

SISTEMA DE CULTIVO ACUAPÓNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE TILAPIA (*Oreochromis Sp.*) Y LECHUGA (*Lactuca sativa*)

ACUAPONIC CULTIVATION SYSTEM FOR THE PRODUCTION OF TILAPIA (*Oreochromis Sp.*) AND LETTUCE (*Lactuca sativa*)

*José Adrián Pincay Campos*¹, *Evelyn Rosalía Sánchez Darquea*²

*1Carrera de Ingeniería Ambiental, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí
Manuel Félix López, Sitio El Limón, Campus Politécnico Calceta, Manabí, Ecuador.*

Email: jose_pinkay1996@hotmail.com

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar un sistema acuapónico a escala piloto de producción de tilapia (*Oreochromis sp.*) y lechuga (*Lactuca sativa*). El método aplicado fue descriptivo de campo el cual permitió observar y describir el comportamiento del objeto de estudio, y de la misma forma la obtención de datos en el desarrollo del sistema acuapónico. El diseño del sistema acuapónico permitió obtener resultados eficientes; además, de que no hubo desperdicio de agua, ya que toda el agua fue recirculada y no ocasionó ningún daño a las plantas de lechuga implementadas en el sistema acuapónico. Se obtuvo un buen rendimiento de peces de 97,08 g y la longitud de las hojas de lechuga fue de 15,4 cm. Las características fisicoquímicas del efluente salobre de tilapia mostraron que el pH, oxígeno, carbonatos, nitritos, nitratos, dureza, sólidos suspendidos, calcio, turbidez, color y fosfato estuvieron dentro de los intervalos óptimos para el cultivo de plantas. Es por ello que, el sistema acuapónico constituye una alternativa ecológica y viable, ya que se reduce la utilización de productos químicos y el tiempo de espera para la producción de los peces y no se desperdicia agua.

Palabras clave: Acuaponía, seguridad alimentaria, comunidades rurales.

Abstract

The objective of this research was to evaluate a pilot scale aquaponic system for the production of tilapia (*Oreochromis sp.*) And lettuce (*Lactuca sativa*). The applied method was descriptive of field which allowed to observe and describe the behavior of the object of study, and in the same way the obtaining of data in the development of the aquaponic system. The design of the aquaponic system allowed to obtain efficient results; in addition, that there was no waste of water, since all the water was recirculated and did not cause any damage to the lettuce plants implemented in the aquaponic system. A good fish yield of 97.08 g was obtained and the length of the lettuce leaves was 15.4 cm. The physicochemical characteristics of brackish effluent from tilapia showed that pH, oxygen, carbonates, nitrites, nitrates, hardness, suspended solids,

calcium, turbidity, color and phosphate were within the optimal ranges for plant cultivation. That is why the aquaponic system is an ecological and viable alternative, since the use of chemical products and the waiting time for fish production are reduced and water is not wasted.

Keywords: *Aquaponics, food security, rural communities.*

Introducción

Según la FAO (2010) la seguridad alimentaria consiste en la disponibilidad, acceso, utilización correcta y estabilidad de alimentos para las personas de una población. Sin embargo, existen factores que pueden afectar a la seguridad alimentaria como lo son: subida en los precios del alimento, la degradación del medio ambiente y condiciones climáticas adversas, formas de producción y distribución ineficientes.

Por otra parte, Foley (2014) afirma que la agricultura y ganadería intensivas genera diversos contaminantes como son la liberación de gases de invernadero (metano) producto de la ganadería, la liberación de óxido nitrógeno debido al uso de fertilizantes nitrogenados, además del consumo masivo y contaminación de las fuentes de agua para labores agrícolas, por tal razón los sistemas de producción de alimentos sostenibles están tomando cada vez más importancia a nivel mundial.

El desarrollo intensivo de la acuicultura implica mayor uso de insumos, lo cual conduce a la explotación de los recursos naturales y a un mayor impacto ambiental negativo por la generación de efluentes que contienen compuestos orgánicos o inorgánicos del alimento no consumido, y heces fecales. Las grandes extensiones de monocultivos provocan la extracción y exportación de nutrientes, y la pérdida continúa de materia orgánica que sufre el suelo, que conlleva a que este se empobrezca continuamente, son entre otras causas las que provocan que el rendimiento de los cultivos disminuya. La contaminación del suelo se debe tanto a tratamientos específicos (por ejemplo: insecticidas aplicados al suelo), como a contaminaciones provenientes de tratamientos al caer al suelo el excedente de los plaguicidas, o ser arrastradas por las lluvias las partículas depositadas en el sistema biótico (plantas y animales) y abiótico (suelo, aire y agua) amenazando su estabilidad y representando un peligro de salud pública (Fitwi *et al.*, 2012).

De acuerdo con Reyes *et al.* (2016) la utilización del efluente acuícola para la producción de plantas es una posibilidad para disminuir la inversión en fertilizantes, por eso la investigación en esta área, se enfoca en la búsqueda de estrategias para hacer la acuaponía más rentable y sustentable. El uso intensivo de agroquímicos en la agricultura conlleva a la contaminación de agua, suelo y aire, además de la afectación a la salud pública y al sistema biótico.

Moreno y Zafra (2014) definen la acuaponía como una actividad tecnológica en la cual los desechos orgánicos producidos por el alimento no consumido y por heces y orina de los organismos acuáticos en cultivo se convierten, mediante la acción bacteriana, en nitratos que sirven como fuente de nutrientes para el crecimiento de las plantas, lo que a su vez mejora

significativamente la calidad del agua actuando como un filtro biológico, al grado de que puede reintegrarse a los sistemas acuáticos.

El Plan Nacional de Desarrollo 2017–2021 es un instrumento al que se sujetarán las políticas, programas y proyectos públicos; la programación y ejecución del presupuesto del Estado; y la inversión y la asignación de los recursos públicos; y coordinar las competencias exclusivas entre el Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados. El objetivo 6 del Plan Nacional de Buen Vivir es Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentara y el buen vivir rural. Es fundamental impulsar modelos de producción alternativos e incluyentes, los mismos que permitan fortalecer el poder organizativo de las localidades y el rescate de los saberes culturales. De tal forma que el impulso y desarrollo de sistemas productivos bajo enfoque agroecológico se presentan como una alternativa viable para alcanzar la soberanía alimentaria (SENPLADES, 2017).

