un elemento que se produce en formas que dependen fuertemente del pH del medio ambiente. En la zona de las raíces, este elemento puede encontrarse como iones PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} y H_2PO_4^- ; Los dos últimos iones son las formas principales de P tomadas por las plantas. En sustratos inertes, la mayor cantidad de P disponible en una solución nutritiva, se presenta cuando su pH es ligeramente ácido (pH 5) (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012). De acuerdo con esto, es muy probable que las plantas hayan sufrido una deficiencia de fósforo, ya que los niveles de pH obtenidos en el experimento rebasaron el nivel óptimo para mantener la disponibilidad de este ion para las plantas. Sultenfuss y Doyle (1999) establecen que el efecto más acentuado de la falta de P es la reducción en el crecimiento de las hojas así como en el número de hojas. Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el presente trabajo, las plantas del sistema acuapónico obtuvieron tallas inferiores en comparación de las plantas del sistema hidropónico, que a pesar de tener un pH superior al óptimo establecido se desarrollaron plantas con porte medio al tamaño normal en promedio, pudiendo ser el resultado de la falta de disponibilidad del ion fosfato, así como también de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} que a pH por encima de 8.3 se precipitan fácilmente como carbonatos y de los micronutrientes como el hierro, el cobre, el zinc, el boro y el manganeso no son disponibles a pH superior a 6,5 (Aparicio *et al.*, 2009; Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012).

García-Ulloa *et al.* (2005) evaluaron un sistema de producción acuapónico de tilapias con pepinos, con una densidad de peces de 208 kg m^{-3} obteniendo una producción de 4.5 kg de pepino y las concentraciones en el agua de los iones fueron: 0.0125 mg L^{-1} de amonio (NH_4^*), 400 mg L^{-1} de nitratos (NO_3^-) y 1.0 mg L^{-1} de nitritos (NO_2^-). Comparando los resultados con los obtenidos en esta investigación, se observó que la cantidad de nutrientes en el agua fue superior en

(NO₂⁻) nitritos, inferior en nitratos (NO₃⁻) y la concentración de amonio fue mayor en este experimento. Sin embargo, en estudios realizados por diversos autores, Aparicio *et al.* (2009), García-Ulloa *et al.* (2005) y Al-Hafedh *et al.* (2008), demuestran que a pesar de que las condiciones del pH superan el óptimo necesario para el desarrollo de las plantas, estas pueden desarrollarse con algunas deficiencias y bajos crecimientos. No obstante, de acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, a pesar que los niveles óptimos de pH no fueron los adecuados para las plantas, éstas tuvieron un desarrollo bajo en acuaponía y medio en hidroponía para una escala comercial.

Comparando investigaciones realizadas para la producción de lechuga en sistemas hidropónicos. Encontramos que con base en lo anteriormente mencionado, el pH pudo ser el parámetro que generó una repercusión en el desarrollo de las plantas, sobretodo si esto es comparado con los estudios de Gutiérrez (2011) quien produjo en un sistema hidróponico 6.5 kg m⁻² de lechugas a una densidad de 32 plantas por m² y Jacques y Hernandez (2005), quienes produjeron 3.24 kg m⁻² de lechugas a una densidad de 5.9 plantas por metro cuadrado, en esta investigación, se produjo 1.10 kg m⁻² de lechugas a una densidad de 6 plantas por m². De acuerdo con los datos anteriores en este estudio se obtuvo el menor rendimiento productivo, y haciendo una comparación a las temperaturas y pH de ambas investigaciones, se observa que en el experimento de Gutierrez (2011) se mantuvieron temperaturas medias de 20 ° C y un pH de 6.2, mientras que las producciones de Jacques y Hernandez (2005) presentaron valores medios de temperatura de 23 ° C y pH de 6.3, en comparación con los resultados obtenidos de esta investigación con valores medios de temperatura de 27.5 y pH de 8.3. Las obtenidas por Gutierrez (2011) y Jacques y Hernández (2005) fueron medias inferiores a las de esta investigación y más cercanas a las medias óptimas requeridas para la producción de lechuga. Por lo cual, podría atribuirse que tanto el pH como la temperatura podrían haber tenido una influencia en la producción del sistema hidropónico al igual que en el sistema acuapónico.

Análisis económico de los sistemas de cultivo

Los sistemas productivos con el paso del tiempo han ido evolucionando a través de aportaciones tecnológicas, generando mejoras en los procesos con el fin de minimizar riesgos e incrementar rendimientos.

