

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN:

CÓDIGO: AA-1805

Evaluación de un modelo de Acuaponía en la producción de biomasa de tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) y lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) en El Salvador.
--

TÍTULO A OBTENER: INGENIERO(A) AGROINDUSTRIAL

DATOS DE LOS ESTUDIANTES:

Nombre, Apellidos de los estudiantes	Dirección	Teléfono y correo electrónico	Firma
Br. Silvia Vanessa Ascencio Quintanilla	Urb. Las Margaritas 5ª etapa, pje. 32 Ote, Pol. 1, casa n° 20, Soyapango, San Salvador.	7789- 3525 aq12001sv@gmail.com	
Br. Gerardo Ernesto Del Valle Campos	Boulevard Universitario, Col. San José, # 2153, San Salvador.	7871-7278 gdelvalle92@gmail.com	
Br. Gabriela Amairany Velásquez Alfaro	2ª calle Poniente, casa #25, Soyapango, San Salvador.	7616-3419 gabrielamairany@hotmail.com	

DATOS DE LOS DOCENTES DIRECTORES:

Nombre, Apellidos de los Docentes Directores	Institución	Teléfono y correo electrónico	Firma
Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia	Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural.	7318-0554 earu_1663@yahoo.com.mx	
Ing. Álvaro César Vanegas Matheu	Centro Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura CENDEPESCA.	7497-3811 cesar.vanegas@mag.com.sv	
Lic. Saúl Patricio Pacheco Reyes	Centro Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura CENDEPESCA.	7729- 6304 saulppr@yahoo.com	

VISTO BUENO:

Ing. Agr. M. Sc. Rafael Espino Barahona Coordinador General de Procesos de Graduación del Departamento: Firma: F _____
Ing. Agr. Ricardo Ernesto Gómez Orellana Director General de Procesos de Graduación de la Facultad (interino): Firma: F _____
Ing. Agr. M. Sc. Edgar Marroquín Mena Jefe del Departamento de Desarrollo Rural: Firma: F _____
Sello:
Ciudad Universitaria, noviembre de 2018

NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN

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

AUTORES

Ascencio-Quintanilla, SV¹; Del Valle-Campos, GE¹; Velásquez-Alfaro, GA¹; Rodríguez-Urrutia, EA²; Vanegas-Matheu, AC³; Pacheco-Reyes, SP³.

RESUMEN

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRACT

The investigation was carried out with the purpose of evaluating an aquaponics model in the production of tilapia (*Oreochromis niloticus*) and lettuce (*Lactuca sativa*) biomass, comparing the yields of animal and vegetable biomass, in the Aquaculture Station of the Development Center of the Fishing and Aquaculture (CENDEPESCA), Ministry of Agriculture and Livestock (MAG), located in the municipality of Santa Cruz Porrillo, Department of San Vicente, El Salvador, from July 2017 to January 2018.

An aquaponic system was designed, which had a tank for the culture of tilapia (*Oreochromis niloticus*) of 0.96 m³, two mechanical filters, a biological filter, a bed for the cultivation of

¹ Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural, Estudiantes Tesistas, aq12001sv@gmail.com, gdelvalle92@gmail.com, gabrielamairany@hotmail.com.

² Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural, Docente Director. earu_1663@yahoo.com.mx

³ Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Docentes Directores, cesar.vanegas@mag.com.sv, saulppr@yahoo.com.

lettuce (*Lactuca sativa*) of 4 m² under the modality of floating root and a tank at the end of the system of 25 gallons (94.63 liters), with a recirculation pump that takes the water to the beginning of the system being this the fish tank.

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

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

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

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

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

1. INTRODUCCIÓN

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

En El Salvador la acuaponía es una práctica incipiente debido a la prevalencia de los sistemas de producción convencionales y al desconocimiento de los beneficios del método. Por otro lado, la preservación de los mantos acuíferos de agua dulce y el abastecimiento de alimentos a la población atraviesan una etapa crítica provocando escasez de agua y competencia por el recurso entre el ser humano, los sistemas de producción y otros seres vivos. A nivel global ya existen empresas de tamaño mediano que incorporan esta forma de producción a distinta escala, la cual es una alternativa productiva y comercial para pequeños y medianos productores en el país, y posibilita su uso en zonas con poca abundancia de agua y que no son necesariamente aptas para el agro. Para implementar este sistema de producción es necesario tener en cuenta todos los factores involucrados: mecanismos de remoción de sólidos, filtros, inyectores de oxígeno, motores de recirculación de agua, manejo agronómico del cultivo, factores ambientales, entre otros. Todo, dependiendo de la magnitud del modelo que se seleccione (Colagrosso 2014). Muchas expectativas y opciones productivas se han cifrado en la acuaponía a nivel mundial, especialmente en los países en desarrollo, para contribuir a la producción de alimentos, optimización en el uso de los recursos naturales y el alivio a la pobreza. Entre las ventajas obtenidas de la acuaponía están: reuso del agua, eficiencia del uso del espacio en la producción, bioseguridad, ecológicamente sustentables, bajo impacto ambiental, usos del agua, fuente de nutrientes. (Gestiopolis s.f.)