Materiales y métodos

La investigación se ejecutó en el vivero del bosque de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, sitio El Limón, cantón Bolívar, ubicado a 0°49'33.8"de Latitud sur y 80°11'02.5"de Longitud oeste.

El método aplicado fue descriptivo de campo el cual permitió observar y describir el comportamiento del objeto de estudio, y de la misma forma la obtención de datos en el desarrollo del sistema acuapónico en la producción de *Oreochromis sp.* y *Lactuca sativa*.

Se evaluaron dos variables independientes (Sistema de cultivo acuapónico: subsistema agrícola y subsistema acuícola) y la dependiente (Producción de *Oreochromis sp.* y *Lactuca sativa*).

La ejecución del proyecto contó de las siguientes fases:

- Fase 1. Diseño acuapónico sustentable

Sub-sistema agrícola

Para el sub-sistema agrícola referente a la obtención de las plántulas de lechuga, la semilla de *L. sativa*, se adquirió en una empresa certificada. Luego se efectuó la siembra directa, se llenaron los vasos plásticos hasta la mitad con el sustrato y se pusieron dos semillas en cada uno de los vasos, colocándolos en las planchas de polietileno, en las que se hizo un agujero para permitir que el agua del tanque de peces humedezca la raíz constantemente. Se midió la longitud de las plantas semanalmente, utilizando un calibrador.

Sub-sistema acuícola

El sub-sistema acuícola para la crianza de *Oreochromis sp.* estuvo conformado por 30 ejemplares de 1 mes de edad con una longitud variable de 5 cm en promedio.

- Fase 2. Sistema acuapónico integrando los sub-sistemas agrícola (lechuga-*Lactuca sativa*) y acuícola (tilapia- *Oreochromis sp.*), a escala piloto

a) Plantas

Las plantas de lechuga fueron producidas en el vivero del bosque, en una estructura de madera.

b) Peces

Se utilizaron pequeños juveniles de tilapia (*Oreochromis sp.*) provenientes de una empresa certificada.

Los peces fueron alimentados a saciedad dos veces por día, a las 11:00 am y 16:00 pm.

Fase 3. Crecimiento de lechuga y tilapia

Toma de datos biométricos

a) Altura y peso de plantas

La variable altura de la planta se midió desde la base hasta la parte superior de la misma, que comprende el nivel del tubo de PVC. La altura de las plantas se registró semanalmente, utilizando una cinta métrica y expresando sus valores en centímetros, bajo la metodología aplicada por Hernández (2009).

Utilizando las siguientes fórmulas para el cálculo de la ganancia de altura de la hoja de la lechuga:

$$\text{ganancia de altura (cm)} = HH_f - HH_i \quad [3.2.]$$

$$\text{ganancia de peso}(\%) = \frac{HH_f - HH_i}{HH_f} * 100 \quad [3.3.]$$

Donde:

HHf: Peso final registrado en (cm)

HHi: Peso inicial registrado en (cm)

b) Tasa de crecimiento en peces

Se procedió al cálculo de la ganancia de peso de las tilapias con la siguiente fórmula:

$$\text{ganancia de peso (g)} = P_f - P_i \quad [3.4.]$$

$$\text{ganancia de peso}(\%) = \frac{P_f - P_i}{P_f} * 100 \quad [3.5.]$$

Donde:

Pf: Peso final registrado en (g)

Pi: Peso inicial registrado en (g)

Resultados y discusión

- Desarrollo del sistema acuapónico a escala piloto

Se elaboró el sistema acuapónico que contó con un estanque de crecimiento de peces de 0,50 m³, un oxigenador, una bomba sumergible con una potencia de 37,3 W y un flujo máximo de 23,7 L/min, un sistema de descarga o drenaje con mangueras de 1,5 m. Una cama de crecimiento de plantas de 3 m de largo y 1 m de ancho, hecha con tablas de madera y

recubierta con plástico para evitar fugas de agua, tres láminas de poliestireno de un metro cuadrado y vasos plásticos. Asimismo, se utilizó un sustrato realizado con mezcla de fibra de coco (75%) y compost (25%).

Las dimensiones de la cama fueron de 1,80 y 0,80 m, se sembró 32 plantas de lechuga con sustrato de coco. En el sistema de acuaponía se emplearon 30 tilapias (Figura 1)

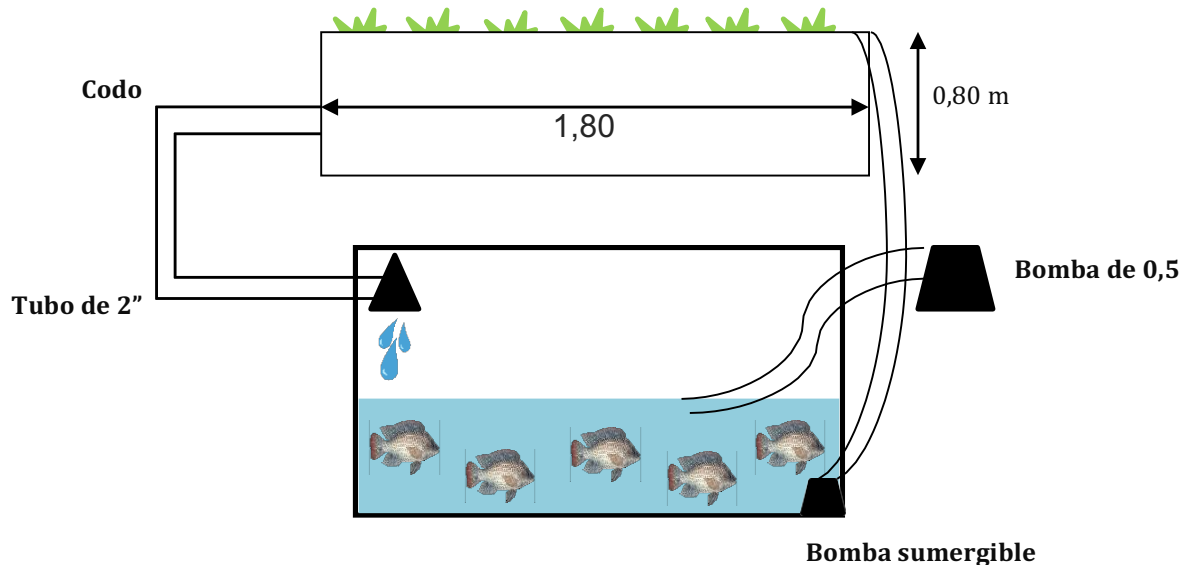


Figura 1. Esquema del Sistema Acuapónico

- Construcción del sub-sistema agrícola

Para el sistema agrícola referente a la obtención de las plántulas de lechuga, la semilla de *Lactuca sativa*, se adquirió en una empresa certificada. Luego se efectuó la siembra directa, se llenaron los vasos plásticos hasta la mitad con el sustrato y se colocaron 2 semillas en cada uno de los vasos, colocándolos en las planchas de polietileno, en las que se hizo un agujero para permitir que el agua del tanque de peces humedezca la raíz constantemente. Se midió la longitud de las plantas semanalmente, utilizando un calibrador.

