



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**EVALUACIÓN DE SIETE TIPOS DE VEGETALES HERBÁCEAS CULTIVADAS
EN ACUAPONIA USANDO EL EFLUENTE DEL CULTIVO DE TILAPIA
(*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) EN CONDICIONES SALOBRES**

ROSA CAMPOS PULIDO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ

2013

La presente tesis, titulada: **Evaluación de siete tipos de vegetales herbáceas cultivadas en acuaponía usando el efluente del cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) en condiciones salobres**, realizada por la alumna: **Rosa Campos Pulido**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: _____


DR. ALEJANDRO ALONSO LÓPEZ

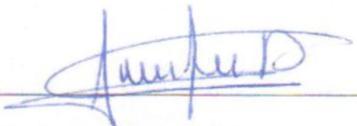
ASESOR: _____


DR. JUAN LORENZO RETA MENDIOLA

ASESOR: _____


DR. ALBERTO ASIAIN HOYOS

ASESORA: _____


DRA. DORA ANGÉLICA AVALOS DE LA CRUZ

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, 04 de marzo de 2013

**EVALUACIÓN DE SIETE TIPOS DE VEGETALES HERBÁCEAS CULTIVADAS EN
ACUAPONIA USANDO EL EFLUENTE DEL CULTIVO DE TILAPIA
(*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) EN CONDICIONES SALOBRES**

Rosa Campos Pulido, MC.

Colegio de Postgraduados, 2013

Los objetivos de este estudio fueron caracterizar fisicoquímicamente un efluente salobre de cultivo de tilapia en producción comercial, evaluar el crecimiento de siete tipos de vegetales herbáceas en acuaponia y conocer criterios para seleccionar plantas de acuerdo a las características del efluente. El diseño experimental fue completamente al azar. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva y análisis de varianza. Para comparar las medias de los parámetros evaluados se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, ($P \leq 0.05$) y se realizaron correlaciones para las características químicas del efluente con el software STATISTICA versión 7. Los intervalos para 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 (2.0-50 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), sodio (22.00-61.95 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), la presencia de microorganismos coliformes totales y fecales estuvo en los límites indicados en la Norma Mexicana NOM-001-ECOL-1996. El efluente se clasificó en C4 de salinidad muy alta y es apto en cultivos tolerantes a la salinidad. En acuaponia, las especies *Dysphania ambrosioides*, *Petroselinum crispum* y *Capsicum annum* no crecieron probablemente por la salinidad; mientras que, *Plectranthus amboinicus*, *Plectranthus purpuratus* y *Capsicum sp.* tuvieron menor altura en comparación con la siembra tradicional. En contraste tanto en acuaponia como en siembra tradicional la *Mentha spicata* presentó un buen crecimiento.

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

**EVALUATION OF SEVEN TYPES OF HERBACEOUS PLANTS CULTIVATED
AQUAPONICALLY USING BRACKISH EFFLUENT FROM TILAPIA
(*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) CULTURE**

Rosa Campos-Pulido, MC.