La FAO (2014) menciona que en las últimas décadas las producciones alimenticias han ido aumentando año con año, a nivel mundial durante el año 2004 se generaron 1,458,300 toneladas de tilapia y para el año 2014 una década después, se produjeron 3,670,254 t de tilapia. Este incremento en la producción de tilapia probablemente sea en consecuencia o resultado del crecimiento poblacional mundial ya que representa una de las principales fuentes de proteína con menor costo de producción y bajos costos de adquisición en el mercado en la mayor parte de los países en desarrollo y subdesarrollo (FAO, 2014). Debido a esta demanda, es un hecho que la gran mayoría de los productores y empresas día a día, buscan e innovan en encontrar una forma que genere mayores rendimientos productivos y económicos.

Según lo establecido por El-Sayed (2006), Saavedra (2006), SAGARPA (2013) y FAO (2014) los sistemas productivos principales de tilapia son: estanques, jaula y geomembranas, existiendo diversos tipos de cultivos: los cultivos extensivos, con densidades de 0.5 a 3 organismos de tilapia por m^{-3} empleando muy poca tecnología y teniendo un bajo control del sistema. Los sistemas semi-intensivos que emplean densidades de 4 a 15 organismos por m^{-3} utilizan una mayor tecnología, llevando mejores controles de la calidad del agua y que a su vez conllevan a mayores costos de inversión. Por su parte, los sistemas intensivos utilizan densidades de 80 a 150 peces por m^{-3} con biomásas máximas de 90 $kg\ m^{-3}$ igualmente generan mayores inversiones y necesidades de mejor manejo en los sistemas. Con base en lo anteriormente mencionado y de acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio y las investigaciones sobre la producción de tilapia en sistemas acuapónicos generadas por Rakocy *et al.* (2004b), Rakocy *et al.* (2004a), Al-Hafedh *et al.* (2008) y Rubio (2012) en donde emplearon densidades de peces que superan a las utilizadas normalmente en los sistemas

semi-intensivos tradicionales de producción de tilapia y que los cultivos, presentaron supervivencias superiores a estos, mayores tallas de los organismos y un mejor manejo en los sistemas. Se podría asumir que los sistemas acuapónicos presentan mayores ventajas en cuanto a la cantidad de biomasa producida por área, generando un mayor aprovechamiento de espacio que estos, a su vez se vería reflejado en la rentabilidad económica por una menor inversión en el terreno empleado para la producción. También, según lo establecido por Al-Hafedh *et al.* (2008) la acuaponia es un sistema con el cual se puede reutilizar el agua de este mismo sistema, llegando a ahorrar hasta un 600% de la cantidad de agua empleada en un sistema tradicional, pudiendo generar de esta forma un ahorro económico más y sobre todo realizando un aporte ecológico.

De acuerdo a lo señalado por Alder *et al.* (2000) que establece que al combinar los sistemas de cultivos de tilapia con sistemas de producción de plantas, se puede generar un ahorro en cuanto a las tasas de inversión, debido a la producción de dos organismos en un mismo sistema, lo que conlleva a obtener mayores ingresos. Lo anterior concuerda ampliamente con los resultados económicos de esta investigación, en donde se puede apreciar una mayor utilidad y relación beneficio/costo en el sistema acuapónico contra el sistema hidropónico.

IX. CONCLUSIONES

El Sistema acuapónico utilizado en este experimento puede llegar a generar 35 toneladas de tilapia anualmente, que de acuerdo con SAGARPA (2013) se mantiene dentro del intervalo productivo de los sistemas semi-intensivos que van de 20 a 50 toneladas por hectárea.

El sistema acuapónico utilizó cerca de 10,000 L de agua para la producción de 21.33 kg m⁻³ de tilapia y 50 piezas de lechuga, que de acuerdo con lo mencionado por Al-Hafedh *et al.* (2008) en este sistema productivo se ahorran 210,000 L por ciclo de producción del total de agua de un sistema convencional, únicamente el equivalente a 4.76% del agua que se utilizaría normalmente.

El ahorro de agua tiene un efecto económico en las utilidades, ya que al no emplear las bombas para suministrar agua, se genera un ahorro en el gasto de energía eléctrica.

El combinar la hidroponía con un sistema acuicola puede generar grandes beneficios tanto económicos como productivos, ya que se pueden generar diversos productos empleando los mismos requerimientos que si solo se utilizara el sistema acuicola, sólo hay que considerar que ambas especies puedan convivir mutuamente. A la vez que se obtiene un beneficio en la calidad del agua, donde las plantas y bacterias del sistema mantienen una calidad apta para el desarrollo de los peces.