- Construcción del sub-sistema acuícola

El sub-sistema acuícola para la crianza de *Oreochromis sp.* estuvo conformado por 30 ejemplares de 1 mes de edad con una longitud variable de 5 cm en promedio.

El sistema agro-acuícola se produjo a través de la fusión de los subsistemas acuícola y agrícola (Figura 2).



Figura2. Construcción del Sistema Acuapónico.

- Implementación del sistema acuapónico integrando los sub-sistemas agrícola (lechuga- *Lactuca sativa*) y acuícola (tilapia- *Oreochromis sp.*), a escala piloto

Bioensayos en plantas, peces y agua

a) Plantas

Las plantas de lechuga se cultivaron en planchas para cultivos hidropónicos o germinadores, de los cuales a los siete días se procedió a colocarlas en vasos con lecho poroso compuesto de fibra de coco y compost.

b) Peces

Los peces fueron trasladados al sitio de ensayo para una previa aclimatación en tanques de fibra de polietileno con capacidad de 250 litros, provistos de aireación constante. El tiempo de aclimatación fue de 24 horas, tiempo en el cual fueron alimentados con una dieta comercial con 35% de proteína. Posteriormente se procedió a seleccionar al azar los organismos, registrando el peso y longitud para posteriormente colocar cada uno de los tratamientos en las unidades experimentales correspondientes.

Para la evaluación del crecimiento del cultivo de tilapia y lechuga se realizó el cálculo para la alimentación diaria de los peces. Para esto, se calculó el área donde están ubicadas las lechugas. La ración por día fue estimada considerando la sugerencia del fabricante del alimento y a las condiciones del experimento; 2 % del peso vivo/día, siguiendo la siguiente ecuación:

$$A_s = b * h$$

Donde:

As: Área

b: base (1.80 cm – 0.018 m)

h: altura (0.80 cm – 0.008 m)

$$A_s = 1,8m * 0,8m$$

$$A_s = 1,44m^2$$

Esta relación entre peces y plantas se obtuvo basándose en las experiencias tomadas por Al-Hafedh, Y. S (2008) y Lennard, W. A (2012) donde se estimó que la relación entre alimento diario para los peces y cantidad de metros cuadrados de plantas en un sistema de escala pequeña debiera ser de 10,5 gramos de alimento al día por cada metro cuadrado de plantas. A continuación, se estimó la relación entre alimento diario para los peces y el área de plantas en el sistema acuapónico:

$$R_a = \frac{10,5^{gr}}{m^2 \text{ día}}$$

$$A_s = 1,44m^2$$

$$T_d = R_a * A_s$$

$$T_d = \frac{10,5^{gr}}{m^2 \text{ día}} * 1,44m^2$$

$$T_d = 15 \frac{gr}{día}$$

Donde:

Ra: Relación entre alimento y cantidad (gr/m2/día)

As: Área disponible de siembra de plantas (m2)

Td: Tasa de alimento diario para los peces (gr/día)

- **Determinación del crecimiento de lechuga y tilapia y calidad agua.**

Resultados biométricos

a) Altura y peso de Plantas

La variable altura de la planta inicial encontrada fue de 1,2 cm y la final registrada a los 52 días de 16,6 cm, presentando un incremento de 15,4 cm en el periodo evaluado. En cuanto a la ganancia de peso fue del 92,7% en el mismo periodo evaluado (Cuadro 1). Estos resultados son parecidos a los reportados por Moreno y Zafra (2014), que indican que la incorporación de un sistema acuapónico al cultivo acuícola no afecta en su desempeño productivo de las especies acuícolas y que las plantas acuapónicas tienen un crecimiento constante, pero a una menor velocidad. Asimismo, se evidenció que las hojas tuvieron un color de hojas verde intenso, un indicador de disponibilidad de nutrientes en el sistema acuapónico.

Cuadro 1. Altura inicial y final de hojas (HH); y ganancias de peso en plantas de lechuga (HR) en cultivo acuapónico.

Meses	Tiempo (días)	HH (cm)	HR (g)
-------	---------------	---------	--------

Diciembre	1	1,2	1,3
	10	2,8	1,8
Enero	28	9	10
	37	12	11
Febrero	52	16,6	16,4
Incremento cm	-	15,4	-
Ganancia %	-	-	92,7

b) Tasa de crecimiento en peces

En cuanto al peso promedio reportados de las tilapias se encontró que del peso inicial del día 1 de 2,97 g, al día 37 evaluado registró 100 g, logrando una ganancia de peso de 97,3 g en promedio.

c) Análisis de calidad de agua

Los resultados encontrados en cuanto a la calidad de agua recirculada del sistema acuapónico, durante los meses de diciembre 2017, enero y febrero 2018, los parámetros evaluados comparados con los parámetros de calidad propuesto por Malcolm (2016), los valores estándares de calidad de todos los parámetros analizados se encuentran dentro de los valores establecidos, a excepción del amonio, que durante todos los meses presentó resultados que están por encima de los valores estándares de la calidad de agua (Cuadros 2,3, 4).

Los resultados difieren con los obtenidos por Reyes *et al.* (2016) donde sus valores de amonio (NH⁺ -N) estuvieron por debajo del límite de tolerancia lo que permitió un buen desarrollo de los peces sin presentarse mortandad por toxicidad Cuadros 2, 3, 4). Zheng *et al.*, (2007) mencionan que en regiones tropicales los peces toleran como máximo 0.1 mg de NH⁺ -N L⁻¹ y cuando se excede se presenta mortandad por toxicidad, lo que justifica la muerte de las tilapias.

Cuadro 2. Parámetros de calidad de agua del sistema acuapónico evaluados en diciembre, 2017.