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

En esta investigación se planteó como objetivo evaluar tres densidades de siembra de tilapia (*Oreochromis niloticus*), en un diseño acuapónico, para comparar los rendimientos de biomasa animal y vegetal en lechuga (*Lactuca sativa*), obtenidos en Santa Cruz Porrillo, departamento de San Vicente, en El Salvador. La investigación busca contribuir a desarrollar la acuaponía como uno de los puntos en el proyecto de acuicultura familiar que ejecuta CENDEPESCA del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en la Estación Acuícola del Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA), del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), ubicada en el cantón Santa Cruz Porrillo, municipio de Tecoluca, departamento de San Vicente, en El Salvador, Centroamérica (figura 1), con coordenadas geográficas 13° 48' 04" LN (Extremo Septentrional), 13° 14' 39" LN (Extremo Meridional), 88° 29' 05" LWG (Extremo Oriental) y 88° 54' 01" LWG (Extremo Occidental); a 35 metros sobre el nivel del mar. La temporalidad de la investigación fue de siete meses. La temperatura promedio de la Estación Acuícola de Santa Cruz Porrillo es de 37 grados Celsius (° C), los vientos con velocidades promedio de 16 kilómetros por hora, la humedad relativa varía entre 35-69%.

La metodología de campo y de laboratorio se inició en el mes de julio de 2017 y finalizó en el mes de enero de 2018. Se evaluó la producción de biomasa de tilapia (g/m^3) y se midieron las tallas de éstas (cm/unidad) en tres densidades de siembra de tilapia de 50, 75 y 100 peces por m^3 de agua y la biomasa vegetal (g/m^2) de lechuga variedad Longifolia.



Figura 1. Ubicación de la investigación

2.2. Metodología de campo

2.2.1. Diseño y construcción del sistema acuapónico

La investigación se estableció en un área de 81 metros cuadrados, la cual se dividió en 3 sub-áreas, cada una con 18 m^2 , iniciando el ensayo desde la limpieza del lugar. En cada sub-área se construyó un modelo acuapónico (figura 2) con: 1) A: un tanque rectangular de asbesto-cemento, aproximadamente de 1 metro cúbico (m^3) de agua, donde se colocó las diferentes densidades de tilapia a evaluar; 2) B y C: dos filtros mecánicos que funcionaron como sedimentador después de cada tanque; 3) D: un tercer filtro biológico que retiene las bacterias nitrificantes naturales presentes en el agua de los estanques, de donde se tomó el

agua inicial en la estación, estas bacterias transformaron el amoniaco (NH_3) y el amonio (NH_4) presentes en las excretas de las tilapias, en nitritos y nitratos, siendo estos últimos el alimento de las lechugas; para brindar a las bacterias mayor superficie para que se alojen se colocó un saco de nylon color rojo (los utilizados para transportar frutas y hortalizas), estos tres filtros fueron diseñados con barriles de plástico color celeste y capacidad de 35 galones (132.48 litros); 4) E: una cama hidropónica para las plantas de lechuga, la cual se elaboró de madera de ceiba (*Ceiba pentandra*), conacaste blanco (*Enterolobium cyclocarpum*), cedro (*Cedrela odorata* L.) y amate (*Ficus trigonata* L), con dimensiones de 4 m de largo, 1 m de ancho y 0.25 m de alto, las cuales fueron forradas con cartón para evitar daños del plástico con las astillas de la madera; y plástico negro (polietileno de baja densidad) para contener el agua en las camas de siembra; 5) F: un barril de plástico color celeste, con capacidad de 200 litros (52.84 galones), que realizó la función de tanque receptor de agua proveniente de la salida de la cama hidropónica.

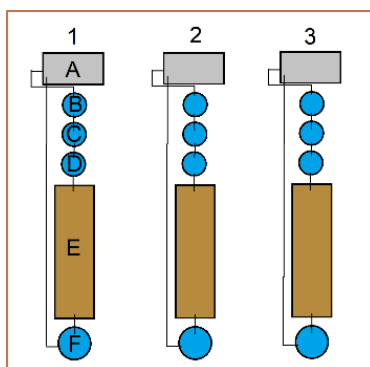


Figura 2. Esquema de distribución de un sistema acuapónico.

