

Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponia*

Physicochemical characterization of a tilapia brackish effluent in aquaponics

Rosa Campos-Pulido¹, Alejandro Alonso-López^{1§}, Dora Angélica Avalos-de la Cruz², Alberto Asiain-Hoyos¹ y Juan Lorenzo Reta-Mendiola¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Postgrado en Agroecosistemas Tropicales, Predio Tepetates, Municipio de Manlio Fabio Altamirano, Km 88.5 Carretera Federal Xalapa-Veracruz, vía Paso de Ovejas entre los poblados de Puente Julia y Paso San Juan, Veracruz, México, C.P. 91690; alternatively: Apartado Postal 421, Veracruz, Veracruz, México, C.P. 91700. Tel. 012292010770. Ext. 64337, 64326 y 64301. (biolcampos@gmail.com), (aasiain@colpos.mx), (jretam@colpos.mx). ²Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz Km 348, Congregación Manuel León, Municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, C.P. 94946. Tel. 012717166055. Ext. 64830. (davalos@colpos.mx). [§] Autor para correspondencia: alealonso@colpos.mx.

Resumen

Los objetivos del estudio fue caracterizar fisicoquímicamente un efluente salobre de tilapia en producción comercial y evaluar el crecimiento de tres tipos de vegetales herbáceas en acuaponia. El diseño experimental fue completamente al azar. Los intervalos encontrados en los parámetros fueron: temperatura del agua (20-31.5 °C), pH (5.7-7.59), oxígeno (4-5.3 mg L⁻¹), conductividad eléctrica (3.1-8.57 dS m⁻¹), bicarbonatos (0.60-2.60 Meq L⁻¹), cloruros (27-85.7 Meq L⁻¹), sulfatos (2.29-4.16 Meq L⁻¹), amoníaco (2-50 mg L⁻¹), nitritos (0.035-1.84 mg L⁻¹), nitratos (0.10-24.60 mg L⁻¹), calcio (1.02-14.29 Meq L⁻¹), magnesio (3.52-16.17 Meq L⁻¹), potasio (0.15-11.93 Meq L⁻¹), dureza total (280.08-1398.7 mg L⁻¹), sólidos disueltos totales (2109.30-5519.00 mg L⁻¹), relación de absorción de sodio (9.62-32.09 Meq L⁻¹). Los coliformes totales y fecales estuvieron en los límites indicados en la Norma Mexicana NOM-001-ECOL-1996. En acuaponia, las especies *Petroselinum purpuratus* Harv no resistió a las condiciones del efluente; mientras que, *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng, presentó menor altura en comparación con la siembra tradicional. En contraste tanto en acuaponia como en siembra tradicional la *Mentha X verticillata* L. observó un buen crecimiento.

Abstract

The objectives of the study were; to characterize physicochemically a tilapia brackish effluent in commercial production and evaluate the growth of three types of herbaceous plants in aquaponic. The experimental design was completely randomized. The ranges found in the parameters were: water temperature (20-31.5 °C), pH (5.7-7.59), oxygen (4-5.3 mg L⁻¹), electrical conductivity (3.1-8.57 dS m⁻¹), hydrogen (0.60-2.60 meq L⁻¹), chlorides (27-85.7 Meq L⁻¹), sulfates (2.29-4.16 meq L⁻¹), ammonia (2-50 mg L⁻¹), nitrites (0.035-1.84 mg L⁻¹), nitrate (0.10-24.60 mg L⁻¹), calcium (1.02-14.29 meq L⁻¹), magnesium (3.52-16.17 meq L⁻¹), potassium (0.15-11.93 meq L⁻¹), total hardness (280.08-1398.7 mg L⁻¹), total dissolved solids (2109.30-5519.00 mg L⁻¹), sodium absorption ratio (9.62-32.09 meq L⁻¹). Total and fecal coliforms were within the limits indicated in the Mexican Standard NOM-001-ECOL-1996. In aquaponic, the species *Petroselinum purpuratus* not resist effluent conditions, whereas, *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng, has a lower height compared to traditional planting. In contrast both traditional planting aquaponic as *Mentha X verticillata* L. good growth observed.

* Recibido: septiembre de 2012
Aceptado: enero de 2013

Palabras clave: efluente salobre, sistemas acuapónicos, producción integral de tilapia.

Introducción

En México la acuacultura ha adquirido mayor importancia en los últimos años, por los beneficios sociales y económicos que genera, lo que permite contar con alimentos con un valor nutricional elevado (Alvarez *et al.*, 1999). Además, la FAO (1997), espera que contribuya significativamente en la seguridad alimentaria y la disminución de la pobreza en el mundo. Sin embargo, una de las principales limitantes en la producción acuícola es la concentración de materia orgánica en los estanques de cultivo, como resultado de las excreciones de los peces, el alimento proporcionado y otros insumos adicionados tales como hormonas (Tacon y Foster, 2003), provocando que los efluentes contribuyan al deterioro de los cuerpos hídricos receptores.

En el estado de Veracruz, la mayoría de las granjas acuícolas de tilapia se ubican cerca de un cuerpo de agua del cual se abastecen (Palomarez, 2010). Sin embargo, la calidad del agua en su mayoría es pobre debido a los residuos de fertilizantes, pesticidas y diversos compuestos que contaminan las aguas superficiales al ser transportados por la escorrentía fuera de las zonas agrícolas donde se aplicaron. Aunado a esto, el nitrógeno en forma de amonio puede ser tóxico para los peces, y los nitratos y fosfatos intensifican el crecimiento de plantas y algas, acelerando la eutrofización de lagos y embalses (SEMARNAT, 2002; Tamames, 2002).

En contraste, en la agricultura se ha reportado los beneficios de la utilización de aguas residuales tanto domésticas como urbano-industriales debido a los contenidos de nitrógeno y fósforo, lo que podría ayudar a reducir los requerimientos de fertilizantes comerciales (Mendoza, 2009).

La acuacultura requiere eliminar eficazmente los diversos componentes orgánicos e inorgánicos presentes en los efluentes de las unidades de cultivo. Una alternativa es integrar la acuacultura y la agricultura hidropónica reutilizando el efluente y con ello se disminuye el impacto ambiental, lo que se conoce como acuaponia, que es un sistema de recirculación de agua utilizando un tratamiento de biofiltración para eliminar la materia orgánica y la transformación de amonio en nitritos y nitratos, lo que

Key words: aquaponic systems, brackish effluent, integral production of tilapia.

Introduction

Aquaculture in Mexico has become more important in recent years by the social and economic benefits it generates, allowing have foods with high nutritional value (Alvarez *et al.*, 1999). In addition, FAO (1997), expected to contribute significantly to food security and poverty reduction in the world. However, one of the main constraints in aquaculture production is the concentration of organic matter in culture ponds as a result of fish excreta, food and other supplies provided added such as hormones (Tacon and Foster, 2003), causing the effluent contribute to the deterioration of receiving water bodies.