Naturaleza del análisis	Parámetros	Unidad	Resultados		Parámetros de Calidad
			Semana 1	Semana 2	

Químicos	Fosfato	mg/L	2	1,7	-
	Nitrato	mg/L	7,88	6,22	-
	Calcio	mg/L	401	302,6	-
	Amonio	mg/L	0,9	0,6	0-0,5 mg/L
	Nitrito	mg/L	0,162	0,152	<1 mg/L
	Carbonato	mg/L	127,46	194,66	-
	pH	-	7,91	8,164	7,5-8,5
	Dureza Total	mg/L	191,2	200	40-400 mg/L
	Sólido Suspendidos	mg/L	120,516	118,826	-
Físicos	Color	Hz	65,4	72	-
	Turbidez	FAU	2,984	2,566	-
	Oxígeno	mg/L	5,868	6,352	>4 mg/L

Fuente: Autores.

Cuadro 3. Parámetros de calidad de agua del sistema acuapónico evaluados en enero, 2018.

Naturaleza del análisis	Parámetros	Unidad	Resultados				Parámetros de calidad
			Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	
Químico	Fosfato	mg/L	0,8	1,1	0,95	2,025	-
	Nitrato	mg/L	10,084	10,122	10,006	10,01	-
	Calcio	mg/L	178,934	259,152	244,744	269,82	-
	Amonio	mg/L	1	0,65	0,6	0,3125	0-0,5 mg/L
	Nitrito	mg/L	0,17	0,154	0,178	0,175	<1 mg/L
	Carbonato	mg/L	184,92	172,7	192,74	192,2	-
	pH	-	6,86	7,6	8,12	7,7	7,5-8,5
	Dureza Total	mg/L	9,2	5,92	6,302	6,7925	40-400 mg/L
	Sólido Suspendidos	mg/L	139,56	127,644	123,08	118,725	-
Físico	Color	Hz	24,6	24,2	23,2	22,25	-
	Turbidez	FAU	2,73	2,212	1,844	1,895	-
	Oxígeno	mg/L	6,64	7,4	7,82	6,725	>4 mg/L

Fuente: Autores.

Cuadro 4. Parámetros de calidad de agua del sistema acuapónico evaluados en febrero 2018.

Naturaleza del análisis	Parámetros	Unidad	Resultados	Parámetros

			Semana 1	Semana 2	de calidad
Químico	Fosfato	mg/L	2	2,124	-
	Nitrato	mg/L	11,97	11,912	-
	Calcio	mg/L	426	423,8	-
	Amonio	mg/L	1	0,9	0-0,5 mg/L
	Nitrito	mg/L	0,2	0,532	<1 mg/L
	Carbonato	mg/L	109,8	118,72	-
	pH	-	8,01	8,2	7,5-8,5
	Dureza Total	mg/L	199	225,68	40-400 mg/L
	Sólido Suspendidos	mg/L	126,5	115,266	-
Físico	Color	Hz	52	63,8	-
	Turbidez	FAU	6,3	6,5	-
	Oxígeno	mg/L	5,9	6,98	>4 mg/L

Fuente: Autores.

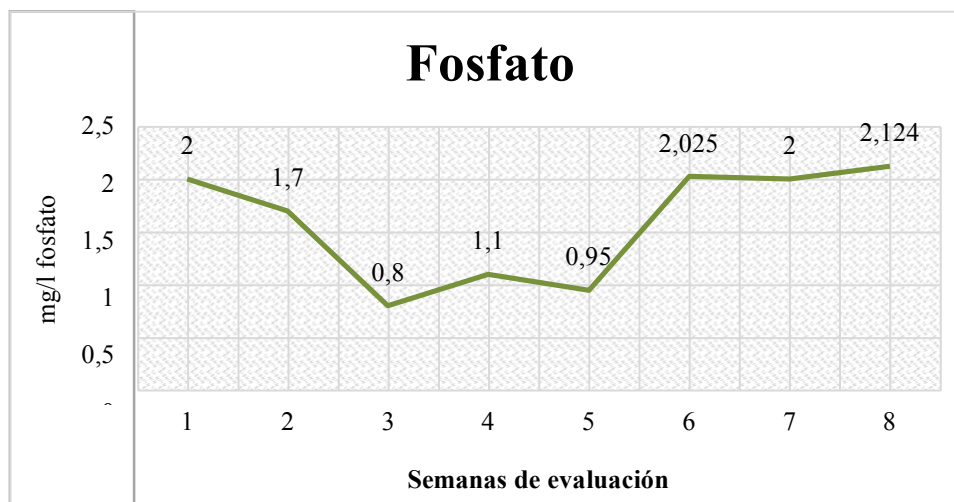


Gráfico 1. Fosfato en el agua recirculada en el sistema acuapónico.

Al respecto, Snow *et al.* (2008) indican que en los sistemas acuapónicos puede ocurrir una reducción de entre 74 y 93 % de fosfatos durante la producción de forraje; lo que depende de la concentración y biodisponibilidad. Los mayores promedios de fosfato reportados en la presente investigación fueron en la semana 1 con un valor de 2 mg/L, en la semana 6 con 2,025mg/L, semana 7 con 2 mg/L y en la semana 8 con 2,124 mg/L de fosfato. Los valores de fosfato se deben a que el excremento de los peces es muy rico en fósforo, el cual es empleado como fertilizante para el cultivo de lechuga, lo que justifica el aumento del fósforo con el transcurso de los días en el agua recirculada en el sistema acuapónico (Gráfico 1). Durante las primeras semanas la concentración de fosfato en el agua disminuyó, a partir de la sexta semana la cantidad de fosfato aumentó, de acuerdo a la investigación realizada por Bolaños *et al.* (2017) el primer dato obtenido de fosfatos fue de 82 mg/l y el dato obtenido después de la recirculación fue de 16 mg/L Esta disminución es apropiada ya que el agua recirculada que vuelve al estanque se requiere con una presencia de fósforo entre 0,5 mg/L y 0,2 mg/L pues el exceso de fósforo en los estanques puede ocasionar el crecimiento de algas, lo que lleva a una eutrofización, dejando así a los peces sin oxígeno, por consiguiente a la muerte.

