

# PRODUCCIÓN ACUAPÓNICA DE TRES HORTALIZAS EN SISTEMAS ASOCIADOS AL CULTIVO SEMI-INTENSIVO DE TILAPIA GRIS (*Oreochromis niloticus*)

## AQUAPONICS PRODUCTION OF THREE VEGETABLES IN SYSTEMS ASSOCIATED TO THE SEMI-INTENSIVE GROWTH OF GREY TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)

Ronzón-Ortega M.<sup>1</sup>; Hernández-Vergara M.P.<sup>1\*</sup>; Pérez-Rostro C.I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Boca del Río, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Laboratorio de Mejoramiento Genético y producción Acuícola. Km. 12 Carr. Veracruz-Córdoba, CP. 94290, Boca del Río, Veracruz, México.

\*Autor responsable: mphv1@yahoo.com.mx



### RESUMEN

Las industrias generadoras de alimento, incluyendo la acuicultura, deben incorporar políticas de cuidado ambiental a sus procesos, y tecnologías que permitan el uso eficiente de los recursos, en este sentido, la acuaponía es una alternativa que permite que la acuicultura sea sustentable. Se evaluaron tres sistemas de producción de plantas comestibles: arúgula (*Eruca vesicaria*), cilantro (*Coriandrum sativum*) y tomate (*Solanum lycopersicum*), asociadas al cultivo semi-intensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*), para determinar su adaptación y eficiencia productiva. Se usó un diseño experimental completamente al azar, en el que se probaron tres técnicas acuapónicas de producción de plantas: Sistema acu-aeropónico (SAC1); Sistema acuapónico con sustrato poroso e inerte (SAC2); Sistema acuapónico con lluvia sólida como sustrato de fijación (SAC3), en los que se cultivaron simultáneamente: arúgula, tomate y cilantro. Los resultados de crecimiento de las tres variedades de plantas, longitud del tallo, número de hojas y ramificaciones, tanto en el SAC2 como el SAC3, fueron eficientes, y de manera particular en el SAC2 se tuvieron las plantas de arúgula y tomate con el mayor crecimiento, aunque no diferente significativamente entre tratamientos, mientras que las plantas de cilantro cultivadas en el SAC3 tuvieron el mejor crecimiento. A diferencia de lo anterior, las tres variedades de plantas cultivadas en el SAC1 presentaron la menor supervivencia y crecimiento.

**Palabras claves:** Acuicultura sustentable, Aeroponía, lluvia sólida.

### ABSTRACT

The food-producing industries, including aquaculture, should incorporate into their processes policies for environmental care and technologies that allow the efficient use of resources. In this sense, aquaponics is an alternative that allows aquaculture to be sustainable. Three production systems for edible plants, arugula (*Eruca vesicaria*), cilantro (*Coriandrum sativum*) and tomato (*Solanum lycopersicum*), were evaluated, associated with the semi-intensive cultivation of tilapia (*Oreochromis niloticus*), in order to determine their adaptation and productive efficiency. A completely random experimental design was used, where three techniques for aquaponics were tested for plant production: Aqua-aeroponics system (SAC1); Aquaponics system with a porous and inert substrate (SAC2); Aquaponics system with solid rain as the fixing substrate (SAC3); the following were cultivated simultaneously: arugula, tomato and cilantro. The growth results for the three plant varieties, stem length, number of leaves and ramifications, both in SAC2 and SAC3, were efficient, particularly in SAC2 where there the arugula and tomato plants with highest growth were found,



although not significantly different between treatments; the cilantro plants cultivated in SAC3 had the highest growth. In contrast, the three varieties of plants cultivated in SAC1 presented lower survival and growth.