In the state of Veracruz, most tilapia aquaculture farms are located near a body of water which are supplied (Palomarez, 2010). However, water quality is poor mainly due to residues of fertilizers, pesticides and various compounds that pollute surface waters while they are transported by runoff away from agricultural areas where applied. Added to this, nitrogen in the form of ammonium can be toxic to fish, and nitrates and phosphates intensify the growth of plants and algae, accelerating eutrophication of lakes and reservoirs (SEMARNAT, 2002; Tamames, 2002).

In contrast, agriculture has reported benefits from the use of both domestic and urban-industrial wastewater because the contents of nitrogen and phosphorus, which could help reduce the need for commercial fertilizers (Mendoza, 2009).

Aquaculture requires effectively remove various organic and inorganic components present in the effluents of farming units. An alternative is to integrate aquaculture and hydroponic farming reusing the effluent and thereby reduces the environmental impact, which is known as aquaponics, a recirculating water system using a biofiltration treatment to remove organic matter and the ammonium transformation to nitrite and nitrate, which nourishes plants (Ortiz, 2009). Therefore, the objective of this study was to characterize a tilapia physicochemically brackish effluent tilapia in commercial production and evaluate its potential use in growing seven herbaceous plant species in aquaponics.

nutre a las plantas (Ortiz, 2009). Por lo tanto, el objetivo fue caracterizar fisicoquímicamente un efluente salobre de cultivo de tilapia en producción comercial y evaluar su potencial uso en el cultivo de siete especies vegetales herbáceas en acuaponia.

Materiales y métodos

Ubicación del experimento y condiciones experimentales

La investigación se realizó en la granja “Productos acuícolas SIN-VER S.A. de C. V. en San José Novillero, Boca del Río, Veracruz. A 19° 95' 38.83'' latitud norte y 96° 08' 21.31'' longitud oeste a nueve msnm.

El sistema de acuaponia estuvo compuesto por un estanque de cultivo de cemento de fondo plano y color blanco, con una altura de 1 m x 4 de ancho y 10 de longitud (40 m³). La aireación se distribuyó mediante un tubo de PVC ubicado en el centro del estanque. Una bomba monofásica de 1492 W (watt) hizo circular el agua. Se utilizó un biofiltro (750 L) con 1 000 cuentas confeccionadas con poliducto coflex color naranja de 1.27 cm. Asimismo, en el sistema nutrient film technique (NFT) se utilizó cuatro tubos de PVC rígido de 10.16 cm con 120 orificios de 6 cm de diámetro a una distancia de 10 cm entre orificios. El efluente provino del estanque de cultivo por medio de una salida al biofiltro, utilizando una tubería de PVC con conexiones de 5.08 cm a 10.16 cm. El primer tubo se conectó con el nivel 2 por medio de codos de 90° de esta forma se hizo circular el agua por gravedad hacia el tercer y cuarto tubo, todos ellos de 10.16 cm de diámetro con un flujo constante de 10 s L⁻¹, recorriendo 23.20 m lineales de tubería, retornando al estanque de peces (Figura 1).

Especies vegetales herbáceas

Se evaluaron cinco especies de orégano orejón (*Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng), vaporub® (*Petroselinum purpuratus* Harv), hierbabuena (*Mentha X verticillata* L.), con cinco repeticiones. Posteriormente se colocaron en un vaso de plástico (250 mL), con orificios alrededor, se sostuvo con hule espuma (6 cm²). Como testigo se utilizó la siembra tradicional, utilizando las mismas especies antes mencionadas con tres repeticiones (el número de las plantas fue de acuerdo a disponibilidad). Las plantas se trasplantaron en bolsas de plástico color negro, conteniendo

Materials and methods

Location of the experiment and experimental conditions

The research was conducted on the farm "Aquaculture products SIN-SEES.A.C.V.San José Truant, Boca del Río, Veracruz, located at 19° 95' 38.83" north latitude and 96° 08' 21.31" west at 9 masl. The aquaponics system was composed of a cement culture pond with a white flat bottom and white, with a height of 1 x 4 wide and 10 long (40 m³). Aeration was provided through a PVC pipe in the center of the pond. A monophasic pump 1 492 W (watt) circulated water. We used a biofilter (750 L) with 1 000 accounts made with orange coflex pipeline 1.27 cm. Also in the nutrient film system technique (NFT) were used four rigid PVC tubes with 120 holes 10.16 cm 6 cm in diameter at a distance of 10 cm between holes. The effluent pond culture came through the biofilter output using a PVC pipe connections 5.08 cm to 10.16 cm. The first tube was connected with level 2 through 90 ° elbows thus circulated water by gravity into the third and fourth tube, all of 10.16 cm in diameter with a steady flow of 10 s L⁻¹, traveling 23.20 m of pipe, returning to the fish pond (Figure 1).

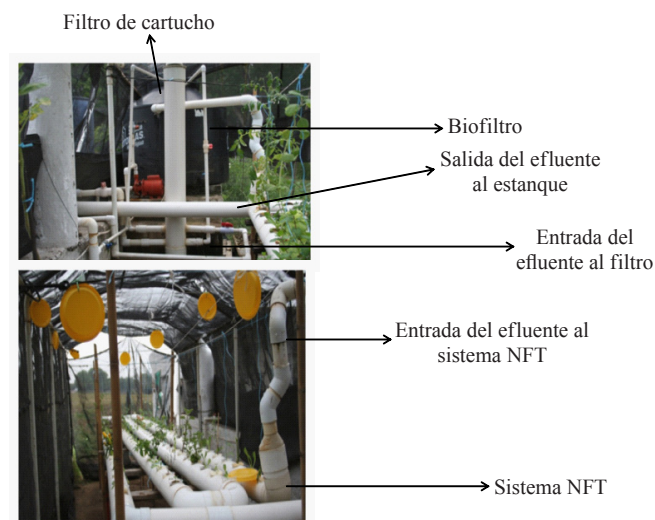


Figura 1. Sistema de hidroponía.
Figure 1. Hydroponics system.

Herbaceous plant species

Three herbaceous plant species were evaluated: big ears oregano (*Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng), Vaporub® (*Petroselinum purpuratus* Harv), peppermint (*Mentha X verticillata* L.), with five replicates. They were placed in a plastic cup (250 mL), with orifices around,

1.515 kg de sustrato tierra/tezontle con una relación 2:1. Capacidad de campo de 2.165 L. Cada tercer día se aplicó 2 g L⁻¹ de Hakaphos® 13-40-13 (fertilizante químico) conteniendo los microelementos: nitrógeno total (13%), anhídrido fosfórico P₂O₅ (40%), óxido potásico K₂O (13%), boro (0.1%) y molibdeno (0.01%). Además, microelementos quelatados por EDTA: cobre (0.02%), hierro (0.05%), manganeso (0.05%) y zinc (0.02%). El sistema de hidroponía fue cubierto con malla sombra al 70%.