2.2.2. Manejo del cultivo de tilapia

La desinfección del tanque de peces se realizó con un encalado, utilizando 125 gramos (g) de Óxido de Calcio (CaO) por m^2 del estanque. Se sembraron tilapias en etapa de desarrollo intermedio o engorde, con un peso inicial entre 24-29 g (juvenil), en densidades de 50, 75 y 100 peces por m^3 de agua. En el primer mes se les proporcionó alimentos concentrados que contenían 38% de proteína y del segundo mes a la cosecha se les proporcionó concentrado con 32% de proteína. El alimento proporcionado diariamente se dividió en 2 raciones: la primera a las 9:00 a.m. y la segunda a las 3:00 p.m., este se calculó de acuerdo con el peso obtenido en los muestreos realizados cada dos semanas (cuadro 1).

Cuadro 1. Alimento concentrado proporcionado a las tilapias según muestreos.

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

En los muestreos de tilapia se utilizó una red o lumpe para la captura de peces y una báscula electrónica para pesar los peces muestreados (figura 3), además de contarlos; el peso total de la muestra se dividió entre el número de peces muestreados para obtener el peso promedio de los peces en el estanque, este dato sirvió para calcular la cantidad de alimento a través de las tablas que establecen el porcentaje diario de alimento para cada etapa según el peso alcanzado, en este caso fue de 5-6% para los pesos promedios entre 25-50 g. Además, durante el muestreo se examinaron los peces en busca de parásitos, daños en la piel y en aletas, de manera de identificar a tiempo la incidencia de parásitos o de enfermedades (MAG 2001).



Figura 3. Instrumentos para el muestreo y cosecha de tilapia.

La cosecha total de los peces de tilapia se hizo al mes y medio después de sembrados, se realizó temprano por la mañana, para ello se usó un lumpe (red de mano de tamaño pequeño). Esta red se pasó por el estanque encerrando los peces, para obtener la talla se midieron los peces con regla métrica (figura 4A) y se pesaron en una balanza electrónica (figura 4B).

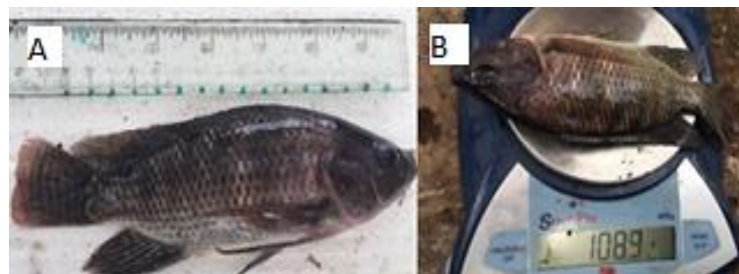


Figura 4. (A) Medición de la longitud de la tilapia; (B) Pesaje de cada tilapia.

2.2.3. Manejo del cultivo de lechuga

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

El mantenimiento y manejo del cultivo de lechuga en raíz flotante incluyó el control mecánico de plagas y enfermedades, que se llevó a cabo mediante la observación minuciosa para el descarte de plantas dañadas o enfermas. Además, se midió la conductividad eléctrica y el pH de la solución nutritiva. La cosecha de la lechuga se realizó a los 30 días después del trasplante, para ello se extrajeron manualmente las lechugas que estaba dentro de los vasos de plástico en la cama hidropónica (figura 5).



Figura 5. Cosecha y medición de lechugas.

2.2.4. Actividades realizadas diariamente

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

2.3. Metodología de laboratorio

Para la evaluación de la eficiencia del sistema acuapónico se realizaron análisis fisicoquímicos (in situ) tres veces a la semana en horas de la mañana, con el equipo del laboratorio de calidad del agua de la Estación Acuícola de Santa Cruz Porrillo de CENDEPESCA. Para medir la transparencia del agua se sumergió verticalmente el disco de Secchi (figura 6A) en el punto medio del tanque hasta que se dejó de ver, se registró la profundidad y se volvió a subir hasta que nuevamente se hizo visible, luego se promedió las dos medidas (desaparición con disco descendiendo y aparición en ascenso) para obtener una medida de la transparencia del agua. Para medir el oxígeno disuelto se utilizó el Medidor de oxígeno disuelto marca "YSI" modelo "550A" (figura 6B); para medir el pH, temperatura y conductividad eléctrica se utilizó el multiparámetro resistente al agua marca "PCSTestr35" modelo "WD-35425-10" (figura 6C). Para la medición de nitratos y nitritos se utilizó tiras de prueba de nitrito y nitrato "AquaChek rosa 641426" marca "HACH" (figura 6D), siguiendo los pasos de calibración y medición de los manuales.