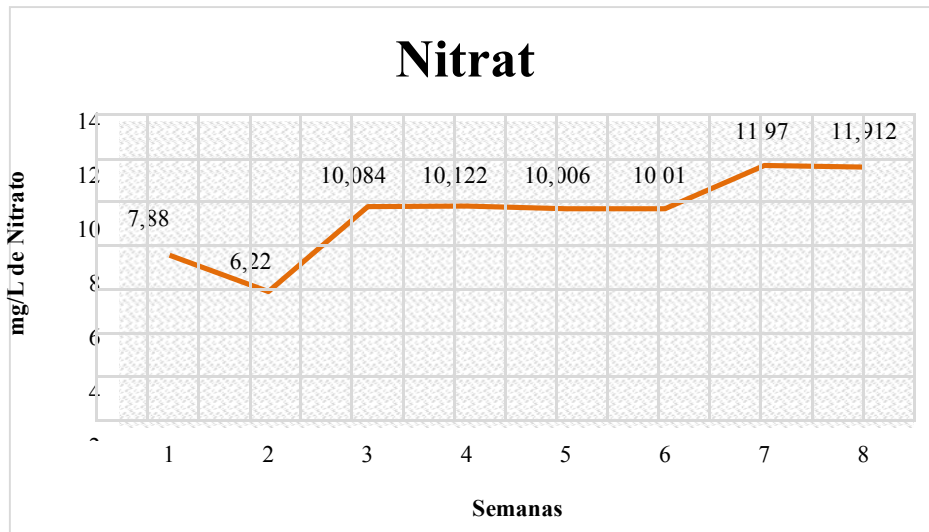


Gráfico 2. Nitrato en el agua recirculada en el sistema acuapónico.

De acuerdo a Carruthers (2015) el valor ideal de nitrato para los sistemas acuapónicos varía en un rango de 5 – 150 mg/L. El mayor promedio de nitrato en el agua recirculada se generó durante la semana 7 y la semana 8 correspondientes al mes de febrero con valores comprendidos entre 11,97 y 11,91 mg/L de nitrato. Los picos de los nitratos corresponden a aumentos de la ración y/o menor consumo de alimento por parte de los peces; y las disminuciones pueden ser debidas a la mayor absorción por parte de las plantas.

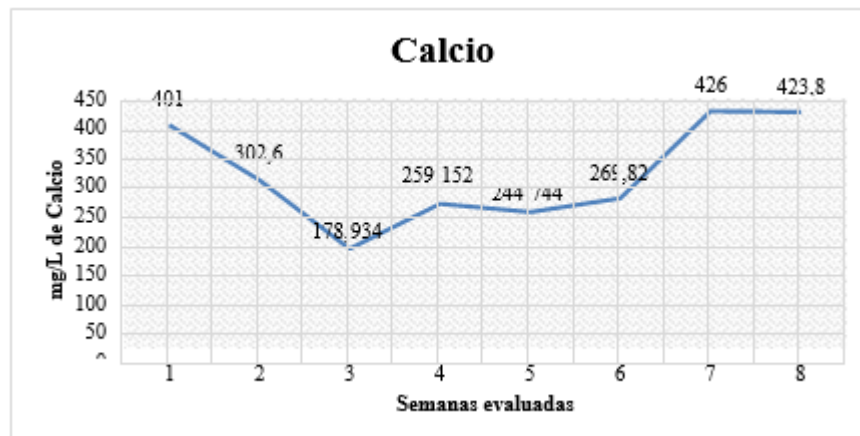


Gráfico 3. Calcio en el agua recirculada en el sistema acuapónico

Carruthers (2015) afirma que la presencia de calcio en el agua puede evitar que los peces pierdan otras sales y conducir a un stock más saludable. En el gráfico 3 se puede observar que los mayores promedios de calcio se registraron durante la primera, séptima y octava semana con valores que comprenden 401, 426 y 423 mg/L de calcio.

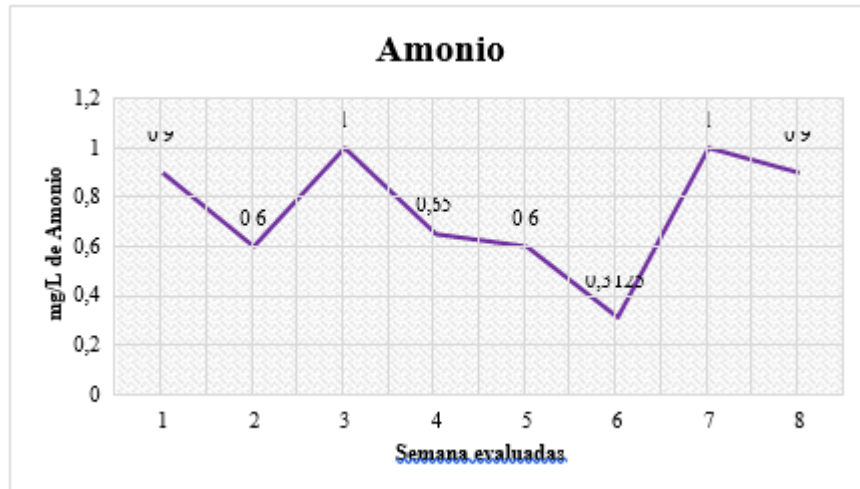


Gráfico 4. Amonio en el agua recirculada en el sistema acuapónico.

En sistemas con recirculación hay que mantener debajo de 3 mg/ L el nitrógeno amoniacal total (NAT; $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) (Timmons et al., 2009). El amonio durante todas las semanas presentó resultados que están por encima de los valores estándares de la calidad de agua (0-0,50 mg/L). La semana 6 es la única que reportó una concentración de amonio dentro del rango estándar con un valor de 0,3125 mg/L.

Las concentraciones de amonio en el agua recirculada se debe a que los peces liberan amonio, que puede ser de 2 formas, el amonio no ionizado (NH_3) y el amonio ionizado (NH_4^+), el primero es tóxico en el agua, a mayor pH mayor es su toxicidad y el pez a mayor pH produce más de este amonio, el amonio total se origina como producto de descomposición de la proteína, recordemos que los aminoácidos en uno de sus enlaces está el amonio, entonces, entre más proteína proporcionemos al pez más amonio se produce, y más se deteriora la calidad del agua.