Obtención de crías de tilapia

700 crías de tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) con un peso inicial total de 0.57 g, se revirtieron sexualmente 99% aplicando 7.5 mg por kg de fluoximesterona durante 25 días.

Alimentación

En la etapa inicial y de engorda se alimentaron con una dieta comercial (Silver Cup El pedregal) conteniendo 45% y 35% de proteína cruda, respectivamente. Se suministró diariamente a saciedad a las 9:00, 12:00 y 16:00 h.

Caracterización fisicoquímica del efluente salobre del cultivo de tilapia

Se determinó pH, conductividad eléctrica, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, potasio, dureza total, sólidos disueltos totales y relación de absorción de sodio, en el laboratorio de suelo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Cotaxtla, Veracruz. *In situ* se registró temperatura y oxígeno, con una sonda multiparámetros marca YSI. Por lo contrario, para amoníaco, nitritos y nitratos se utilizó un espectrofotómetro portátil modelo DR/2400 Hach®. Los muestreos se realizaron cada quince días durante cuatro meses. Además, al inicio y al final del experimento se analizaron los coliformes fecales y totales con la técnica del número más probable (NMP) de acuerdo a la norma mexicana PROY-NMX-AA-042-SCFI-2005, en el laboratorio de microbiología del Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, Veracruz. Asimismo, se observaron amebas en fresco por el método de microscopía, en el laboratorio particular de análisis clínicos de Puente Julia, Paso de Ovejas, Veracruz. Al finalizar la investigación, se analizó el lodo del efluente acumulado en el estanque así como el sustrato utilizado en la siembra tradicional.

holding them with plastic foam (6 cm²). As control it was used the traditional planting, using the same species mentioned above with three repetitions (the number of plants was based on availability). The plants were transplanted into black plastic bags containing 1 515 kg of substrate earth/volcanic rock with a 2:1 ratio with water at field capacity of 2 165 L. Every third day it was applied 2 g L⁻¹ Hakaphos® 13-40-13 (chemical fertilizer) containing: total nitrogen (13%), phosphorus pentoxide P₂O₅ (40%), K₂O potassium oxide (13%), boron (0.1%) and molybdenum (0.01%). In addition, EDTA chelated microelements: copper (0.02%), iron (0.05%), manganese (0.05%) and zinc (0.02%). The hydroponic system was covered with 70% shade cloth.

Getting tilapia tiddlers

700 tilapia tiddlers (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) with a total initial weight of 0.57 g, 99% of which were sexually reversed by adding 7.5 mg per kg of fluoxymesterone during 25 days.

Feeding

In the initial stage and feedlot, fishes were fed with a commercial diet (Silver Cup and El Pedregal) containing 45% and 35% crude protein, respectively. Provided to satiety every day at 9:00, 12:00 and 16:00 h.

Physicochemical characterization of cultivated tilapia brackish effluent

It was determined: pH, electrical conductivity, bicarbonates, chlorides, sulfates, calcium, magnesium, potassium, total hardness, total dissolved solids and sodium absorption ratio in the soil laboratory of the National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP), Campus Cotaxtla, Veracruz. Temperature and oxygen were recorded in situ with a multi-parameter probang YSI brand. On the contrary, for ammonia, nitrites and nitrates it was used a portable spectrophotometer Hach® DR/2400 model. Samples were taken every two weeks for four months. In addition, at the beginning and end of the experiment were analyzed fecal and total coliform through the technique named *most probable number* (MPN) according to the Mexican standard NMX-AA-PROJ-042-SCFI-2005, in the microbiology laboratory of the Postgraduate College, Campus Córdoba, Veracruz. Also, fresh amoebae were observed by microscopy method, in a particular clinical analysis laboratory at Puente Julia,

Evaluación de siete tipos especies vegetales herbáceas en acuaponia

Posterior al trasplante, cada semana durante cuatro meses se midió la altura con una cinta métrica de $1\text{ m} \pm 0.1$ y el grosor de tallo con un vernier digital.

Producción de tilapia en acuaponia

Cada 10 días se realizó un muestreo de 60 peces y se pesaron en una báscula (capacidad de 20 kg, Torrey modelo SK-2000 WP, Korea). Posteriormente, con ese dato se estimó el número total de organismos, peso promedio (g), densidad (kg m^{-3}), sobrevivencia (%) y factor de conversión alimenticia total.

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento fue desarrollado bajo casa sombra para el caso de las plántulas del sistema NFT (acuaponia) y siembra tradicional, utilizando un diseño experimental completamente al azar. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva, posteriormente se efectuó un análisis de varianza y una prueba de medias Tukey, ($p \leq 0.05$), con el software STATISTICA versión 7 (StatSoft, 2006).

Resultados y discusión

Características fisicoquímicas del efluente salobre

La temperatura media del agua fue de 27.5°C (20 a 31.5°C). El pH en la entrada fue de 6.81 (5.9 a 7.5) y en la salida 6.74 (5.7 a 7.5), el cual está en el intervalo óptimo (6.7 a 8.4) para el cultivo de tilapia (Asiain *et al.*, 2011). Por el contrario, en plantas el pH óptimo es de 5.5 a 7.0 (Gilsanz, 2007). Con respecto al oxígeno se registró una media de 4.49 mg L^{-1} (4 a 5.3), esta variación se debió a la respiración de los peces, plantas y bacterias que degradan la materia orgánica (Zweig, 1999). Aunque, estuvieron en el intervalo óptimo (4 mg L^{-1}) (Asiain *et al.*, 2011). En las plantas el oxígeno es necesario para su desarrollo y crecimiento de las raíces, para ello se requieren valores mínimos de 8 a 9 mg L^{-1} (Gilsanz, 2007).

La conductividad en este estudio fue de 6.28 dS m^{-1} (3.3 a 8.5) en la entrada y 6.23 dS m^{-1} (6.2 a 8.5) en la salida, encontrándose en el intervalo óptimo de 5 a 10% (Payne, 1983). A partir del día 80 la salinidad bajó a cero debido a las lluvias, aunque la tilapia tolera una salinidad de 0 a 36% .

Paso de Ovejas, Veracruz. At the final phase of the research, both the mud effluent accumulated in the pond and the substrate used in traditional planting were analyzed.

Evaluation of herbaceous plants in aquaponics

Posterior al trasplante, cada semana durante cuatro meses se midió la altura con una cinta métrica de $1\text{ m} \pm 0.1$ y el grosor de tallo con un vernier digital.

Tilapia production in aquaponics

Every 10 days it was getting a sampled 60 fishes which were weighed on a scale (capacity of 20 kg, Torrey WPSK-2000, Korea). Subsequently, this data was estimated the total number of organisms, average weight (g), density (kg m^{-3}), survival (%) and total dietary conversion factor.

Experimental design and statistical analysis

The experiment was developed under shade house for seedlings TNF system (aquaponics) and traditional planting, using a completely randomized design. Data were analyzed using descriptive statistics, then performed an analysis of variance and Tukey mean test ($p \leq 0.05$), with the software Statistica version 7 (StatSoft, 2006).