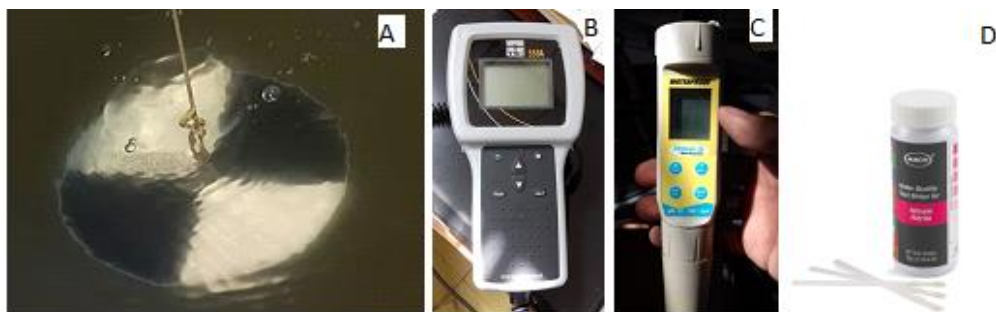


Figura 6. (A) Disco Secchi (B) Oxigenómetro (C) Multiparámetro (D) AquaChek.

2.4. Metodología estadística

Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar, las variables evaluadas fueron la producción de biomasa animal y vegetal del sistema acuapónico. Los parámetros medidos fueron: peso de la tilapia, longitud de la tilapia y el peso de la lechuga; el factor de bloqueo fue el periodo o tiempo de realización del experimento, los tratamientos fueron tres y cada uno de ellos tuvo tres repeticiones (cuadro 2): T1 = 50 peces/m³, T2 = 75 peces/m³ y

T3 = 100 peces/m³, los tres tratamientos tenían 4 m² de cultivo hidropónico de lechuga variedad Longifolia. El nivel de significancia del estudio fue del 5%, por ser un experimento de campo. El análisis de datos se realizó con el software estadístico INFOSTAT versión 9.0.

Cuadro 2. Densidad de tilapia y de lechuga por tratamiento.

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

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

2.5. Costos de inversión

El cuadro 3 detalla los costos de los equipos utilizados en el sistema acuapónico en los tres bloques de la investigación.

Cuadro 3. Costos de los equipos utilizados para establecer un sistema acuapónico.

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

Se evaluó el sistema acuapónico con el fin de tener una nueva alternativa de fuente de ingresos para los productores de tilapia en el país, obteniendo los siguientes costos de inversión-operación de los materiales utilizados en el ensayo (cuadro 4).

Cuadro 4. Costos de inversión y de operación para establecer un sistema acuapónico.

Concepto	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (dólares)	T ₁	T ₂	T ₃	Precio Total (dólares)
				Densidad 50 peces y 64 lechugas	Densidad 75 peces y 64 lechugas	Densidad 100 peces y 64 lechugas	
Estanques (1 m ³)	3	Unidad	\$100.00	\$100.00	\$100.00	\$100.00	\$300.00
Barriles (35 gl)	9	Unidad	\$30.00	\$90.00	\$90.00	\$90.00	\$270.00
Barriles (55 gl)	3	Unidad	\$20.00	\$20.00	\$20.00	\$20.00	\$60.00
Tubería 2" PVC	12	Metros	\$5.95	\$23.80	\$23.80	\$23.80	\$71.40
Codos 45° PVC	30	Unidad	\$0.95	\$9.50	\$9.50	\$9.50	\$28.50

Válvulas	9	Unidad	\$14.50	\$43.50	\$43.50	\$43.50	\$130.50
Sumidero lava trastos	9	Unidad	\$15.00	\$45.00	\$45.00	\$45.00	\$135.00
Plástico	12	Yardas	\$0.95	\$3.80	\$3.80	\$3.80	\$11.40
Alevines*	675	Unidad	\$0.05	\$3.50	\$5.25	\$7.00	\$15.75
Durapax* (4mx 8mx 3pulg)	4	Unidad	\$7.00	\$9.33	\$9.33	\$9.33	\$27.99
Alimento tilapia*	2	Quintales	\$38.00	\$25.33	\$25.33	\$25.33	\$75.99
Clavos para madera	2	Libras	\$1.05	\$0.70	\$0.70	\$0.70	\$2.10
Alambre galvanizado calibre 16	5	Libras	\$0.60	\$1.00	\$1.00	\$1.00	\$3.00
Plantines de lechuga (bandejas)	3	Unidades	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$30.00
Malla*	15	Metros	\$2.50	\$12.50	\$12.50	\$12.50	\$37.50
Silicón de tubería	9	Unidades	\$2.00	\$6.00	\$6.00	\$6.00	\$18.00
Subtotal por tratamiento				\$403.96	\$405.71	\$407.46	\$1,217.13
TOTAL							\$1,217.13

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Peso de las tilapias

Sobre el peso de las tilapias, el tratamiento que más ganancia de peso promedio tuvo fue el tratamiento 1 con 50 peces y un peso promedio de 76.1 g, obteniendo el mayor peso en la repetición 3 (90.7 g) (cuadro 5).