Colegio de Postgraduados, 2013

This study physico-chemically characterized the brackish effluent from the commercial production of tilapia in order to evaluate its effect on the growth of seven types of edible plant species cultivated aquaponically relative to these characteristics. The experimental design was completely randomized, and the data were analyzed using descriptive statistics and analyses of variance. When parameter means differed significantly, Tukey multiple comparisons tests ($P \leq 0.5$) were performed, and correlations with the effluent characteristics were estimated using the software STATISTIC version 7. Parameter ranges measured were: water temperature (20-31.5°C), pH (5.7-7.59), oxygen (4-5.3 mg L⁻¹), conductivity (3.1-8.57 dS m⁻¹), bicarbonates (0.6-2.6 Meq L⁻¹), chlorides (27-85.7 Meq L⁻¹), sulfates (2.29-4.16 Meq L⁻¹), ammonia (2.0-50 mg L⁻¹), nitrites (0.035-1.84 mg L⁻¹), nitrates (0.1-24.6 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), sodium (22.00-61.95 Meq L⁻¹), total hardness (280.08-1398.7 mg L⁻¹), total dissolved solids (2109.3-5519.0 mg L⁻¹) and sodium absorption relation (9.62-32.09 Meq L⁻¹). Total and fecal coliform counts were within the limits set by Mexican Norm NOM-001-ECOL-1996. The effluent was classified as C4 with very high salinity, and is acceptable for use with tolerant crops. The species *Dysphania ambrosioides*, *Petroselinum crispum* and *Capsicum annuum* did not grow due to the salinity, while *Plectranthus amboinicus*, *Plectranthus purpuratus* and *Capsicum sp.* were smaller in height compared to traditional planting. In aquaponics as in traditional planting, *Mentha spicata* had good growth.

Keywords: Brackish effluent, aquaponic systems, integrated tilapia production.

DEDICATORIA

A DIOS

“Porque nos hizo perfectos y no escoge a los capacitados, sino que capacita a los escogidos.
Hacer o no hacer algo, solo depende de nuestra voluntad y perseverancia” Albert Einstein.

A mis padres Victoriano Campos Romero y Juana Pulido Díaz por apoyarme en todas mis decisiones y por su amor infinito e incondicional, los amo.

A mis padrinos Ma. De los Ángeles García y Antonio Ortiz quienes religiosamente son mis segundos padres, por todo su cariño y brindarme su apoyo, los quiero mucho.

A mis hermanos Eloy, Claudio, Sonia Victoria, Clarisa y Concepción

Por su apoyo económico, material, moral, por escucharme y estar conmigo siempre, los amo.

A Gregorio Hernández Salinas por su amor, comprensión y apoyo incondicional durante todo este proceso, te amo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por haberme otorgado una beca que me permitió realizar mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, por su contribución en mi formación académica y el apoyo económico para desarrollar mi investigación.

Al Colegio de Postgraduado Campus Córdoba, por la donación de las plantas medicinales.

A la línea prioritaria de investigación (LPI4) Agronegocios, Agroecoturismo y Arquitectura del Paisaje del Colegio de Postgraduados por el financiamiento económico parcial para esta investigación.

A los profesores del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, con respeto y admiración por sus enseñanzas. En especial al Dr. Eliseo García, Dr. Pablo Díaz, Dr. Juan Pablo Martínez, Dr. Martin Briseño, Dra. Silvia López, Dra. Mónica Vargas, Dra. Carmen Álvarez, Dr. Francisco Osorio, Dr. Arturo Vásquez, Dr. José Collado, Dr. Octavio Rosado y Dr. Catarino Ávila.

Al Dr. Fernando Gómez Merino coordinador de la publicación especial en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, por su apoyo incondicional.

A la profesora de idiomas Lic. Gloria Peraza, por su apoyo incondicional.

Al personal de administración en especial a María de Jesús Hdez., Maribel Rebolledo, Rosario Mosqueda, Cinthia Salguero, Laura Grajales, Fabiola Tamayo, Andrés Trujillo, Julio Chalate y María de los Ángeles Cabrera, por su apoyo muchas gracias.

Al técnico laboratorista Jorge Castro, Al Ing. Carlos Suarez y a Luz Martínez por su apoyo técnico.

A mi Consejo Particular: Dr. Alejandro Alonso López, Dr. Alberto Asiain Hoyos, Dr. Juan Lorenzo Reta Mendiola y Dra. Dora Angélica Avalos de la Cruz, por el seguimiento y contribución al desarrollo de mi trabajo de investigación.

Al C. Francisco Yee Rubio, por su invaluable colaboración al prestar las instalaciones de su empresa **Productos Acuícolas SIN-VER S.A. de C.V.** para el desarrollo de esta investigación, y permitir la publicación de fotos en la presente tesis.