Results and discussion

Physico-chemical characteristics of the brackish effluent

The average water temperature was 27.5°C (20 to 31.5°C). The pH at the input was 6.81 (5.9 to 7.5) and the outlet 6.74 (5.7 to 7.5), which is in the optimal range (6.7 to 8.4) for tilapia cultivation (Asiain *et al.*, 2011). By contrast, in plants the optimum pH is 5.5 to 7 (Gilsanz, 2007). With respect to oxygen it was recorded an average of 4.49 mg L^{-1} (4 to 5.3), this variation was due to the respiration of fish, plants and bacteria that degrade organic matter (Zweig, 1999). Although, were in the optimal range (4 mg L^{-1}) (Asiain *et al.*, 2011). In plants oxygen is necessary for their development and root growth, this requires minimum values of 8 - 9 mg L^{-1} (Gilsanz, 2007).

Conductivity in this study was 6.28 dS m^{-1} (3.3 to 8.5) at the inlet and 6.23 dS m^{-1} (6.2 to 8.5) at the output, being in the optimum range of 5 to 10% (Payne, 1983). From day

La conductividad eléctrica se clasificó en C4 debido a la salinidad muy alta presente en el efluente. Sin embargo, únicamente se usa en cultivos tolerantes a la salinidad. Por el contrario, limitaría el desarrollo de las plantas al disminuirse la disponibilidad de agua en las raíces (Murtaza *et al.*, 2006).

En el Cuadro 1 se muestran las características químicas del efluente, indicando que los valores de bicarbonatos estuvieron óptimo (0 a 10 Meq L⁻¹) para el cultivo de plantas (Ayers y Wescot, 1985).

Se recomienda que el agua esté libre o contenga concentraciones bajas de bicarbonatos. De lo contrario, el calcio, magnesio, manganeso y el hierro no estarán disponibles para las plantas (Rodríguez, 2001).

80 the salinity dropped to zero due to rain, but the tilapia tolerates a salinity of 0-36%. Electrical conductivity was classified C4 due to high salinity present in the effluent. However, it is used only with salt tolerant crops. On the contrary, it would limit the development of plants when water availability in roots is decreasing (Murtaza *et al.*, 2006).

Table 1 shows the chemical characteristics of the effluent, indicating that the bicarbonates were optimal (0 to 10 Meq L⁻¹) to cultivate plants (Ayers and Wescot, 1985).

It is recommended that the water has not or contains low concentrations of bicarbonates. Otherwise, calcium, magnesium, manganese and iron are not available to plants (Rodríguez, 2001).

Cuadro 1. Características químicas en la entrada y salida del efluente en acuaponia.

Table 1. In put and output effluent chemical features in aquaponics.

Muestreo		Variables						
		Bicarbonatos	Cloruros	Sulfatos	Ca*	Mg*	K*	RAS*
		Meq/l						
Entrada	Media	1.68	59.96	2.98	6.97	8.44	5.28	16.97
	Mín.	0.60	28.80	2.29	1.02	3.71	0.23	9.84
	Máx.	2.60	85.70	4.16	14.29	16.17	11.86	25.12
	DE*	0.72	18.80	0.63	5.40	4.79	4.48	6.45
	EE*	0.25	6.64	0.22	1.91	1.69	1.58	2.28
Salida	Media	1.70	59.30	2.94	6.57	8.13	5.19	17.77
	Mín.	0.70	27.00	2.46	1.21	3.52	0.15	9.62
	Máx.	2.60	85.70	4.16	14.29	16.17	11.93	32.09
	DE*	0.67	19.11	0.64	5.61	4.96	4.58	7.90
	EE*	0.23	6.75	0.22	1.98	1.75	1.62	2.79
		Dureza total		SDT*	Amoniaco	Nitritos	Nitratos	
		mg L ⁻¹						
Entrada	Media	686.28		4042.73	16.56	0.70	5.90	
	Mín.	280.08		2137.60	2.00	0.035	0.20	
	Máx.	1398.47		5519.00	50.00	1.84	24.60	
	DE*	463.10		1145.25	20.47	0.70	6.12	
	EE*	163.73		404.90	5.11	0.17	1.53	
Salida	Media	686.28		4153.78	7.93	0.59	4.84	
	Mín.	294.62		2109.30	1.00	0.27	0.10	
	Máx.	1398.47		5519.00	50.00	1.84	20.90	
	DE*	463.10		1046.17	13.86	0.68	5.47	
	EE*	113.80		265.29	3.46	0.17	1.36	

* Ca calcio, Mg magnesio, K potasio, RAS relación de absorción de sodio, SDT sólidos disueltos totales, DE desviación estándar y EE error estándar.

Los valores de cloruro para el cultivo de tilapia se elevaron (Cuadro 1) ya que el intervalo adecuado debe ser <5 mg L⁻¹ (SAGARPA *et al.*, 2009). Para el cultivo de plantas la

Chloride values for tilapia cultivation were increased (Table 1) due that the appropriate interval should be <5 mg L⁻¹ (SAGARPA *et al.*, 2009). For plants cultivation Cl ion

concentración del ion Cl debe ser acorde a su tolerancia porque es tóxico para muchas de ellas, además al absorberse se inhibe el nitrógeno y el fósforo. Si el agua tiene un contenido menor a 3 Meq L⁻¹ de Cl, se considera de calidad buena, con contenidos mayores se deben buscar cultivos tolerantes (Favela *et al.*, 2006). Por otra parte, los sulfatos estuvieron dentro del intervalo 0 a 18 Meq L⁻¹ para el cultivo de tilapia (Timmons *et al.*, 2002) y entre 0 a 20 Meq L⁻¹ para plantas (Ayers y Wescot, 1985).

El calcio estuvo en el intervalo óptimo 0 a 20 Meq L⁻¹ así como el magnesio (0 a 50 Meq L⁻¹). En contraste, los valores óptimos de potasio (0 a 2 mg L⁻¹) estuvieron más altos (Cuadro 1) (Ayers y Wescot, 1985). Asimismo, Rakocy *et al.* (2004), reportaron concentraciones de 1.62 Meq L⁻¹ (0.76-2.22 Meq L⁻¹) en la entrada de hidroponía y 1.65 Meq L⁻¹ (0.75-2.22 Meq L⁻¹) en la salida. Con respecto a la relación de absorción de sodio los valores no estuvieron en el intervalo óptimo el cual es de 0 a 15 Meq L⁻¹ (Ayers y Wescot, 1985) (Cuadro 1).

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⁻¹ y de acuerdo a SAGARPA (s/f) entre 50 a 350 mg L⁻¹ (Cuadro 1).