**Keywords:** Sustainable aquaculture, aeroponics, solid rain.

## INTRODUCCIÓN

**La creciente** demanda de alimento de buena calidad para una sociedad en continuo crecimiento, aunada a la necesidad de desarrollar tecnologías intensivas de producción, conlleva a la incorporación de políticas de sustentabilidad en el sector agropecuario, y en particular en el sector acuícola, en el que se incluye el reciclado de agua y aprovechamiento de los metabolitos nitrogenados, a partir del uso de sistemas de recirculación y cultivo de plantas en acuaponía (Pérez-Rostro *et al.*, 2013). La incorporación del cultivo de plantas en sistemas acuícolas (acuaponía), es una práctica sustentable y económicamente redituable, debido a que en un mismo espacio se pueden obtener diferentes productos (Basualdo *et al.*, 2012), los cuales a diferencia de los cultivos tradicionales, no requieren de fertilizantes para acelerar el crecimiento, y por tanto tienen un menor impacto ambiental en suelos y agua, por lo que no ocasiona daños permanentes ni bio acumulación en la biota local (García y Rodríguez, 2012). Durante las prácticas acuapónicas, se pueden usar diferentes estructuras y espacios subutilizados en granjas ya establecidas, así mismo, los sustratos de fijación para las plantas pueden variar en función de la disponibilidad, lo anterior en base a la fisiología y características anatómicas y desarrollo de la raíz de las plantas en cultivo, lo anterior con la finalidad de obtener el máximo rendimiento en el menor espacio posible. Una alternativa que no se ha probado en sistemas acuapónicos es el polímero denominado lluvia sólida, que es un material innovador y versátil (Rico, 2011), que puede incorporarse a la actividad acuapónica previa evaluación de su capacidad de retención de los metabolitos nitrogenados derivados de la acuicultura. Por lo que el objetivo de la presente investigación fue la de evaluar la eficiencia productiva y de adaptación a tres sistemas acuapónicos para el cultivo de tres variedades de plantas comestibles, como propuesta sustentable y de cuidado ambiental para los productores acuícolas, y como una estrategia para el aprovechamiento de los metabolitos nitrogenados derivados del cultivo semi-intensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Planta piloto de acuaponía, del Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA), en Boca del Río, Veracruz, México, que mide 30 m de largo por 7 m de ancho (210 m<sup>2</sup>), y está cubierta con lámina metálica y de fibra de vidrio transparente, intercaladas para facilitar el paso de la luz solar. El agua que se usó durante el estudio provino de un pozo artesanal de 4" de diámetro, equipado con una bomba tipo jacuzzi de 2 HP con tubería hidráulica de PVC de 2" de diámetro.

### Sistema de cultivo acuícola

Para el estudio se usó un sistema de recirculación de seis tinas circulares de

membrana plástica (Linner) de 1 mm de espesor, de 3 m de diámetro x 1.2 m de altura, con una columna de agua de 1 m (Volumen de 7.01 m<sup>3</sup> de agua); el sistema contó con un módulo de remoción de sólidos (sedimentador tinaco de 250 L), interconectado al sistema acuícola mediante tubería de PVC de 6", en el que se colocaron arpillas de plástico como trampa de partículas grandes y materia orgánica; posteriormente se incorporó al sistema un filtro biológico (tinaco de 250 L) a base de una capa de concha de ostión, tezontle y de arena sílica; además de un reservorio del agua (tanque rotoplas de 1,100 L de capacidad), con una tubería de alimentación hacia las tinas de cultivo y una derivación (tubería de 1/2") para abastecer el riego de los módulos de producción acuapónica (SAC 1 y SAC 2); una vez que el agua pasaba por los sistemas de producción de plantas, el agua se reincorporó al sistema acuícola a través de una canaleta que interconectó los sistemas. La recirculación se realizó mediante una bombas tipo jacuzzi de 1 HP (Marca Siemens, Tipo 1RF3 256-2YC44, México) con accionamiento automático con un sensor eléctrico para transferir el agua del biofiltro al reservorio, de donde se distribuyó por gravedad a las tinas de cultivo. Adicionalmente se contó con suministro de aire a partir de un blower de 1 Hp. La dosificación y distribución del aire en las tinas de cultivo, se realizó con dos piedras difusoras de 2.5 x 2.5 x 15 cm, por unidad experimental.