Al Ing. Rafael Campos, Ing. Jorge Velázquez e Ing. Marcos Bonilla, por su invaluable participación en esta investigación con información y apoyo técnico.

A Agroindustrias PARGO, especialmente al Biól. Benigno Fernández Díaz por su apoyo técnico.

Al Dr. Bruce Campbell por su apoyo en la traducción del resumen para la tesis y el artículo científico.

Al M.C. Ricardo Serna, por su valioso apoyo y por confiar en mí, muchas gracias.

A mis compañeros de generación, 2011-2012. Especialmente a Diego Valle, Gerson Alducin, Ayatzol Vidal, Doris Leyva y Maribel Apodaca por su amistad incondicional.

A mi gran amigo **Asdrúbal Burgos G.** y su apreciable mami la Sra. **Lucía Gutiérrez Viruete** por su hospitalidad y amabilidad durante mi estancia en la ciudad de Guadalajara.

A mis amigos **Yahir Canela, Wilber Aguilar, Carlos Sánchez, Ulises Jiménez. Manuel Hdez. y a Rosalía Hdez.,** por su apoyo y hacer amena mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

A Vicente Retureta por su apoyo inesperado.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Acuaponia desde el enfoque de Agroecosistemas.....	2
2.2. Hidroponía.....	3
2.3. Ventajas y desventajas de los cultivos hidropónicos.....	4
2.4. Nutrient Film Technique (NFT).....	5
2.5. Calidad del agua para riego agrícola.....	6
2.5.1. Conductividad eléctrica (CE).....	7
2.5.2. Relación de Absorción de Sodio (RAS).....	8
2.5.3. pH de la solución.....	10
2.5.4. Carbonatos y bicarbonatos.....	11
2.6. Elementos esenciales para las plantas.....	11
2.7. Descripción de las especies vegetales utilizadas en este trabajo de Investigación.....	12
2.7.1. Epazote (<i>Dysphania ambrosioides</i> (L.) Mosyakin y Clemants).....	12
2.7.2. Orégano orejón (<i>Plectranthus amboinicus</i> (Lour.) Spreng).....	13
2.7.3. Vaporub® (<i>Plectranthus purpuratus</i> Harv).....	13
2.7.4. Hierbabuena (<i>Mentha spicata</i> L.).....	13
2.7.5. Perejil (<i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) Fuss).....	14
2.7.6. Chile serrano (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	14
2.7.7. Chile de ornato (<i>Capsicum</i> sp.).....	15
2.8. Cultivo de tilapia blanca var. Rocky mountain (<i>Oreochromis niloticus</i> x <i>aureus</i>).....	15

2.9. Características de la calidad de agua para acuicultura.....	16
3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	18
4. HIPÓTESIS.....	18
4.1. General.....	18
4.2. Particulares.....	18
5. OBJETIVOS.....	18
5.1. General.....	18
5.2. Particulares.....	18
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
6.1. Área de estudio.....	20
6.2. Sistemas de cultivo.....	21
6.2.1. Sistema de maternidad.....	21
6.2.2. Sistema de acuaponia.....	21
6.2.3. Siembra tradicional.....	23
6.3. Obtención de organismos.....	23
6.4. Alimentación.....	24
6.5. Caracterización fisicoquímica del efluente salobre de cultivo de tilapia en la producción de siete tipos de vegetales herbáceas.....	24
6.6. Evaluación de siete tipos de vegetales herbáceas en acuaponia.....	26
6.7. Producción de tilapia en acuaponia.....	27
6.8. Diseño experimental y análisis estadístico.....	28
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
7.1. Características fisicoquímicas del efluente salobre de cultivo de tilapia para la producción de siete tipos de vegetales herbáceas.....	30
7.1.1. pH.....	30
7.1.2. Temperatura del agua.....	32