La concentración de sólidos disueltos totales al inicio fueron muy altos en comparación con lo reportado por SEMARNAT (2010), de 161.46 mg L⁻¹ en el río de Jamapa. De acuerdo a Ayers y Wescot (1985), el óptimo para el cultivo de plantas es de 0 a 2000 mg L⁻¹. Asimismo, Ramírez (2000), reporta que para valores superiores a 2000 mg L⁻¹ el agua puede ser utilizada solamente para plantas tolerables. Por otra parte, Sikawa y Yakupitiyaque (2010), filtraron parcialmente el agua del estanque mediante el uso de un tanque de sedimentación y filtración del tanque mientras en el presente estudio solo se utilizó filtración a lo que se le puede atribuir a la alta concentración de sólidos disueltos totales (Cuadro 1).

Respecto a los valores de amonio, según SEMARNAT (2010) encontró en el río Jamapa 0.58 mg L⁻¹ en 2004. En las regiones tropicales, los peces toleran un valor máximo de 0.1 mg L⁻¹ (Zweig, 1999). En contraste, en nitratos el intervalo óptimo es de 0 a 10 mg L⁻¹ para el cultivo de peces (Ayers y Wescot, 1985). James (2010) indicó que la acumulación de nitrato en los sistemas de acuaponia tiene un efecto negativo en frutales, debido a que producen menos frutos mientras que hay un crecimiento vegetativo en exceso.

concentration must be according to its tolerance, because it is toxic to many of them, also while absorbing it, the absorption of nitrogen and phosphorus is inhibit. If water has a content of less than 3 meq Cl L⁻¹, it is considered good quality, with higher contents should look tolerant crops (Favela *et al.*, 2006). Moreover, sulfates were within the range 0 to 18 Meq L⁻¹ for tilapia (Timmons *et al.*, 2002) and between 0 to 20 Meq L⁻¹ for plants (Ayers and Wescot, 1985).

Calcium was in the range 0 to 20 Meq optimal L⁻¹ as well as magnesium (0 to 50 Meq L⁻¹). In contrast, the optimal values of potassium (0 to 2 mg L⁻¹) were higher (Table 1) (Ayers and Wescot, 1985). Also, Rakocy *et al.* (2004) reported concentrations of 1.62 meq L⁻¹ (0.76-2.22 meq L⁻¹) at the entrance of hydroponics and 1.65 meq L⁻¹ (0.75-2.22 meq L⁻¹) in the output. With respect to the sodium absorption ratio values were not within the optimum range which is from 0 to 15 Meq L⁻¹ (Ayers and Wescot, 1985) (Table 1).

Total hardness values were very high because the range for tilapia according to Su and Quintanilla (2008), is 20 to 350 mg L⁻¹ and according to SAGARPA (w/d) between 50 to 350 mg L⁻¹ (Table 1).

In Jamapa river, the total dissolved solids concentration at the beginning was very high compared with those reported by SEMARNAT (2010) of 161.46 mg L⁻¹. According to Ayers and Wescot (1985), the optimal concentration to cultivate plants is 0 to 2000 mg L⁻¹. Also, Ramírez (2000) reports that for values greater than 2000 mg L⁻¹ water can be used only by tolerant plants. Moreover, Sikawa and Yakupitiyaque (2010), partially filtered the tank water by using a sedimentation and filtration tank, in contrast in this study only filtration was used which can be attributed to the high concentration of total dissolved solids (Table 1).

Regarding the ammonia values, according to SEMARNAT (2010) it was found in the Jamapa river 0.58 mg L⁻¹ in 2004. In tropical regions, the fishes can tolerate a maximum value of 0.1 mg L⁻¹ (Zweig, 1999). In contrast, the optimal range of nitrate is from 0 to 10 mg L⁻¹ for fish farming (Ayers and Wescot, 1985). James (2010) reported that the accumulation of nitrate in aquaponics systems has a negative effect on fruit trees, because they produce less fruits while there is an excessive vegetative growth.

The coliform group is indicator of fecal contamination in water due to various diseases are transmitted by the fecal-oral way through food and water (Camacho *et al.*, 2009). Total

El grupo coliforme es indicador de contaminación fecal en agua debido a que diversas enfermedades se transmiten por vía fecal-oral al utilizar como vehículo los alimentos y el agua (Camacho *et al.*, 2009). En coliformes totales resultaron $6 \times 10^4/100$ mL y se redujo al final a $2.10 \times 10^4/100$ mL. Los coliformes fecales al inicio mostraron 1 100 NMP/100 mL y al final siete NMP/100 mL. Asimismo, la SEMARNAT (2010), reportó 1 043 NMP 100 mL⁻¹ de coliformes fecales en agua del río Jamapa. De acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996 el efluente está en el intervalo permisible de 1 000 a 2 000 NMP/100 mL para descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), en este caso para el uso en hidroponía.

Mientras que en amebas al inicio se observaron trofozoitos de *Balamuthia mandrilaris* +, *Vorticella* spp. y Paramecios. Al final, se observaron flagelados de *Naegleria fowleri* + y *Euglena* sp. Las amebas mostraron condiciones similares para su desarrollo como lo reportaron Bonilla *et al.* (2004) las cuales son frecuentes en cuerpos de agua con temperatura superior a 25 °C, oxígeno >5 mg L⁻¹, pH cercano a la neutralidad y alimento suficiente (bacterias y materia orgánica). Por otra parte, la NOM-001-ECOL-1996, las directrices no consideran a todos los protozoarios importantes para la salud pública como es el caso de las amebas (León, s/f). Sin embargo, en los ecosistemas acuáticos desempeñan un papel muy importante en el mantenimiento del flujo de energía y el reciclado de los nutrimentos (Bonilla *et al.*, 2004).

Con respecto al análisis de lodos se registró materia orgánica (57.2%), N (0.14%), potasio (0.98%), P (0.042%), Ca (1.48%), Mg (0.029%), Fe (2 321 mg L⁻¹), Cu (14 mg L⁻¹), Zn (321 mg L⁻¹) y Mn (302 mg L⁻¹). Rafiee y Saad (2005) en cultivo de tilapia roja encontraron N, K, P, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn con valores de 32.53, 7.16, 15.98, 26.81, 20.29, 11.46, 3.55, 3.55 y 13.43%, respectivamente, durante un periodo de cultivo de 20 a 200 g. Asimismo, se ha reportado que al alrededor de 75% de la alimentación de nitrógeno y 80% de la alimentación de fósforo no se recuperan en el pescado capturado y se asientan en el fondo del estanque en un sistema de cultivo de tilapia (Avnimelech y Lacher, 1979).

Estos datos indicaron que los residuos que se derivan de materiales fecales, de alimentos no consumidos son fuentes de energía, nutrientes para el crecimiento de organismos biológicos (bacterias, hongos y algas) y la biomasa de

coliforms it was obtained a concentration of $6 \times 10^4/100$ mL decreasing at the end to $2.10 \times 10^4/100$ mL. At the beginning, fecal coliforms showed 1100 MPN/100 mL and at the end 7 MPN/100 mL. Also, the SEMARNAT (2010) reported 1043 MPN 100 mL of fecal coliforms in Jamapa river water. According to NOM-001-ECOL-1996, the effluent is in the allowable range from 1 000 to 2 000 MPN/100 mL for discharged wastewater to waters and national goods and those discharged to soil agricultural irrigation), in this case for its use in hydroponics.