Para el estudio se usaron 1200 juveniles de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*), con un peso promedio inicial de 160 ± 5 g, que se mantuvieron en el sistema de recirculación a una densidad de 28 tilapias m<sup>3</sup> (200 ± 7 tilapias por unidad experimental). A

las tilapias se les suministró alimento comercial (extruido para tilapia 3.5 mm y 35% de proteína, El Pedregal, Silver Cup), tres veces al día (9:30 am, 13:30 pm y 17:30 pm), en una proporción equivalente al 3% de la biomasa inicial, la cual se ajustó en base al incremento de la biomasa, de acuerdo con los resultados de las biometrías que se realizaron cada 20 días para dar seguimiento al crecimiento.

### Diseño experimental

Se evaluó la eficiencia de adaptación y crecimiento de plántulas de arúgula, cilantro y tomate, en las tres técnicas de cultivo acuapónico siguientes: el sistema **SAC1** (sistema aeropónico), **SAC2** (flujo de agua continuo y un sustrato poroso para fijación de raíces), **SAC3** (uso del polímero lluvia sólida y tezontle como sustrato de fijación de raíces). En cada sistema experimental se mantuvieron 56 plantas por especie como réplicas.

Las plántulas se obtuvieron a partir de la germinación de 2 a 3 semillas de arúgula (*Eruca vesicaria*), cilantro (*Coriandrum sativum*) y tomate (*Solanum lycopersicum*), sobre composta de café, sembradas a 5 cm de distancia, sobre charolas plásticas rectangulares negras de 51.5 cm de largo x 25 cm de ancho x 6 cm de alto. Las semillas se mantuvieron durante 30 días en los semilleros y a luz solar directa, además de riego diario con agua potable (FAO, 2003) y una temperatura promedio de 32 °C.

El sistema **SAC1**, consistió de una estructura metálica de 12 m de largo x 0.80 m de ancho x 2.00 m de alto, en forma de "A", con dos niveles, en el que se colocaron 168 charolas plásticas rectangulares de 51.5 cm de largo x 25

cm de ancho x 6 cm de alto, con 10 orificios de 1 cm de diámetro por charola para colocar las plantas (Figura 1 A). En la unidad de producción se mantuvo un sistema de riego continuo (24 h) por aspersión, mediante 24 m de manguera y aspersores distribuidos cada 50 cm, con un flujo continuo de agua de 250 L día<sup>-1</sup>.

Para el sistema de cultivo **SAC2**, se usaron tres estanques rectangulares de membrana plástica de alta densidad, que se instalaron sobre una estructura de PVC de 4 m de largo x 0.80 m de ancho x 0.30 m de alto de geomembrana plástica de 1 mm de grosor, colocados sobre una estructura de tubería de PVC de 2" tanto en la parte inferior como la superior, reforzado con 6 "T" de PVC de 2" y 4 codos de 2". Para la fijación de las plántulas, dentro de las tinas se instalaron 42 contenedores plásticos calados de 27 cm de alto por 24 cm de diámetro, en los que se colocó alrededor una malla plástica (mosquitero) y una capa de 10 cm de arena sílica sobre una capa de grava de 15 cm. Dentro de cada contenedor se sembraron cuatro plántulas de la misma especie (56 plantas por especie). El sistema se conectó mediante tubería de PVC al filtro biológico y drenaje hacia el sistema acuícola, con un flujo constante de agua de 2 L s<sup>-1</sup> (Figura 1 B).

Para el sistema de cultivo acuapónico 3 (**SAC3**), se usó un estanque rectangular de geomembrana de 1 mm de densidad y 1 m de ancho x 4 m de largo, en el que se colocó una capa de grava (tezontle) de 10 cm de altura sobre la cual se pusieron 168 tubos de pvc de 1" de ancho por 12 de alto. Dentro del tubo de PVC se puso una capa de 3 cm de lluvia sólida hidratada (Rico, 2011) con agua proveniente del sistema acuícola, sobre la cual



Figura 1. A: Vista lateral del Sistema de cultivo SAC1. B: Sistema SAC2.

se sembró una planta por tubo (56 plantas por especie) (Figura 2).

### Parámetros de respuesta de las plantas

Durante el estudio se evaluó el desempeño de las plantas en los tratamientos, a partir del porcentaje de germinación, la supervivencia (% plantas vivas al final del estudio), longitud promedio y final (cm), número de hojas, número de ramificaciones, grosor del tallo (cm), y en su caso floración (número de flores por planta).