7.1.3. Oxígeno.....	33
7.1.4. Conductividad eléctrica.....	35
7.1.5. Carbonatos y bicarbonatos.....	36
7.1.6. Cloruros.....	37
7.1.7. Sulfatos.....	39
7.1.8. Amoníaco, nitritos y nitratos.....	40
7.1.9. Calcio (Ca).....	44
7.1.10. Magnesio (Mg).....	45
7.1.11. Potasio (K).....	46
7.1.12. Sodio (Na).....	48
7.1.13. Dureza total.....	50
7.1.14. Sólidos disueltos totales.....	51
7.1.15. Relación de absorción de sodio.....	52
7.1.16. Correlaciones de las características químicas del efluentes.....	54
7.1.17. Coliformes totales y fecales.....	55
7.1.18. Amibas.....	56
7.1.19. Lodos en el efluente de tilapia.....	57
7.1.20. Nutrimientos en la siembra tradicional.....	57
7.2 Evaluación de siete tipos de vegetales herbáceas en acuaponia.....	59
7.2.1. Temperatura y humedad relativa.....	59
7.2.2. Crecimiento y rendimiento en epazote (<i>Dysphania ambrosioides</i> (L.) Mosyakin y Clemants).....	61
7.2.3. Crecimiento y rendimiento en orégano orejón (<i>Plectranthus amboinicus</i> (Lour.) Spreng).....	63
7.2.4. Crecimiento y rendimiento en vaporub® (<i>Plectranthus purpuratus</i> Harv.).	67
7.2.5. Crecimiento y rendimiento en hierbabuena (<i>Mentha spicata</i> L.).....	70

7.2.6. Crecimiento y rendimiento en perejil (<i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) Fuss).	73
7.2.7. Crecimiento y rendimiento en chile serrano (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	77
7.2.8. Crecimiento y rendimiento en chile de ornato (<i>Capsicum</i> sp.).....	81
7.3. Producción de tilapia en acuaponia.....	83
7.4. Criterios para seleccionar plantas de acuerdo a las características del efluente.....	83
8. CONCLUSIONES	85
9. LITERATURA CITADA	87

LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Condiciones óptimas en el cultivo y reproducción de tilapia.....	16
Cuadro 2.	Parámetros para el análisis único de lodos.....	25
Cuadro 3.	Parámetros del análisis de suelo.....	26
Cuadro 4.	Plantas evaluadas en sistema de acuaponia y siembra tradicional.....	27
Cuadro 5.	Tratamientos para la evaluación de plantas.....	29
Cuadro 6.	Registro de pH en la entrada y salida del sistema de acuaponia.....	30
Cuadro 7.	Registro de temperatura de agua en el estanque de tilapia.....	32
Cuadro 8.	Registro de oxígeno del sistema de acuaponia.....	33
Cuadro 9.	Registro de conductividad eléctrica en la entrada y salida del sistema de acuaponia.....	35
Cuadro 10.	Registro de bicarbonatos en la entrada y salida del sistema de acuaponia.....	36
Cuadro 11.	Registro de cloruros en la entrada y salida del sistema de acuaponia.....	38
Cuadro 12.	Registro de sulfatos en la entrada y salida del sistema de acuaponia.....	39
Cuadro 13.	Registro de amoniaco en la entrada y salida del sistema de acuaponia...	40
Cuadro 14.	Registro de nitritos en la entrada y salida del sistema de acuaponia.....	42
Cuadro 15.	Registro de nitratos en la entrada y salida del sistema de acuaponia.....	44
Cuadro 16.	Registro de calcio en la entrada y salida del sistema de acuaponia.....	44
Cuadro 17.	Registro de magnesio en la entrada y salida del sistema de acuaponia...	46
Cuadro 18.	Registro de potasio en la entrada y salida del sistema de acuaponia.....	47
Cuadro 19.	Registro de sodio en la entrada y salida del sistema de acuaponia.....	48
Cuadro 20.	Registro de dureza total en la entrada y salida del sistema de acuaponia.	50
Cuadro 21.	Registro de sólidos disueltos totales en la entrada y salida del sistema de acuaponia.....	51