La mejor temporada para producir ya sea pepinos o lechugas en la localidad donde se desarrolló el experimento y bajo las condiciones empleadas, es la temporada de verano-otoño, tanto en sistema acuapónicos o hidropónicos.

X. LITERATURA CITADA

- Adler, P., Harper, J., Wade, E., Takeda, F., Summerfelt, S., 2000. Economic analysis of an aquaponic system for the integrated production of rainbow trout and plants. *International Journal of Recirculating Aquaculture*. 1: 10-13.
- Aguilera-Morales, M.E., Hernández-Sánchez, F., Mendieta-Sánchez, E. Herrera-Fuentes, C., 2012. Producción integral sustentable de alimentos. *Ra Ximhai*. 8, número 3. Pp.
- Al-Hafedh, Y., Alam, A., Beltagi, M.S., 2008. Food production and water conservation in a recirculating aquaponics system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed tilapia-plants. *J. World Aquacult. Soc.* 39: 510-520.
- Aparicio, J.M., Valdivieso M.Y., Hidalgo-Vilchez, C.A., García, R., 2009. Efecto del pH en el crecimiento de *Lactuca sativa* (L.) "lechuga" cultivada en el sistema hidropónico de raiz flotante. Facultad de ciencias agrarias centro experimental de cultivo de plantas sin suelo, Universidad Nacional de Tumbes. Perú. 1: 28-29.
- Bautista, C.J., Ruiz-Velazco, J.M.J., 2011. Calidad de agua para el cultivo de tilapia en tanques de geomembrana. *Revista Fuente*. 3 (8): 10-14.
- Caló, P., 2011. Introducción a la acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo Acuicola (CENADAC). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina. 15 p.
- Campos, P., 2013. Evaluación de siete tipos de vegetales herbáceas cultivadas en acuaponía usando el efluente del cultivo de tilapia *Oreochromis niloticus* x *O. aureus* en condiciones salobres. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Veracruz, México. 73 p.

- Chapell, J.A., Brown, T.W., y Purcell, T., 2008. A demonstration of tilapia and tomato culture utilizing an energy efficient integrated system approach. 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture. 8: 23-32.
- Church, D., Pond, W., 1982. Basic animal nutrition and feeding. John Wiley y Sons, New York, USA. 351 p.
- Durham, D., 1992. Low-tech polycultural yields, high profit. Small Farm Today. June. 3: 23- 25.
- Diver, S., 2006. Aquaponics-Integration of hydroponic with Aquaculture. Horticulture Systems Guide. National Center for Appropriate Technology-Appropriate Technology Transfer for Rural Areas, USA. 37 p.
- El-Sayed, A.F.M., 2006. Tilapia culture. CABI Publishing Series. USA. 275 p.
- FAO, 2014. Small-scale aquaponics food production. Integrated fish and plant farming. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Fisheries and Aquaculture Department. Rome. 262 p.
- García-Ulloa, M., León, C., Hernández, F., Chavéz, R., 2005. Evaluación de un sistema experimental de acuaponía. Avances en Investigación Agropecuaria. Colima. 9: 1-5.
- Gilsanz, J.C., 2007. Hidroponía. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Ed Andes. 31 p.
- Goodman, E., 2005. Aquaponics. Community and economic development. Massachusetts Institute of Technology. Arizona, USA. 100 p.
- Graber, A., Junge, R., 2009. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. Desalination. 246 (3):147-156
- Gutierrez, A., 2011. Producción hidroponica de lechuga con y sin recirculación de solución nutritiva. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chapingo.