### Monitoreo de la calidad del agua

Diariamente se monitoreó la temperatura (°C) del agua y de la nave de producción, así como la concentración del oxígeno disuelto ( $\text{mg L}^{-1}$ ) con una sonda (oxímetro) YSI (Mod. DO 200, Marca EcoSence, China). Así mismo se determinaron los siguientes parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua de cultivo en los sistemas semanalmente: pH, amonio ( $\text{mg L}^{-1}$ ), nitritos ( $\text{mg L}^{-1}$ ), nitratos ( $\text{mg L}^{-1}$ ), fosfatos ( $\text{mg L}^{-1}$ ) y dureza general ( $\text{mg L}^{-1}$ ), mediante pruebas colorimétricas (Kit maestro Nutra fin Test, Canadá.). Para dar seguimiento al desempeño de las plantas como captadores de nutrientes procedentes del agua del sistema acuícola, se tomaron muestras de agua en las tinas de cultivo, a la salida del sedimentador y del biofiltro (entrada a las tinas).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El 100% de las semillas de arúgula (*Eruca vesicaria*), cilantro (*Coriandrum sativum*) y tomate (*Solanum*

*lycopersicum*) germinaron eficientemente, y después de 30 días se obtuvieron plántulas de 7.5 cm de longitud de arúgula, de cilantro de 12.5 cm y de tomate de 12.6 cm. Los sistemas de cultivo SAC1 y SAC2 tuvieron una diferencia en la intensidad de luz que recibían, por lo que se consideró pertinente evaluar el desempeño de los sistemas dividiéndolos en dos secciones, Sección A) recibía menor incidencia solar; Sección B) mayor incidencia solar. El mejor crecimiento y supervivencia de la arúgula, se obtuvo en las plantas que se mantuvieron en el SAC2 sección B, donde después de 60 días se observó que el 100% de las plantas estaban vivas y mantuvieron un crecimiento constante hasta alcanzar una altura de 35 cm, mientras que las plantas de la sección A aunque sobrevivieron en un 100%, alcanzaron únicamente una longitud promedio de 25 cm. Las plantas que se mantuvieron en el SAC3 tuvieron una supervivencia del 100%, y mantuvieron un crecimiento constante, aunque 50% menor al que tuvieron las plantas del SAC2. A diferencia de lo anterior, únicamente el 44% de las plantas del SAC1, sobrevivieron al día 20, pero no tuvieron un crecimiento significativo (Cuadro 1).

Al igual que la longitud, se observó una diferencia en la estructura de las plantas, donde las plantas de arúgula del tratamiento SAC2, tenían una coloración más intensa y uniforme, mayor número de hojas, longitud y robustas, en comparación con la del SAC3, que tuvieron menor intensidad en la coloración. Las plantas de cilantro que se mantuvieron en el SAC3 tuvieron el mejor desempeño



**Figura 2.** Sistema SAC3: mezcla de arena sílica con lluvia sólida.

**Cuadro 1.** Variables respuesta de adaptación de arúgula (*Eruca vesicaria*) a tres sistemas de cultivo acuapónico.

Variable final	Tratamientos				
	SAC1		SAC2		SAC3
	Sección A	Sección B	Sección A	Sección B	Lado único
Supervivencia (%)	0		100		100
Longitud tallo (cm)	7 <sup>d</sup>	7 <sup>d</sup>	25 <sup>b</sup>	35 <sup>a</sup>	16 <sup>c</sup>
Número de hojas	5 <sup>c</sup>	5 <sup>c</sup>	17 <sup>b</sup>	37 <sup>a</sup>	12 <sup>b</sup>
Número de ramas	4 <sup>b</sup>	3 <sup>b</sup>	12 <sup>a</sup>	14 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
Grosor de tallo (mm)	0.15	0.10	0.20	0.30	0.15
Número de flores*	S/F	S/F	S/F	S/F	S/F

\*S/F = sin flores.

en longitud y grosor de tallo (cm), número de hojas y ramificaciones, aunque no significativo con respecto a las plantas del SAC2 sección A, lo que se consideró un resultado muy importante para el uso de lluvia sólida, mientras que al igual que con la arúgula, el cilantro no tuvo un crecimiento eficiente en el tratamiento SAC1 (Cuadro 2).