Cuadro 5. Peso promedio (g) de las tilapias.

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

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

La probabilidad para los tratamientos es igual a 0.0334 (cuadro 7), resultando menor a la probabilidad establecida en la investigación que es igual a 0.05, por lo que las tres densidades de siembra: 50 peces/m³, 75 peces/m³ y 100 peces/m³, están produciendo efectos diferentes sobre la producción de biomasa animal, visualizándose mayor ganancia de peso en el tratamiento 1 de 50 peces, teniendo las mejores ganancias de peso de los tres tratamientos en las tres repeticiones efectuadas a cada uno.

Cuadro 6. Coeficiente de variación para peso en gramos de tilapia.

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

Cuadro 7. Análisis de Varianza (SC tipo III) para peso en gramos de tilapia.

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

3.1.1. Prueba de Contrastes Ortogonales

Contraste 1 (C1 = 50 peces/m³ – 75 peces/m³, 100 peces/m³)

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

Contraste 2 (C2 = 75 peces/m³ – 100 peces/m³) (cuadro 8)

La comparación de la densidad de siembra de 75 peces/m³ contra 100 peces/m³, está produciendo iguales efectos sobre la variable producción de biomasa animal, con un nivel de significancia del 5% (cuadro 9).

Cuadro 8. Coeficientes de los Contrastes Ortogonales.

Tratamiento	C1	C2
1	2.00	0.00
2	-1.00	1.00
3	-1.00	-1.00

Cuadro 9. Contrastes Ortogonales para peso en gramos de tilapia.

Tratamiento	Contrastes	EE	SC	gl	CM	F	p-valor
C1	57.40	16.17	1647.38	1	1647.38	12.60	0.0121
C2	-1.53	9.34	3.53	1	3.53	0.03	0.8749
Total			1650.91	2	825.45	6.31	0.0334

3.2. Longitud de las tilapias

Al comparar la longitud de las tilapias en tres densidades de siembra en un sistema acuapónico, se obtuvieron los siguientes resultados: para la longitud de las tilapias el tratamiento que más longitud promedio alcanzo fue el Tratamiento 1 (50 peces/m³) con una longitud promedio de 14.1 cm, obteniendo la mayor longitud en el bloque 1 con 14.6 cm (cuadro 10).

Cuadro 10. Longitud promedio (cm) de las tilapias.

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

Según Meyer (1999) citado por García *et. al.* (s.f.), el crecimiento de los peces depende en gran parte de la calidad del agua, por lo que, para lograr una buena producción es necesario mantener las condiciones físico-químicas del agua dentro de los límites de tolerancia para la especie a cultivar.

El coeficiente de variación para longitud en centímetros de tilapia es de 7.44 (cuadro 11) y la probabilidad para los tratamientos es igual a 0.5445 (cuadro 12), resultando mayor a la probabilidad establecida en la investigación que es igual a 0.05, por lo que las 3 densidades de siembra: 50 peces/m³, 75 peces/m³ y 100 peces/m³, no están produciendo efectos diferentes sobre la variable longitud de los peces en centímetros.

Cuadro 11. Coeficiente de variación para longitud en centímetros de tilapia.

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

Cuadro 12. Análisis de Varianza (SC tipo III) para longitud (cm) de tilapia.

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

3.3. Calidad del agua en el cultivo de tilapias

3.3.1. Temperatura del agua

Los resultados de la temperatura del agua obtenidos en esta investigación durante los tres ciclos del ensayo se mantuvieron en un rango entre 27.4 a 30° C, con un promedio general de 29° ± 1° C (cuadro 13), lo que coincide con lo reportado por Colagrosso (2014), que señala que el rango óptimo de temperatura del agua para crianza de tilapia en sistemas acuapónicos se encuentra en un rango de 28 a 32° C.

Cuadro 13. Temperaturas promedio del agua en los estanques de tilapias.

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

Saavedra (2006) dice que las temperaturas ideales para tilapia son entre 25-32° C, por lo cual, los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con lo reportado por el autor.

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

La permanencia de la temperatura en el grado óptimo ejerció un efecto positivo sobre el crecimiento, la tasa metabólica, la fisiología y el consumo de oxígeno de las tilapias, generando estabilidad en el ecosistema, disminuyendo el estrés, el porcentaje de mortalidad,

umentando el apetito y las defensas, resultando menos susceptibles a enfermedades bacterianas y parasitarias (Fernández s.f.).