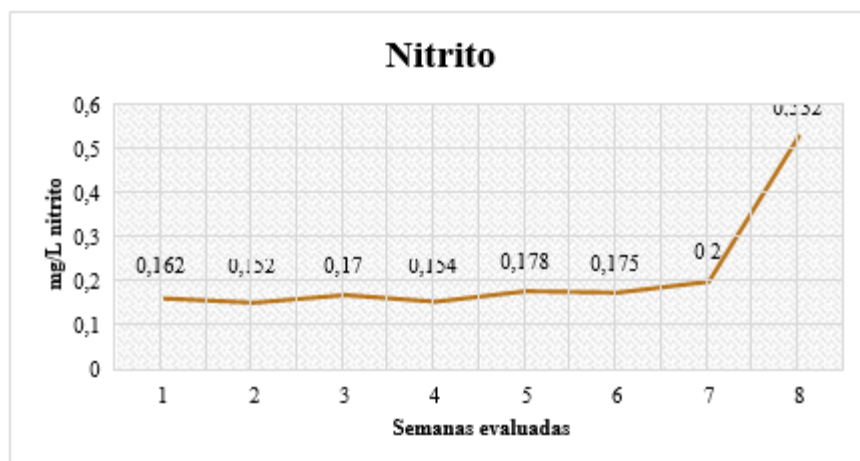


Gráfico 5. Nitrito en el agua recirculada en el sistema acuapónico

De acuerdo a Carruthers (2015) el valor adecuado nitratos para acuaponía debe ser menor a 1 mg/L. En el gráfico 5 se puede observar que los valores de nitrito durante todas las semanas se encuentran por debajo de los valores estándares establecidos para la calidad de agua de los sistemas acuapónicos (<1mg/L).

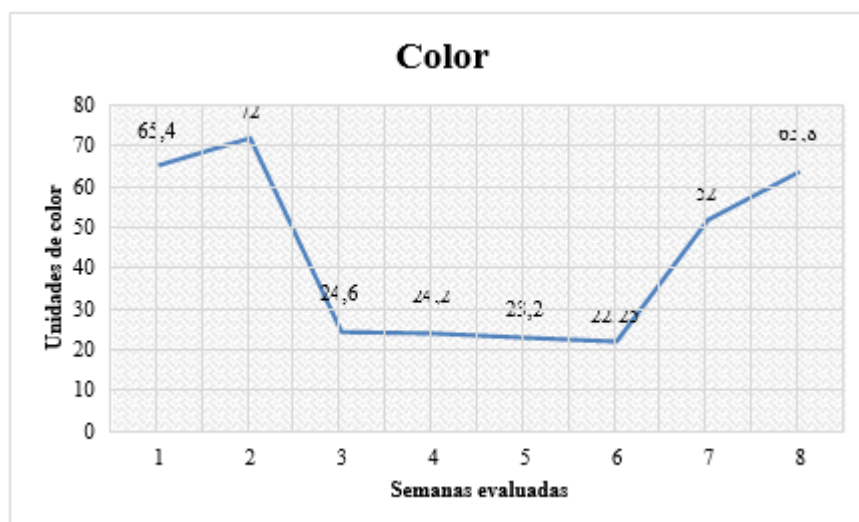


Gráfico 6. Color en el agua recirculada en el sistema acuapónico.

En el gráfico 6, se muestran los valores de color durante las semanas evaluadas. En la semana 2 se presentó el mayor valor de color (72 Hz), seguida de la semana 1 con 65,4 hz. Durante las semanas 3, 4, 5, 6 se presentaron los valores más bajos desde 22,25 – 24,6 Hz.

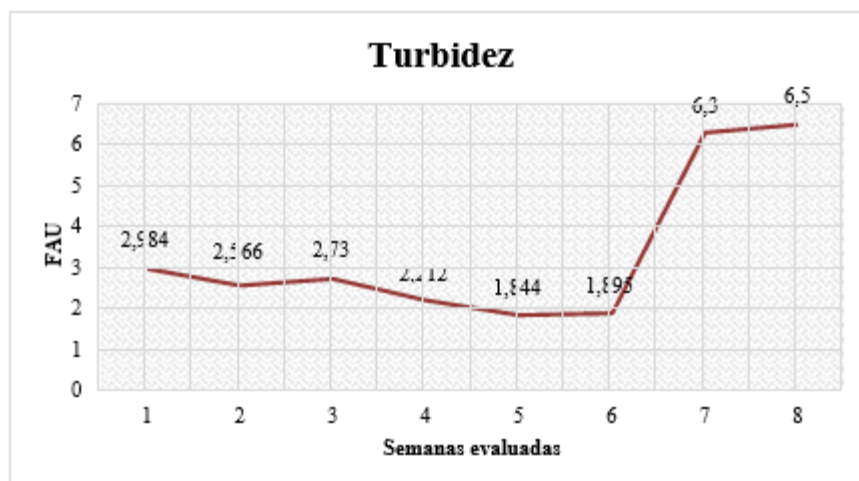


Gráfico 7. Turbidez en el agua recirculada en el sistema acuapónico.

De acuerdo al gráfico 7 el agua recirculada en el sistema acuapónico durante las semanas 7 y 8 presentó valores de 6,3 y 6,5 FAU.

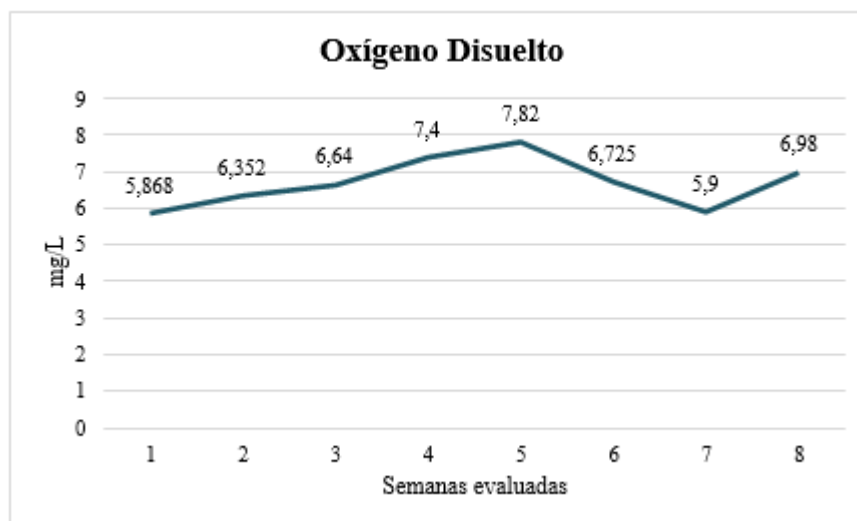


Gráfico 8. Oxígeno Disuelto en el agua recirculada en el sistema acuapónico.