While in the beginning in amoebae were observed *Balamunthia mandrilaris* + *Vorticella* spp. y Paramecios trophozoites. At the end, it was observed *Naegleria fowleri* + and *Euglena* sp. flagellates. Amoebas showed similar conditions for their development as reported by Bonilla *et al.* (2004) which are common in water bodies with temperature above 25 °C, oxygen > 5 mg L⁻¹, pH near neutral and enough food (bacteria and organic matter). Furthermore, the NOM-001-ECOL-1996, the guidelines do not consider all protozoa of public health importance such as the amoeba (Leon, w/d). However, in aquatic ecosystems they play an important role in maintaining the energy flow and recycling of nutrients (Bonilla *et al.*, 2004).

Regarding muds analysis, it was registered: organic matter (57.2%), N (0.14%), potassium (0.98%), P (0.042%), Ca (1.48%), Mg (0.029%), Fe (2 321 mg L⁻¹), Cu (14 mg L⁻¹), Zn (321 mg L⁻¹) and Mn (302 mg L⁻¹). Rafiee and Saad (2005) in red tilapia culture found: N, K, P, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn and Zn with values of 32.53, 7.16, 15.98, 26.81, 20.29, 11.46, 3.55, 3.55 and 13.43% respectively, during a culture period of 20 to 200 g. Also, it has been reported that around 75% of the nitrogen feed and 80% of the phosphorus feed not recovered in the fish caught and settle on the bottom pound in a tilapia culture system (Avnimelech and Lacher, 1979).

These data indicated that residues derived from fecal material, non-consumed food, are sources of energy, nutrients for the growth of biological organisms (bacteria, fungi and algae) and biomass of microorganisms, is accumulated to the total solids suspension and the total dissolved solids in a culture system (Rafiee and Saad, 2005).

According to NOM REC NAT 021 2000 AS (07, 08, 1, 12 and 14), the substrate containing texture (sand 73.20%, 9.80% and silt clay 17%, pH 6.17, organic matter 4.17%, 2.70 inorganic nitrogen (%), P 81 mg L⁻¹, Ca 2105 mg L⁻¹

los microorganismos, se acumulan al total de sólidos en suspensión y el total de sólidos disueltos en un sistema de cultivo (Rafiee y Saad, 2005).

De acuerdo a la norma NOM 021 RECNAT 2000 AS (07, 08, 1, 12 y 14), el sustrato contenían textura (arena 73.20%, arcilla 9.80% y limo 17%, pH 6.17, materia orgánica 4.17%, nitrógeno inorgánico 2.70%, P 81 mg L⁻¹, Ca 2 105 mg L⁻¹ siendo estos valores altos. Mientras que para K 129 mg L⁻¹ y Mg 192 mg L⁻¹ 12 los valores fueron medianos. En constaste, para Fe 34 mg L⁻¹, Cu 4.1 mg L⁻¹, Zn 12.1 mg L⁻¹ y Mn 3.2 mg L⁻¹ estuvieron dentro del intervalo óptimo.

Evaluación de tres tipos de vegetales herbáceas en acuaponia

Durante la evaluación se registraron temperaturas mínimas de 16 °C y máxima de 30 °C. Asimismo, la humedad relativa fue muy variable con una mínima de 50% y una máxima de 100% en los días con presencia de lluvia.

Las plantas de orégano orejón en acuaponia mostraron alturas menores respecto a la siembra tradicional (Figura 2), y el diámetro del tallo mostró diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre ambos sistemas.

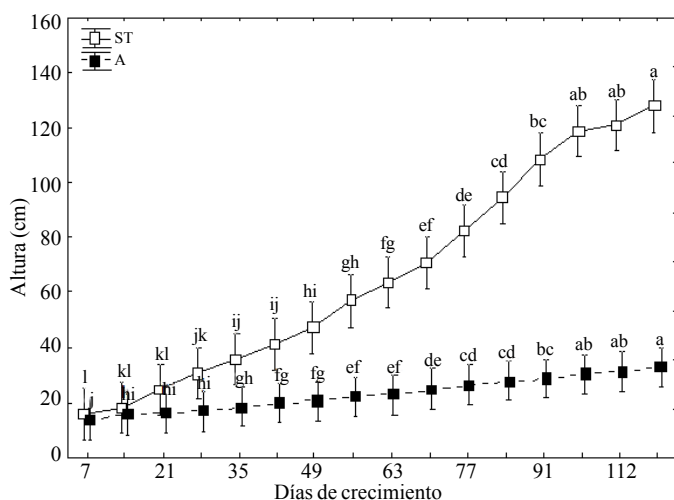


Figura 2. Altura del vaporub en el sistema de acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).

Figure 2. Height vaporub in aquaponics system (A) and traditional planting (ST).

En el caso del vaporub, en acuaponia presento una altura máxima de 20 cm al día 28. Sin embargo, las plantas entraron en estrés debido a la salinidad lo que provoco su muerte. Mientras, en el sistema tradicional tuvieron una altura constante (Figura 3).

being these high values. while for K 129 mg L⁻¹ and Mg 192 mg L⁻¹. 12 values were middle. In contrast in, for Fe 34 mg L⁻¹, Cu 4.1 mg L⁻¹, Zn 12.1 mg L⁻¹ and Mn 3.2 mg L⁻¹ were within the optimum range.

Evaluation of three herbaceous plants species in aquaponics

During the evaluation it was recorded minimum temperatures of 16 °C and maximum 30 °C. Also, the relative humidity was highly variable with a minimum of 50% and a maximum of 100% during raining days.

In aquaponics, oregano orejón plants showed lower heights compared to traditional planting (Figure 2), and stem diameter showed statistically significant differences ($p < 0.05$) in both systems.

In the case of vaporub, in aquaponics, this species showed a maximum height of 20 cm at day 28. However, the plants evidenced stress due to salinity which caused its death. Meanwhile, in the traditional system this specie had a constant height (Figure 3).

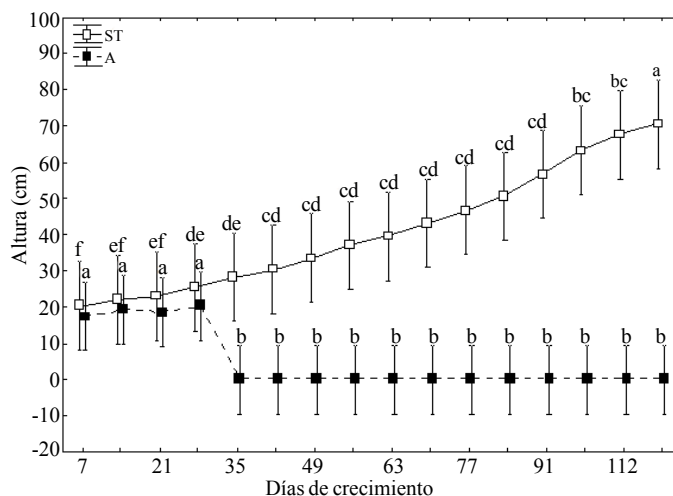


Figura 3. Altura del orégano orejón en el sistema de acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).