3.3.2. Oxígeno disuelto

El resultado promedio del oxígeno disuelto obtenido durante los tres ciclos de la investigación fue de 6.4 mg/l. La densidad de peces no tuvo efectos significativos sobre la concentración del oxígeno disuelto, ya que en la investigación se contó con un sistema de aireación que mejoraba las condiciones del clima dentro del estanque en el que permanecieron los diferentes tratamientos durante los tres tratamientos.

Durante el día el oxígeno fluctuaba de acuerdo con la hora, al amanecer los niveles de oxígeno disuelto eran más bajos, pero a medida que transcurría el día con la presencia de la luz del sol, el oxígeno disuelto aumentaba a niveles que llegaban hasta 8 mg/l, lo cual coincide con lo reportado por FAO (2011), en donde menciona que el fitoplancton (plantas microscópicas del estanque) son las que producen oxígeno y hacen que esta variable se eleve y alcance las concentraciones de oxígeno disuelto deseadas en el sistema.

Cuadro 14. Oxígeno disuelto en los tanques de tilapias.

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

La concentración de oxígeno disuelto en el agua es una de las principales características para definir la calidad del agua para la acuicultura, valores mayores a 5 mg/l son claves para el óptimo desarrollo del cultivo de tilapia (FAO 2017).

3.3.3. Potencial de hidrógeno (pH)

Durante los tres ciclos de producción el agua de todos los estanques se mantuvo con un valor de pH de 7.2 (cuadro 15), el cual genera una condición favorable para el cultivo de tilapia. La clave para el control de este parámetro consistió en la utilización de filtros mecánicos que separaban los residuos sólidos, que luego eran removidos del sistema para prevenir la liberación de gases tóxicos por parte de bacterias dañinas que se alimentan de los residuos acumulados. Además, estos residuos gruesos podían obstruir el sistema (tuberías, bombas, otras) e interrumpir el flujo de agua, causando condiciones estresantes para las raíces de las plantas.

El pH en esta investigación no se vió influenciado por la densidad de peces, ya que se contó con un sistema de aireación que mejoraba las condiciones de la calidad del agua dentro de los tanques de los diferentes tratamientos.

Cuadro 15. Resultados promedio de pH en los estanques de tilapias.

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

Según la FAO (2011) los valores ideales de pH para la crianza de tilapia deben de estar en el rango de 6.5 a 9. El pH tiene una relación directa con la temperatura y el oxígeno disuelto, ya que al elevarse la temperatura los niveles de oxígeno aumentan y también los de pH.

El pH de las aguas naturales es modificado por la concentración del bióxido de carbono (CO₂) en solución, el cual es generado por los desechos de los peces, restos de alimento y la materia orgánica. Su acumulación tiende a bajar el pH del agua, provocando la formación de protones adicionales ya que actúa como ácido en el agua (FAO 2016).

Durante las horas de luz solar las algas utilizan el CO₂ para realizar fotosíntesis, la concentración de CO₂ se reduce y como consecuencia sube el pH del agua. En la noche no hay actividad fotosintética, la respiración de los organismos aeróbicos (peces, fitoplancton, zooplancton, bacterias y otros) produce CO₂ y su concentración aumenta hasta la mañana del día siguiente. Los valores de pH más bajos en el agua de un estanque son encontrados en horas de la madrugada (FAO 2011).

3.3.4. Nitratos

Durante los tres ciclos de producción el agua de todos los estanques se mantuvo con un valor de Nitratos en un rango de 0.42 a 0.48 mg/l (cuadro 16).

Cuadro 16. Resultados promedio de Nitratos en el sistema acuapónico.

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

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

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

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

3.3.5. Nitritos

Durante los tres ciclos de producción los valores de Nitritos se mantuvieron en un rango de 0.22 a 0.26 mg/l (cuadro 17).

Cuadro 17. Resultados promedio de Nitritos en el sistema acuapónico.

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

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

3.4. Peso de las lechugas

Sobre la producción de lechugas con agua recirculada en un sistema acuapónico se obtuvieron los siguientes resultados: el tratamiento que más ganancia de peso tuvo fue el tratamiento 1 con un peso promedio de 131.8 g, obteniendo el mayor peso en la repetición 1 (50 peces /m³) con 142.8 g (cuadro 18).

Cuadro 18. Peso promedio de las lechugas.