Durante la investigación, se observó que una de las limitantes para el buen funcionamiento del sistema acuapónico es la concentración de oxígeno disuelto, que debe ser superior a 5 mg/L de acuerdo a Carruthers (2015), ya que así cubre las necesidades de la tilapia y el requerimiento de las plantas de lechuga. La concentración de oxígeno en el presente estudio se mantuvo constante debido al sistema de aireación permanente y al flujo continuo de agua, lo que además contribuyó a la eliminación de sedimentos en las raíces de las plantas.

Algunas especies de peces, incluyendo la carpa y la tilapia, puede tolerar los niveles de OD tan bajos como 2-3 mg / litro, pero es mucho más seguro tener los niveles más altos para la acuaponía, ya que los organismos exigen el uso del OD en el agua. En sistemas acuícolas en operación el rango de OD debe oscilar entre 5 y 7.5 mg L-1. Para cultivos como el tomate y la lechuga el OD en un rango de 3 a 7 mg L-1 no afecta el crecimiento y producción (Soto, 2015); por lo que, el OD en las tinas hidropónicas se mantuvo en los rangos reportados (3.5 a 6.7 mg L-1).

Según Zheng et al. (2007) concentraciones superiores a 8.5 mg L-1 reducen el crecimiento en la lechuga y el tomate, y de 1 a 2 mg L-1 de OD se incrementa la respiración de las raíces de pepino, tomate y lechuga, además disminuye la absorción de agua y nutrientes. El OD es uno de los factores que regula el consumo de alimento y la saciedad de los peces (Tran et al., 2008); por ello, la importancia de mantenerlo en niveles adecuados.

En el experimento realizado por Reyes et al. (2016) la concentración mínima y máxima de y la conversión alimenticia, como lo haría a una OD fue de 4.3 y 8 mg L- 1, pero según De Long et al. (2009) no afecta el crecimiento concentración por debajo de 3.5 mg L-1.

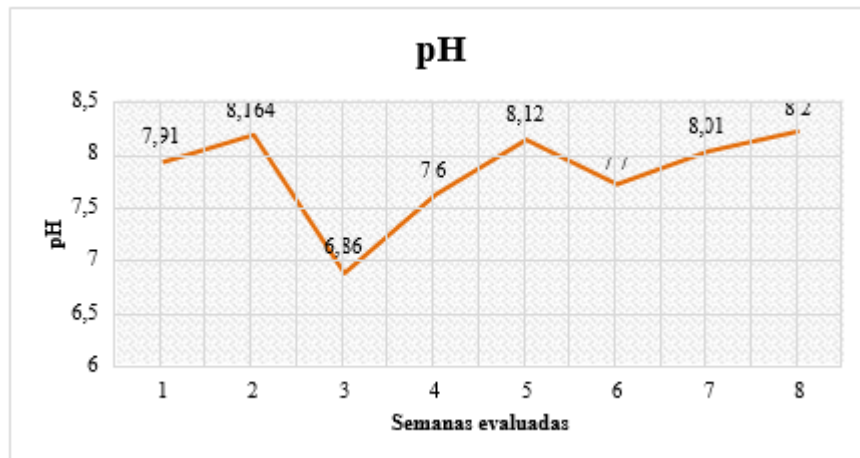


Gráfico 9. Oxígeno Disuelto en el agua recirculada en el sistema acuapónico.

Un factor importante para la absorción de nutrientes en las plantas es el pH, el cual en sistemas acuícolas puede ser de 7 a 8.5, valores superiores a los encontrados en un suelo agrícola. Un conocimiento general del pH es útil para la gestión de sistemas acuapónicos. Durante las semanas evaluadas el pH se mantuvo en el rango óptimo para el desarrollo de las tilapias y la lechuga, los valores fueron desde 6,86 a 8,2.

El pH del agua tiene un impacto importante en todos los aspectos de la acuaponía, especialmente en las plantas y bacterias. Para las plantas, el pH controla el acceso de las plantas a micro y macronutrientes. A un pH de 6,0-6,5, todos los nutrientes están fácilmente disponibles, Pero fuera de este rango los nutrientes se vuelven difíciles de acceder a las plantas. Los peces tienen rangos de tolerancia específicos para el pH también, pero la mayoría de los peces utilizados en acuaponía tienen un rango de tolerancia de pH de 6,0-8,5. Sin embargo, el pH afecta la toxicidad del amoníaco a los peces, con un pH más alto que conduce a una mayor toxicidad.

Respecto al potencial de hidrógeno, en los tanques de peces el pH varió entre 6.6 y 8.5; rango similar al que encontraron Reyes *et al.*, (2016) de 6 a 9; donde el crecimiento es óptimo, y la tasa de supervivencia de peces es mayor.

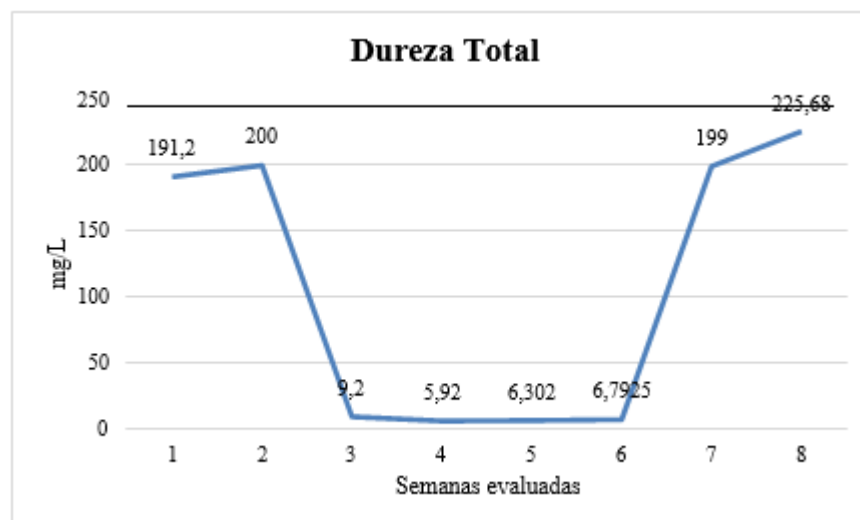


Gráfico 10. Dureza total en el agua recirculada en el sistema acuapónico.