- Hidalgo-Vilchez, C., Garcia-Seminario, R., 2009. Comparativo de tres variedades de *Lactuca sativa* (L.) "lechuga" en condiciones hidropónicas. Facultad de ciencias agrarias centro experimental de cultivo de plantas sin suelo, Universidad Nacional de Tumbes. Perú. 1: 22-25.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, (INIFAP), 2014. Consulta de datos históricos [En línea]. Disponible en: http://www.climanayarit.gob.mx/datoshisto.php?estacion=36379&fecha1=2013-08-10&fecha2=20140810&temp_pro=on&hr_pro=on&temp_max=on&temp_min=on&prec=on&OK=Consultar# Consultado en internet el 10 de Agosto de 2014.
- Jacques, C., Hernández, J.L., 2005. Valoración productiva de lechuga hidropónica con la técnica de película de nutrientes (nft). *Naturaleza y Desarrollo*. 3 (1): 1-16.
- Lennard, W., Leonard, B., 2006. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system. *Aquaculture international*. 14: 539-550.
- Lewis, W., Yopp, J., Schramm, H., Brandenburg, A., 1978. Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. *Transactions of the American Fisheries Society*. 107: 92-99.
- Martínez-Gutiérrez, G., Ortiz-Hernández, Y., López-Pozos, R., 2012. Oxigenación de la solución nutritiva recirculante y su efecto en tomate y lechuga. *Rev. Fitotec. México*. 35 (5): 49- 52.
- Masser, M., 2002. Hydroponics integration with aquaculture. Alabama, USA, 23 p.
- Masser, M.P., Rakocy, J.E., Losordo, T.M., 1999. Recirculating aquaculture tank production systems. management of recirculating systems. Southern Regional Aquaculture Centre Publication No 452. Southern Regional Aquaculture Centre, USA.

- Mateus, J., 2009. Acuaponía: hidroponía y acuicultura, sistema integrado de producción de alimentos. Red hidroponía, Boletín No 44. Lima, Perú.
- Muñoz, M.E., 2012. Sistemas de recirculación acuapónicos. Informador técnico Colombia, 76: 123 -129.
- Nelson, L., 2008. Aquaponics food production. Raising fish and profit. Virgin Islands.
- Parkin, M., 2006. Microeconomía. Pearson septima edición, México. 584 p.
- Plumb, J.A., 1997. Infectious diseases of tilapia. En *Tilapia Aquaculture in the Americas* (eds Costa-Pierce B.A., Rakocy, J.E.). World Aquaculture Society, Louisiana, USA. 1: 212-228.
- Quillere I., Roux, L., Marie, D., Roux, Y., Gosse, F., Morot-Gaudry, J., 1995. An artificial production ecosystem based on fish/bacteria/plant association: 2. Performance. *Agric. Ecosyst. Environ.* 53: 19-30.
- Rakocy, J., 1989. Vegetable hydroponics and fish culture a productive interface. *J. World Aquacult.* 20: 43-47.
- Rakocy, J., Bailey, D.S., Shultz, R.C., Thoman, E.S., 2004a. Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. Manila, Philippines.
- Rakocy, J., Shultz, R.C., Bailey, D.S., Thoman, E.S., 2004b. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. South Pacific Soil less Culture Conference – SPSCC, Virgin Islands.
- Ramírez, B.D., Sabogal, B.D., Jiménez, P., Hurtado, G.H., 2008. La acuaponía; una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad de Ciencias Básicas.* 4 (1): 32-51.

- Rossta, H.R., Hamidpour, M., 2011. Effects of foliar application of some macro and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae*. 129 (1): 392-402.
- Rubio, C.S., 2012. Análisis técnico de producción de tilapia *Oreochromis niloticus* y lechuga acrópolis *Lactuca sativa* en acuaponía. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Sinaloa, México. 73p.
- Saavedra, M.A., 2006. Manejo del cultivo de tilapia. USAID, Managua, Nicaragua. 21p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, (SAGARPA). 2013. Manual de Producción de Tilapia con Especificaciones de Calidad e Inocuidad.
- Sanders, D., McMurtry, M., 1988. Fish increase greenhouse profits. *American Vegetable Grower*. 1: 32-33.
- Scott, J., 2002. Evolution of Aquaponics. *Aquaponics journal*. Volumen 6, no. 1
- Steiner, A.A., 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil*. 15: 134- 154
- Strickland, D.H., Parsons, T.R., 1977. A practical handbook of seawater analysis. Minister of Supply and Services Canada. Bulletin 167 segunda edición. Ottawa, Canada.
- Sultenfuss, J.H., Doyle, W.J., 1999. Better Crops With Plant Food, A Publication of the International Plant Nutrition Institute (IPNI), LXXXIII (83), No. 1
- Trejo-Téllez, L.I., Gómez-Merino, F.C., 2012. Nutrient Solutions for Hydroponic Systems, *Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches*, Dr. Toshiki Asao (Ed.). China. 244 p.
- Zar J., 2010. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. Cuarta edición. New Jersey. 663 p.

Zweig, R., 1986. An integrated fish culture hydroponic vegetable production system. *Aquaculture Magazine*, 12 (3): 34-40.