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

En un estudio realizado por Moreno (2014), evaluaron el crecimiento de la lechuga con efluentes del cultivo de tilapia, usando la técnica de solución nutritiva recirculante (NFT), en la cual evaluaron distintas densidades de peces/m³, obteniendo el mayor crecimiento (longitud de hoja y peso fresco total) con el tratamiento de 50 peces/m³, registrándose valores promedio de 118.20 g/planta y una rentabilidad de 2,261 kg/m², esto debido a la influencia de la temperatura ambiente y el pH.

El coeficiente de variación para peso en gramos de lechuga es de 15.09 (cuadro 19) y la probabilidad para los tratamientos es 0.0284 (cuadro 20), resultando menor a la probabilidad establecida en la investigación que es 0.05, por lo que las 3 densidades de siembra 50 peces/m³, 75 peces/m³ y 100 peces/m³, están produciendo efectos diferentes sobre la producción de biomasa vegetal.

Cuadro 19. Coeficiente de variación para peso en gramos de lechuga.

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

Cuadro 20. Análisis de Varianza (SC tipo III) para peso en gramos de lechuga.

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

3.4.1. Prueba de Contrastes Ortogonales

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

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

Contraste 2 ($C_2 = 75 \text{ peces/m}^3 - 100 \text{ peces/m}^3$) (cuadro 21)

La comparación de la densidad de siembra de 75 peces/m³ contra 100 peces/m³, está produciendo iguales efectos sobre la variable producción de biomasa (cuadro 22).

Cuadro 21. Coeficientes de los Contrastes.

Tratamiento	C₁	C₂
1	-2.00	0.00
2	1.00	-1.00
3	1.00	1.00

Cuadro 22. Contrastes Ortogonales para peso en gramos de lechuga.

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

3.5. Calidad del agua en el cultivo de lechuga

3.5.1. Temperatura del agua

En los tres ciclos de la investigación la temperatura del agua medida en la zona donde se encuentran las raíces del cultivo de lechuga tuvo una temperatura promedio de 28.1 a 28.4° C en todos los tratamientos (cuadro 23), la cual se vio afectada por la temperatura y la humedad relativa del lugar en que se desarrolló la investigación, ya que en la realización del tercer bloque en el mes de diciembre de 2017, hubo lluvias y eso hizo que la temperatura del sistema llegara a 30° C aproximadamente.

Cuadro 23. Temperaturas promedio del agua en las camas hidropónicas.

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

Según Smithers (s.f.), la temperatura radicular es muy importante para la mayoría de cultivos, ya que si no se encuentra en su temperatura ideal, la planta detendrá su crecimiento

y en algunos casos se pueden manifestar deficiencias nutricionales. La temperatura de las raíces no debe bajar de 13° C, ni estar sobre los 30° C, puede variar dependiendo del cultivo.

De acuerdo con Jaques (2005) citado por Gutiérrez (2001), la temperatura óptima para el cultivo de lechuga es de 18° a 23° C.

Thompson *et. al.* (1998) citado por Gutiérrez (2001), señalan que la temperatura adecuada en la raíz de la lechuga que favorece la mayor acumulación de materia seca es de 24° C.

3.5.2. Potencial de hidrógeno (pH)

El pH promedio del agua del cultivo de lechuga durante la investigación fue de 6.7 a 6.8 (cuadro 24). Este rango no se mantuvo dentro del rango óptimo para que las plantas se desarrollen normalmente en sistemas de acuaponía, debido a la poca fluctuación del pH entre el agua del estanque de peces y el agua del filtro biológico.

Cuadro 24. pH promedio del agua en las camas hidropónicas.

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

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

3.5.3. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de la solución nutritiva tuvo un promedio de 2.8 dS/m (cuadro 25) en los tres bloques y en los tres tratamientos. Lo anterior se debe a la existencia de una mayor evapotranspiración en las plantas, que trae como consecuencia una acumulación progresiva de sales en el sustrato y con ello un aumento de la conductividad eléctrica del mismo, lo cual coincide con lo reportado por Castellanos (2000) citado por Gutiérrez (2001).

Cuadro 25. Conductividad eléctrica promedio del agua en las camas hidropónicas.

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

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

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

Según Hadid *et. al.*, (1996) citado por Gutiérrez (2001), la conductividad eléctrica tiene efecto sobre un mayor rendimiento y mejor calidad de la cosecha, al aumentar los niveles de

clorofila, ya que hay mayor absorción de fósforo, potasio, hierro y manganeso, cuando se manejan conductividades entre 1.5 a 1.8 dS·m⁻¹.