La supervivencia de las plantas de cilantro del SAC 3 fue de 25% superior a las plantas de cilantro del SAC2, mientras que el 100% de las plantas del SAC1 murieron entre el día 20 y 30 (lado B y A respectivamente) (Cuadro 2).

El desempeño de las plantas de tomate en los sistemas acuapónicos,

fue significativamente diferente entre tratamientos, y el mejor desempeño se observó en las plantas que se mantuvieron en el SAC2, donde las ubicadas en la sección B crecieron 18% más, en comparación con las de la sección A del mismo tratamiento. A diferencia de lo anterior, las plantas que se mantuvieron en el SAC3 tuvieron una longitud total 66% menor en comparación a la media de las plantas del SAC2. En contraste, las plantas del SAC1 no murieron en su totalidad, pero no crecieron durante el estudio (Cuadro 3).

### Comportamientos de los parámetros químicos del agua durante el estudio

Durante el estudio se presentaron variaciones estacionales de la temperatura (20 °C a 35 °C), que al parecer no afectaron la supervivencia y crecimiento de las plantas, sin embargo a diferencia de éstas, se observó que al incrementarse la temperatura (27 °C) las tilapias aumentaron su tasa metabólica y la producción de metabolitos nitrogenados derivados de una mayor biomasa en los estanques; y por tanto la concentración de amonio se incrementó de 0.1 a 0.6 mg L<sup>-1</sup> en el sistema acuícola, pero después de pasar por el sistema acuapónico SAC2 se eliminó completamente, mientras que al pasar por el SAC1 la concentración se mantuvo constante, atribuido posiblemente porque las raíces de las plantas no conseguían atrapar los nutrientes debido al tiempo de contacto. En el caso del SAC3, no se tomaron muestras debido a que el agua era retenida por la lluvia sólida. Al igual que el amonio, el paso del agua a través del tratamiento SAC2, eliminó el 50% de la concentración de nitritos y nitratos del agua proveniente del sistema acuícola. El

**Cuadro 2.** Parámetros de respuesta durante la evaluación de la adaptación de Cilantro (*Coriandrum sativum*) a tres sistemas de cultivo acuapónico.

Variable final	Tratamientos				
	SAC1		SAC2		SAC3
	Sección A	Sección B	Sección A	Sección B	Lado único
Supervivencia (%)	0		60.3 <sup>b</sup>		78.9 <sup>a</sup>
Longitud tallo (cm)	12.4	12.4	20	15.5	23
Número de hojas	5 <sup>b</sup>	5 <sup>b</sup>	9 <sup>b</sup>	8 <sup>b</sup>	13 <sup>a</sup>
Número de ramas	4	4	9	8	13
Grosor de tallo (mm)	0.2	0.15	0.25	0.20	0.35
Número de flores	S/F	S/F	S/F	S/F	S/F

**Cuadro 3.** Parámetros de respuesta durante la evaluación de la adaptación del tomate a tres sistemas de cultivo acuapónico.

Variable final	Tratamientos				
	SAC 1		SAC 2		SAC 3
	Lado A	Lado B	Lado A	Lado B	Lado A/B(u)
Supervivencia (%)	5 <sup>b</sup>		92.3 <sup>a</sup>		89.4 <sup>a</sup>
Longitud tallo (cm)	12.3 <sup>d</sup>	12.8 <sup>d</sup>	86 <sup>b</sup>	110 <sup>a</sup>	50 <sup>c</sup>
Número de hojas	10 <sup>c</sup>	12 <sup>c</sup>	70 <sup>b</sup>	115 <sup>a</sup>	40 <sup>bc</sup>
Número de ramas	2	3 <sup>b</sup>	13 <sup>a</sup>	20 <sup>a</sup>	9 <sup>b</sup>
Grosor de tallo (mm)	0.2	0.2	0.6	0.9	0.5
Número de flores	S/F	S/F	S/F	4	S/F

pH del agua varió durante el estudio de 7.4 a 8.5, valores permisibles dentro del rango de tolerancia para las tilapias, pero superior a lo recomendado para cultivos agrícolas (pH=7), sin embargo y en base al crecimiento de las plantas, en particular del sistema SAC2, parece que este factor no fue limitante. Los fosfatos en el agua proveniente del sistema acuícola disminuyeron casi 95% después de su paso por los sistemas SAC 2 y SAC 3, donde las plantas del cilantro fueron las más eficientes para absorber este elemento.