Figure 3. Oregano orejón height in aquaponics system (A) and traditional planting (ST).

In the case of peppermint height in aquaponics in both aquaponics and the traditional planting systems, the plants showed statistically significant differences ($p < 0.05$), nevertheless, plants height was comparable at the evaluation period (Figure 4), in contrast, plants in aquaponics showed greater stem diameter

En hierbabuena la altura en acuaponia y siembra tradicional mostraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$); sin embargo, la altura fue comparable en el periodo de evaluación (Figura 4), en contraste, las plantas en acuaponia mostraron mayor diámetro de tallo.

De acuerdo a Rakocy (2003) indicó que un sistema acuapónico comercial (0.05 ha) en el trópico, proyectaron una producción anual de tilapia de 4.37 t, y de albahaca 2.0, 1.8 y 0.6 kg m⁻² usando sistemas de producción en lotes, escalonadas y en campo, respectivamente. La producción anual proyectada para el sistema escalonado fue de 5 t de albahaca. Los síntomas de deficiencia de nutrientes sólo aparecieron en el cultivo de albahaca en lotes completos.

De acuerdo a Ramírez *et al.* (2008), sugirió considerar al orégano a nivel mundial en estos sistemas, dada su alta producción, además de ser un cultivo promisorio para ser explotado en sistemas conservadores del agua y que ocupan poco terreno, como el acuapónico. Cuthberg (2008), reportó que el cultivo de la menta posó un buen potencial debido a las condiciones climáticas de Colombia, y que la explotación de sus características puede resultar en una actividad económica importante.

Al inicio, las biometrías mostraron un peso inicial total de los alevines en promedio de 0.71 g y al final reflejaron una ganancia de peso promedio de 206.01 kg al día 120. Cabe mencionar que el cultivo de tilapia en acuaponia no se hizo recambios de agua mostrando una sobrevivencia de 91.10% en estas condiciones. El factor de conversión alimenticia total fue de 1.41. La densidad inicial fue de 0.012 y al final de 3.307 kg m⁻³. Tasa de crecimiento 1.7 g similar a la que reportan Rakocy *et al.* (2004). En contraste, Shnel *et al.* (2002) reportan una tasa de conversión alimenticia de 2.03, una tasa de crecimiento de 1.42 g, una densidad inicial de 10.4 kg m⁻³ y un total de 81.1 kg m⁻³, después de 331 días de cultivo.

Conclusiones

Las características fisicoquímicas del efluente salobre de tilapia mostraron que el pH, oxígeno, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, calcio, magnesio y nitratos estuvieron dentro de los intervalos óptimos para el cultivo de plantas. En contraste, la conductividad eléctrica, potasio, relación de absorción de sodio, dureza total, sólidos disueltos totales, amoníaco y nitritos no estuvieron en los intervalos óptimos.

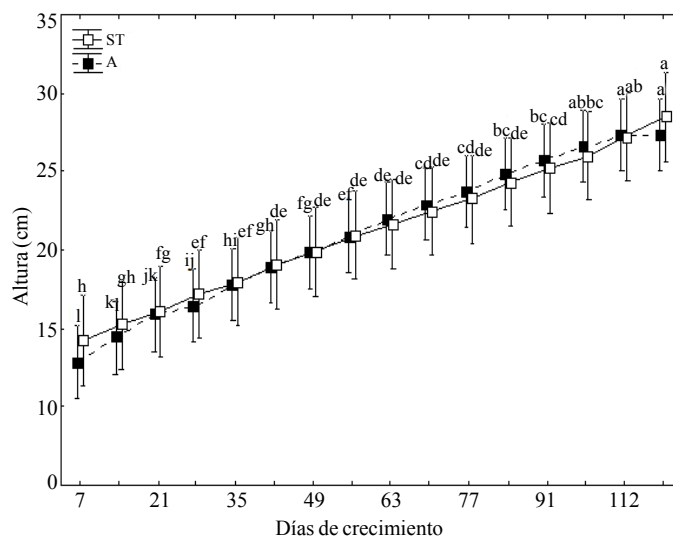


Figura 4. Altura de la hierbabuena en el sistema de acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).

Figure 4. Height of peppermint in the aquaponics system (A) and traditional planting (ST).

Rakocy (2003) indicated that a commercial aquaponic system (0.05 ha) in the tropics, projected an annual production of 4.37 t of tilapia, and basil 2.0, 1.8 and 0.6 kg m⁻² using batch production systems, staggered and in field respectively. The annual production projected for the staggered system was 5 t of basil. The nutrient deficiency symptoms appeared only in basil culture in whole lots.

Ramírez *et al.* (2008) suggested the culture of this oregano spice in these systems even at global level, given their high production, its role in water conservative systems and its low space requirement in aquaponics. Cuthbert (2008) reported that the cultivation of mint has good potential due to the climatic conditions of Colombia, and the holding of its features can result in an important economic activity. In the case of tilapia fry, at the beginning, the biometrics showed an initial total averaged weigh of 0.71 g, at the end, it showed an average weight gain of 206.01 kg at day 120. It should be mentioned that in the aquaponic tilapia culture, did not refill water with a survival of 91.10% under these conditions. The total food conversion factor was 1.41. The initial density was 0.012 and at the end of 3 307 kg m⁻³. The growth rate obtained was 1.7 g, similar to that reported by Rakocy *et al.* (2004). In contrast, Shnel *et al.* (2002) reported a food conversion ratio of 2.03, a growth rate of 1.42 g, an initial density of 10.4 kg m⁻³ and a total of 81.1 kg m⁻³, after 331 days of cultivation.

Con respecto a los coliformes fecales y totales así como las amebas estuvieron en los intervalos permitidos. Por otro lado, el efluente se clasificó en C4 indicando una salinidad alta y ser utilizado en cultivos tolerantes a la salinidad. Éste trabajo de investigación aporta conocimiento sobre el cultivo de plantas herbáceas en condiciones salobres, frecuentes en explotaciones costeras. Esto permite mostrar alternativas de producción integral a las empresas acuícolas y disminuir el impacto ambiental. Asimismo, de las tres especies vegetales herbáceas evaluadas, la hierbabuena (*Mentha X verticillata* L.) mostró un desarrollo comparable entre los dos sistemas de siembra.

Agradecimientos

Los autores agradecen al C. Francisco Yee Rubio por prestar las instalaciones de su empresa Productos Acuícolas SIN-VER S. A. de C. V., al Colegio de Postgraduados y a la Línea Prioritaria de Investigación 4 Agronegocios, Agroecoturismo y Arquitectura del Paisaje del Colegio de Postgraduados, por el financiamiento económico para esta investigación y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para estudios de postgrado del primer autor.