Cuadro 22.	Registro de Relación de Absorción de Sodio en la entrada y salida del sistema de acuaponia.....	53
Cuadro 23.	Matriz de correlación de características químicas de la entrada del efluente salobre de tilapia en acuaponia.....	54
Cuadro 24.	Matriz de correlación de características químicas de la salida del efluente salobre de tilapia en acuaponia.....	55
Cuadro 25.	Coliformes fecales y totales.....	56
Cuadro 26.	Amibas en fresco y otros microorganismos.....	56
Cuadro 27.	Análisis único de lodos en el efluente de tilapia.....	57
Cuadro 28.	Contenido de nutrimentos en sustrato utilizado en siembra tradicional...	58
Cuadro 29.	Registro de temperatura mínima y máxima en la entrada y salida del sistema de acuaponia.....	59
Cuadro 30.	Registro de humedad relativa en la entrada y salida del sistema de acuaponia.....	60

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Acuaponía con enfoque de agroecosistemas.....	3
Figura 2.	Sistemas y medios para cultivo sin suelo.....	4
Figura 3.	Aireación forzada de la solución nutritiva.....	6
Figura 4.	Diagrama para la clasificación de las aguas de riego.....	9
Figura 5.	Diagrama de Troug, pH óptimo para la asimilación de elementos.....	11
Figura 6.	Morfología de la tilapia.....	15
Figura 7.	Ubicación del área de estudio.....	20
Figura 8.	Sistema de maternidad de la tilapia.....	21
Figura 9.	Estanque del experimento.....	22
Figura 10.	Sistema de hidroponía.....	23
Figura 11.	Plántula colocada en el sistema de hidroponía.....	24
Figura 12.	Biometría realizada durante el experimento.....	28
Figura 13.	Valores quincenales de pH registrados en la entrada y en la salida del efluente.....	31
Figura 14.	Temperatura del agua (°C) registrada en el estanque de cultivo.....	32
Figura 15.	Valores de oxígeno (mg L ⁻¹) registrados en el estanque de tilapia.....	34
Figura 16.	Valores de conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente.....	35
Figura 17.	Valores de bicarbonatos (Meq L ⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente.....	37
Figura 18.	Valores de cloruros (Meq L ⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente.....	38
Figura 19.	Valores de sulfatos (Meq L ⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente.....	40
Figura 20.	Concentraciones de amoníaco, nitritos y nitratos registrados en la entrada del efluente.....	41

Figura 21.	Concentraciones de amoníaco, nitritos y nitratos registrados en la salida del efluente.....	41
Figura 22.	Valores de calcio (Meq L ⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente.....	45
Figura 23.	Valores de magnesio (Meq L ⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente.....	46
Figura 24.	Valores de potasio (Meq L ⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente.....	47
Figura 25.	Valores de sodio (Meq L ⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente	49
Figura 26.	Valores de dureza total (mg L ⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente.....	50
Figura 27.	Valores de sólidos disueltos totales (mg L ⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente.....	52
Figura 28.	Valores de RAS (Meq L ⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente.....	53
Figura 29.	Comparación entre los valores de temperatura mínima y máxima (°C).....	60
Figura 30.	Humedad relativa (%) registrada en el sombreadero.....	61
Figura 31.	Crecimiento del epazote en acuaponía (A) y siembra tradicional (ST)..	62
Figura 32.	Diámetro del tallo del epazote en acuaponía (A) y siembra tradicional (ST).....	63
Figura 33.	Crecimiento del orégano orejón en acuaponía (A) y siembra tradicional (ST).....	64
Figura 34.	Diámetro del tallo del orégano orejón en acuaponía (A) y siembra tradicional (ST).....	65
Figura 35.	Peso fresco de la raíz y el vástago del orégano orejón en acuaponía (A) y siembra tradicional (ST).....	66
Figura 36.	Peso seco de la raíz y el vástago del orégano orejón en acuaponía (A) y siembra tradicional (ST).....	66
Figura 37.	Crecimiento del vaporub® en el sistema de acuaponía (A) y siembra tradicional (ST).....	67
Figura 38.	Diámetro del tallo del vaporub® en acuaponía (A) y siembra	