4. CONCLUSIONES

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

Las tres densidades de tilapias evaluadas no mostraron diferencias significativas en la longitud de las unidades experimentales, sin embargo, el tratamiento de 50 peces/m³ presentó la mayor longitud con 0.6 cm más que el tratamiento dos y 0.9 cm más que el tratamiento tres, porque según García *et. al.* (s. f.), el crecimiento de los peces depende en gran parte de la calidad del agua, por lo que, para lograr una buena producción, es necesario mantener las condiciones físico-químicas del agua dentro de los límites de tolerancia para la especie a cultivar y se podría decir que el tratamiento de 50 peces/m³ logro mantener de mejor manera los parámetros físico-químicos en sus rangos.

El tratamiento de 50 tilapias/m³ generó el mayor peso de biomasa vegetal en la lechuga, la cual fue de 142.8 g con un peso promedio de 151.8 g, porque Según Saavedra (2006), los peces crecen más rápido cuando tienen mucho espacio y mayor cantidad de agua, si la densidad es muy alta genera estrés en los peces y afecta la ganancia de peso.

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

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

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

5. RECOMENDACIONES

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

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

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

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

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

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

6. BIBLIOGRAFÍA

- Avalos, D. 2013. ACUAPONIA: Una alternativa para reutilizar el agua en las granjas acuícolas (en línea). Yucatán, México. Consultado 13 jun. 2017. Disponible en https://issuu.com/divulgacionacuicola/docs/revista_divulgacion_acuicola__agost
- CENADAC (Centro Nacional de Desarrollo Acuícola, Argentina). Técnicas de Acuaponía (en línea). s.l. Consultado 11 jun. 2018. Disponible en: https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos/00000_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/160831_T%C3%A9cnicas%20de%20Acuaponia.pdf
- Colagrosso, A 2014. Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala: Rutinas diarias y mensuales (en línea). s. l. Consultado 15 jun. 2017. Disponible en http://www.elfinancierocr.com/negocios/Manual-desarrollocultivo-acuaponico_ELFFIL20140113_0001.pdf
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Paraguay). 2011. Manual básico de sanidad piscícola (en línea). Consultado 17 febrero 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-as830s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). TECA (Tecnologías y prácticas para pequeños productores agrarios, Italia). 2017. Diseño de un sistema acuapónico (en línea). Consultado 15 jun. 2017. Disponible en <http://teca.fao.org/es/read/8725>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, España). 2011. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura (en línea). Consultado 28 ago. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/3/b-i1688s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, España). 2016. Mejora de la calidad de agua en los estanques (en línea). Consultado 28 ago. 2017. Disponible en http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s02.htm
- Fernández, M. s.f. s.l. Calidad del agua (en línea). Consultado 17 febrero 2018. Disponible en: http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020082556/1020082556_004.pdf
- García, A; Tume, J; Juárez, V. s.f. Determinación de los parámetros de crecimiento de la Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) en un estanque revestido con geomembrana y abastecido con agua de subsuelo (en línea). s.l. Consultado 16 oct. 2015. Consultado 11 jun. 2018. Disponible en: http://www.uap.edu.pe/Investigaciones/Esp/Revista_15-02_Esp_05.pdf
- Gestiopolis. s.f. Acuaponía como estrategia del desarrollo sustentable (en línea). s. l. Consultado 28 ago. 2016. Disponible en <http://www.gestiopolis.com/acuaponiacomoestrategia-del-desarrollo-sustentable/>

- Gutiérrez, J. 2001. s.l. Producción hidropónica de lechuga con y sin recirculación de solución nutritiva (tesis). Tesis Maestro en ciencias en horticultura. Consultado 18 febrero 2018. Disponible en: <https://chapingo.mx/horticultura/pdf/tesis/TESISMCH2011120908126441.pdf>.
- INTAGRI. Acuaponía para la Producción de Plantas y Peces. Serie Horticultura Protegida Núm. 32. Artículos Técnicos de INTAGRI (en línea). México. 2017. 6 p. Consultado 10 marzo 2018. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/acuaponia-produccion-deplantas-y-peces#>
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador). 2001. Guía para el cultivo de tilapia en estanques (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 25 abr. 2018. Disponible en <http://www.tilapiasdelosur.com.ar/downloads/guiatecnicatilapiadeelsalvador.pdf>
- Moreno, E; Zafra, A. 2014. Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia (en línea). Trujillo, Perú. Consultado 11 jun. 2018. Disponible en: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbbiol/article/view/770>
- Saavedra, M. 2006. Manejo del cultivo de tilapia. Calidad del agua (en línea). Managua, Nicaragua. CIDEA. Consultado 30 ago. 2016. Disponible en <http://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIACIDEA.pdf>
- Smithers Oasis. s.f. México. Manual de hidroponía. (en línea) Consultado 18 febrero 2018. Disponible en: http://www.oasiseasyplant.mx/wpcontent/uploads/2017/04/Manual-de-hidroponia_Media.pdf