Literatura citada

- Alvarez, T. P.; Ramírez, M. C. y Orbe, M. A. 1999. Desarrollo de la acuicultura en México y perspectivas de la acuicultura rural. Red de Acuicultura Rural en Pequeña Escala. 38 p.
- Asiain, H. A.; Fernández, D. B.; Reta, M. J. L. y Suárez, S. C. A. 2011. Manual de acuicultura para la producción de mojarra tilapia (*oreochromis* spp). Colegio de Postgraduados. Montecillos, Texcoco, Estado de México. 32 p.
- Avnimelech, Y. and Lacher, M. 1979. A tentative nutrient budget for intensive fish ponds, bamidgah. Isr. J. Aquac. 31:3-8.
- Ayers, R. S. and Wescot, D. W. 1985. Water quality for agriculture. FAO, Irrigation and Drainage paper 29 Rev. I. Roma, Italia. 174 p.
- Bonilla, L. P.; Ramírez, F. E.; Ortiz, O. R. y Eslava, C. C. A. 2004. Ecología de las amibas patógenas de vida libre en ambientes acuáticos. In: Irma R., Alejandro C. and Exequiel E. s (Eds.). Microbiología ambiental. México. INE-SEMARNAT. 134 p.
- Camacho, A.; Giles, M.; Ortégón, A.; Palao, M.; Serrano, B. y Velázquez, O. 2009. Técnicas para el análisis microbiológico de alimentos. 2ª (Ed.) Facultad de Química, UNAM. México, D. F.
- Cuthberg, K. 2008. A south african system. Backyard aquaponics 2:5-9. Second trimestre.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1997. Aquaculture development. FAO Fisheries. Circular. 815. Rev 8.

Conclusions

The physicochemical characteristics of tilapia brackish effluent showed that; the pH, oxygen, carbonate, bicarbonate, sulphate, calcium, magnesium and nitrates were within optimal ranges for plants cultivation. In contrast, the electrical conductivity, potassium, sodium absorption ratio, total hardness, total dissolved solids, ammonia and nitrites were not at optimal intervals. With respect to total and fecal coliforms and amoebae were within the allowed ranges. Furthermore, the effluent was classified into C4 indicating high salinity and should be used only in salt tolerant crops. This research provides knowledge about herbaceous plants growing in brackish conditions, common in coastal farms. Also, this allows show to aquicolas enterprises some integral production alternatives and also decreasing the environmental impact. Also, of the three herbaceous plant species evaluated, peppermint (*Mentha X verticillata* L.) showed a comparable grow in both planting systems.

End of the English version



- Favela, C. E.; Preciado, R. P. y Benavides, M. A. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila. 148 p.
- Gilsanz, C. J. 2007. Hidroponía. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.) 31 pp.
- James, J. 2010. Alternative water treatment technologies for an aquaponic system.
- León, S. G. s/f. Parámetros de calidad para el uso de aguas residuales. Guías de calidad de efluentes para la protección de la salud Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/leon2.pdf>. (consultado octubre, 2012).
- Mendoza, S. I. 2009. Calidad de las aguas residuales urbano-industriales que riegan el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 212 p.
- Murtaza, G.; Ghafoor, A. and Qadir, M. 2006. Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cotton-wheat rotation. Agric. Water Manage. 81:98-114.
- Ortiz, I. A. S. 2009. Remocao de nitrogenio de agua residuaria de producao intensiva de tilapias com recirculacao utilizando reator de leito fluidizado com circulacao em tubos concéntricos. Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira. 170 p.
- Palomarez, G. J. M. 2010. Valoración de la calidad de los influentes y efluentes de las granjas acuícolas de la cuenca baja del Río Jamapa, Veracruz. Tesis de maestría en ciencias en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz. 98 p.
- Payne, A. I. 1983. Estuarine and salt tolerant tilapias. In: CENDEPESCA (Ed.). Manual de reproducción de cultivo de tilapia. 68 p.

- Rafiee, G. and Saad, C. R. 2005. Nutrient cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*oreochromis* sp.) growth in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture* 244:109-118.
- Rakocy, J. 2003. Questions and answers. *Aquaponics Journal*. 31(4):32-34.
- Rakocy, J. E.; Shultz, R. C.; Bailey, D. S. and Thoman, E. S. 2004. Aquaponic production of tilapia and basil: Comparing a batch and staggered cropping system. *Acta Horticulturae* (ISHS) 648:63-69.
- Ramirez, D.; Sabogal, D.; Jiménez, P. y Hurtado G. H. 2008. La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. 4:32-51.
- Ramírez, L. A. 2000. Actualización del plan maestro para el mejoramiento de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Juárez, Chihuahua. 108 p.
- Rodríguez, D.; Hoyos, M. y 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.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Fundación Produce Veracruz (FUNPROVER). Gobierno del estado de Veracruz y Alianza para el Campo. s/f. Manual de producción de tilapia con especificaciones de calidad e inocuidad. <http://www.funprover.org/formatos/cursos/manual%20buenas%20practicas%20acuicolas.Pdf>. (consultado septiembre, 2012).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Informe de la situación del medio ambiente en México. http://www.paot.org.mx/centro/ine-emarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/04_Agua/4.5_Usos/index.htm. (consultado septiembre, 2012).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Compendio de estadísticas ambientales. Calidad del agua conforme a parámetros físicos, químicos y biológicos. http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.58080/ibi_apps/WFServletad33.html (consultado noviembre, 2012).
- Shnel, N.; Barak, Y.; Ezer, T.; Dafni, Z. and van Rijn, J. 2002. Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system. *Aquacultural Engineering* 26:191-203.
- Sikawa, D. C. and Yakupitiyage, A. 2010. The hydroponic production of lettuce (*lactuca sativa* L) by using hybrid catfish (*clarias macrocephalus* x *c. Gariepinus*) pond water: potentials and constraints. *Agric. Water Manag.* 97:1317-1325.
- Su, H. T. y Quintanilla, M. 2008. Manual de reproducción del cultivo de tilapia. CENDEPESCA. 68 p.
- StatSoft, I. 2006. Statistica (data analysis software system), version 7.1. East 14th Street Tulsa, OK 74104, USA.
- Tacon, A. and Forster I. 2003. Aquafeeds and the environment: policy implications. *Aquacultura* 226:181-189.
- Tamames, R. 2002. Agricultura de conservación 2002 un enfoque global. Mundi-Prensa (Ed.). Madrid, España. 207 pp.
- Timmons, M. B.; Ebeling, J. M.; Wheaton, F. W.; Summerfelt, S. T. and Vinci, B. J. 2002. Recirculating aquaculture systems. Northeastern Regional Aquaculture Center. EUA. 769 pp.
- Zweig, R. D.; Morton, J. D. and Stewart, M. M. 1999. Source water quality for aquaculture, a guide for assessment. Environmental and social sustainable development, rural development. 74 p.