La producción masiva de tilapia en los sistemas intensivos, genera grandes volúmenes de residuos disueltos en el agua, como fósforo y productos metabólicos con alto contenido de nitrógeno, que pueden afectar los sistemas acuáticos asociados a la actividad. A partir de la incorporación de prácticas acuapónicas al cultivo de tilapia, se puede disminuir el impacto de subproductos metabólicos de los efluentes acuícolas, ya que se reporta que durante la producción de una tonelada de tilapia se pueden obtener hasta siete toneladas de vegetales (Mateus, 2009), por lo que la integración de sistemas acuapónicos a las granjas acuícolas como estrategia de generación de alimento de alta calidad y cuidado ambiental es una alternativa eficiente, lo que se comprobó durante la presente investigación durante la producción de arúgula, cilantro y tomate, particularmente en los sistemas SAC2 y SAC3.

A diferencia de lo anterior, el sistema SAC1 o aeroponía (cultivo de plantas suspendidas en el aire y regadas con aspersores con sales nutritivas), no cumplió las expectativas de producción, debido a que la aeroponía requiere infraestructura (invernadero), manejo fitosanitario, temperatura y humedad controladas para su desarrollo, además de una planta que puede tener las raíces al aire sin que se afecte su desempeño (Otaquí, 2008). En este sentido, las plantas de arúgula y cilantro no se adaptaron eficientemente a este tipo de sistema, aunque pueden ser una alternativa importante para el mantenimiento de almácigos de plantas como el tomate.

Uno de los puntos más importantes durante las prácticas acuapónicas, es el germinado de la semilla y el tipo de sustrato de fijación de las raíces durante esta etapa, debido a que se debe desarrollar una raíz fuerte pero en un material que no afecte su trasplante a un sistema acuático, por lo que el uso de la composta de café cumplió eficientemente las necesidades de la presente investigación. Al respecto Pierre *et al.* (2009) reportan que uno

de los principales problemas ambientales asociados a la producción de café, es el volumen de los desechos de su proceso, ya que cada elemento residual, en un grado diferente, constituye un riesgo para el ambiente (García, 2001), por lo que puede ser una estrategia de cuidado ambiental el uso de la composta de café en almácigos o semilleros, debido a que promovió el 100% del germinado de la semilla en un tiempo promedio de 30 días.

Uno de los resultados más importantes obtenidos fue la adaptación de las plantas de cilantro a la lluvia sólida, lo anterior posiblemente a que ésta se reporta como una especie que se desarrolla en cualquier clima, lo que permite suponer que esta tecnología es una alternativa para una planta de alta demanda por su aceptación en la cultura culinaria mexicana (Morales-Payán *et al.*, 2011). En este sentido se puede señalar que la lluvia sólida o silos de agua, de acuerdo con Rico (2011), tiene la ventaja de que incrementa las reservas de agua de los suelos por años, y por tanto permite el cultivo de la tierra bajo condiciones de clima y suelo extremas, por lo que su empleo en la acuaponía permite una reducción del gasto de agua y costos de fertilizantes o soluciones nutritivas en un 100%, y aprovecha los nutrientes que le proporciona el agua residual del cultivo acuícola.

Es importante sin embargo, considerar la incidencia solar en los cultivos, ya que como se observó durante la presente investigación, este factor puede promover el crecimiento de las plantas, factor que finalmente afectó el desempeño de las plantas localizadas en la zona con menor incidencia solar.