Los valores de dureza total fueron muy altos debido a que el rango para la tilapia según Su y Quintanilla (2008), es de 20 a 350 mg/L. El nivel óptimo de dureza para la acuaponía es de aproximadamente 60-140 mg/L (Carruthers, 2015). Durante las semanas 1, 2, 7 y 8 la dureza total mantuvo valores dentro del rango contemplado como ideal para el desarrollo de los organismos, los valores fueron desde 191,2 a 225,68 mg/L, además de ser considerada como un agua dura al encontrarse dentro del rango >60 mg/L. Por otro lado, durante las semanas 3, 4, 5 y 6 la dureza se mantuvo por debajo de 7 mg/L siendo considerada un agua blanda.

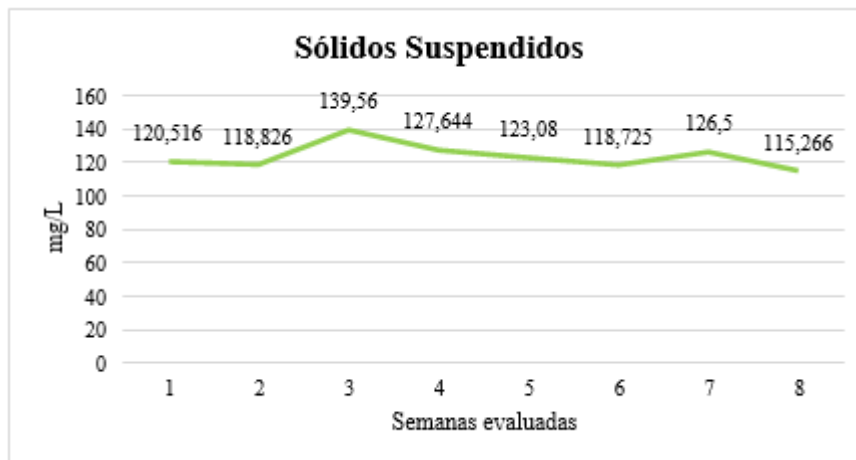


Gráfico 11. Sólidos Suspendidos en el agua recirculada en el sistema acuapónico.

En el gráfico 11 se muestran las concentraciones de sólidos suspendidos durante las semanas evaluadas. Los valores de SST se mantuvieron constantes con valores comprendidos desde 115,266 a 139,56 mg/L.

Conclusiones

El diseño del sistema acuapónico permitió obtener resultados eficientes, asimismo, no hubo desperdicio de agua, ya que toda el agua fue recirculada fue aprovechada por las plantas de lechuga.

El sistema acuapónico puede ser una alternativa ecológica y viable, reduce la utilización de productos químicos, tiempo de espera para producción de lechugas y peces y no se desperdicia agua.

Las características fisicoquímicas del efluente salobre de tilapia mostraron que el pH, oxígeno, carbonatos, nitritos, nitratos, dureza, solidos suspendidos, calcio, turbidez, color y fosfato estuvieron dentro de los intervalos óptimos para el cultivo de plantas. En contraste, el amonio durante todos los meses presentó resultados por encima de los valores estándares de la calidad de agua (0-0,50 mg/L).

Literatura citada

- Acero y L. (1998). Guía para el cultivo y aprovechamiento del árbol del pan *Artocarpus altilis* (Park.). Colombia: Convenio Andrés Bello.
- Al-Hafedh, C. 2008. Manual para la producción de supermachos de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). (En línea). Consultado, 11 mayo, 2018. Formato PDF. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/273755425_Manual_para_la_produccion_de_supermachos_de_tilapia_del_Nilo_Oreochromis_niloticus.
- Bolaños, J; Cordero, G y Segura, G. 2017. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). (En línea). CR. Consultado 13 de may. 2018. Formato PDF. Disponible en <http://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf>.
- Carruthers, J. 2015. Calidad del agua. (En línea). Consultado, 27 de jul. 2018. Formato PDF. Disponible en <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6159/2/Fosfatos%20Totales-JULIO%20VILLAMAR.pdf>.
- FAO. (2010). Políticas de Seguridad Alimentaria e Inocuidad Alimentaria en América Latina y el Caribe. . Chile: FAO.
- Fitwi, B., Wuertz, J., Schroeder, P., & Schulz, C. (2012). Sustainability assessment tools to support aquaculture development. *The Journal of Cleaner Production*, 32, 183-192
- Foley, J. (2014). Cinco pasos para alimentar al mundo. México.
- Hernández, L. (2009). Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación en el cultivo de Tilapia Roja (*Oreochromis Mossambicus*) y Lechuga Crespa (*Lactuca Sativa*). Colombia: Univerisdad Nacional de Colombia.
- Lennard, W. (2012). Minnamurra Aquaponics. A commercial aquaponic farm in Victoria. *Aquaponics Journal*, 40, 22-25.
- Malcolm, J. (2006). Backyard aquaponics. A guide to building an aquaponic system. Australia: Joel Malcolm.
- Moreno, E., & Zafra, A. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. *REBIOL*, 34(2), 60-72.
- Reyes, M., Sandoval, M., Rodríguez, N., Trejo, L., Sánchez, J., & Reta, J. (2016). Concentración de nutrientes en efluente acuapónico para producción de *Solanum lycopersicum* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (17), 3529- 3542.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). (2017). Plan Nacional de desarrollo. 2017-2021. Quito Ecuador.
- Snow, E. García, B. Reynoso, Y. González, P y Larroudé, V. 2008. Calidad del agua para usos recreativos desde las perspectivas de la seguridad e higiene laboral y la salud pública. Estudio de caso. (En línea). Consultado, 16 de abr. de 2018. Formato PDF. Disponible

en

https://www.palermo.edu/ingenieria/investigacion-desarrollo/pdf/Trabajo_Completo_Lopez_Sardi_Estela_Monicav3.pdf.

- Soto, F. (2015). Oxifertirrigación química mediante riego en tomate hidropónico cultivado en invernadero. *Agronomía Mesoamericana*, 26, 277-289.
- Timmons, M., Ebeling, J., & Piedrahita, R. (2009). *Acuicultura en sistemas de recirculación*. USA: Cayuga aqua.
- Tran, A., Schrama, J., Van Dam, A., & Verreth, J. (2008). Effects of oxygen concentration and body weight on maximum feed intake, growth and hematological parameters of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 275, 152-162
- Zheng, Y., Wang, L., & Dixon, M. (2007). An upper limit for elevated root zone dissolved oxygen concentration for tomato. *Scientia Horticulturae*, 113, 162- 165.