Los resultados indican que la arúgula y el cilantro son plantas que se pueden incorporar a las opciones para sistemas acuapónicos, particularmente en sistemas con raíces inundadas (SAC2) y a base de lluvia sólida (SAC3). De acuerdo con Caló (2011), la arúgula es una planta pequeña que no necesita gran sostén, y no tiene grandes exigencias de suelos (FAO, 2010), resiste condiciones extremas y aún en presencia de escasa cantidad de nitrógeno crece eficientemente, aunque posiblemente lo más importante para sistemas acuapónicos, es que tiene una alta capacidad de acumular y aprovechar nitrógeno en las hojas, que es precisamente uno de los productos de mayor generación en los

sistemas acuícolas, y que suele considerarse un producto que en concentraciones superiores a  $0.5 \text{ mg L}^{-1}$  puede ser tóxico para los peces.

Respecto al cultivo de tomate en sistemas acuapónicos, existen resultados exitosos al usarse canales de flujo continuo de agua y en sistemas con sustrato para las raíces (Caló, 2011), sin embargo, son pocos los resultados en aeroponía y posiblemente el primero con lluvia sólida, por lo que para el presente estudio, se puede considerar como un primer intento, con resultados prometedores, y determinar las necesidades hídricas y nutritivas del tomate en este tipo de sustrato (Garza y Molina 2008), además de espacio para desarrollo de las raíces, dado que en el sistema SAC3 las plantas se mantuvieron dentro de los tubos de PVC y tuvieron menor desarrollo radicular en comparación con las plantas del tratamiento SAC2 que mantuvo un desarrollo de raíces significativamente superior al observado en las plantas del SAC3.

## CONCLUSIONES

**La acuaponía** es una alternativa para la producción masiva de alimentos, que permite el aprovechamiento de los derivados metabólicos de los organismos acuáticos en condiciones de cultivo para el crecimiento de plantas comestibles, lo que permite un uso sustentable de la energía y disminuye el impacto de las descargas acuícolas a los sistemas acuáticos.

## LITERATURA CITADA

Basualdo-Ramírez L.J., Jiménez-Guzmán F., Jiménez-Saavedra A.C., Macal-Niño F.J., Mendoza-Quintero M.E.A., Montañó-

Aguilar D.M.Á., Urcelay-Gutiérrez E. 2012. Criterios Técnicos y Económicos para la Producción Sustentable de Tilapia en México. 178 pp.

Caló P. 2011. Introducción a la Acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola dependiente del ministerio de agricultura ganadería y pesca. Santa Ana, Argentina. 15 p.

FAO. 2010. Manual de buenas prácticas para la agricultura familiar. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - Representación de la FAO en Argentina. Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina 189 pp.

García P.S. 2001. Mitigación del impacto ambiental que generan los residuales sólidos del beneficio de café a partir de la producción de abono orgánico. Guantánamo, Cuba. pp. 13.

Garza A.M., Molina V.M. 2008. Manual para la producción de tomate en invernadero en suelo en el estado de Nuevo León. Estado NL-SAGARPA. 4p. URL: [www.nl.gob.mx/pics/pages/da\\_publicaciones\\_base/manual-invernaderos.pdf](http://www.nl.gob.mx/pics/pages/da_publicaciones_base/manual-invernaderos.pdf)

Mateus J. 2009. Acuaponía: hidroponía y acuacultura, sistema integrado de producción de alimentos. (En línea) Red Hidroponía, Boletín No 44. Colombia. 10 pp.

Morales-Payán J.P., Brunner B., Flores L., Martínez S. 2011. Hoja Informativa Proyecto de Agricultura Orgánica. Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales. Lajas, Puerto Rico. 22 pp.

Otaú V. 2010. Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponía. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú. 44 p.

Pérez-Rostro C.I., Hernández-Vergara M.P., Amaro-Espejo I.A. 2013. Acuaponía, bases y alternativas. Biotecnología para una acuacultura sustentable. Editorial Académica Española. 116 pp.

Pierre F., Rosell M., Quiroz A., Granda Y. 2009. Evaluación química y biológica de composta de pulpa del café en Caspito municipio Andrés Bello blanco. Bioagro 21(2): 105-110.

Rico J. 2011. Lluvia solida; Ecotecnia Mexicana almacenadora de agua, esperanza contra la sequia y cambio climático. pp: 1-3.

Rodríguez D., Hoyos M., Chang M. 2001. Soluciones nutritivas en hidroponía, formulación y preparación. Centro de Investigación de Hidroponía e Investigación Mineral (Ed.) Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú. 99 p.