	tradicional (ST).....	68
Figura 39.	Peso fresco de la raíz y el vástago® del vaporub® en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).....	69
Figura 40.	Peso seco de la raíz y el vástago del vaporub® en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).....	69
Figura 41.	Crecimiento de la hierbabuena en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).....	70
Figura 42.	Diámetro del tallo de la hierbabuena en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).....	71
Figura 43.	Peso fresco de la raíz y el vástago de la hierbabuena en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).....	72
Figura 44.	Peso seco de la raíz y el vástago de la hierbabuena en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).....	72
Figura 45.	Hierbabuena con acumulación de lodo en las raíces.....	73
Figura 46.	Crecimiento del perejil en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST)....	74
Figura 47.	Diámetro del tallo del perejil en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).....	75
Figura 48.	Peso fresco de la raíz y el vástago del perejil en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).....	76
Figura 49.	Peso seco de la raíz y el vástago del perejil en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).....	76
Figura 50.	Perejil.....	77
Figura 51.	Crecimiento del chile serrano en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).....	78
Figura 52.	Diámetro del tallo del chile serrano en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).....	79
Figura 53.	Peso fresco de la raíz y el vástago del chile serrano en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).....	79
Figura 54.	Peso seco de la raíz y el vástago del chile serrano en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).....	80
Figura 55.	Chile serrano.....	80
Figura 56.	Crecimiento del chile de ornato en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).....	81

Figura 57.	Díámetro del tallo del chile de ornato en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST).....	82
Figura 58.	Chile de ornato, raíz con lodo (a) y sin lodo (b).....	82
Figura 59.	Peso promedio de la tilapia a través del tiempo.....	83

ABREVIATURAS

Símbolo	Significado
%	Porcentaje
°C	Grados centígrados
$\mu\text{S cm}^{-1}$	microSiemens
Ca	Calcio
Ca(OH) ₂	Hidróxido de calcio
Ca ²⁺	Catión calcio
CaO	Óxido de calcio
CE	Conductividad eléctrica
Cl	Cloro
cm	Centímetro
CO	Monóxido de carbono
CO ₃	Trióxido de carbono
Cu	Cobre
DFT	Dip Flow Technic
dS m ⁻¹	deciSiemens
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
Fe	Hierro
g	Gramos
g L ⁻¹	Gramos por litro
h	Hora
ha	Hectárea
HP	Caballo de fuerza
K	Potasio

kg	Kilogramo
kg m ⁻²	Kilogramo por metro cuadrado
kg m ⁻³	Kilogramo por metro cubico
L	Litro
L min ⁻¹	Litro por minuto
m	Metro
Meq L ⁻¹	Miliequivalente por litro
mín	mínimo
máx	máximo
m ²	Metro cuadrado
m ⁻²	Por metro cuadrado
m ³	Metro cubico
m ⁻³	Por metro cubico
mg	Miligramos
Mg	Magnesio
mg L ⁻¹	Miligramo por litro
Mg ²⁺	Catión magnesio
mL	Mililitros
mm	Milímetros
Mn	Manganeso
N	Nitrógeno
Na	Sodio
Na ⁺	Catión sodio
NFT	Nutrient Film Technic
NH ₄	Amonio

NO ₂	Nitrito
NO ₃	Nitrato
NOM'S	Normas Oficiales Mexicanas
No.	Número
O ₂	Oxígeno
P	Fósforo
pH	Potencial de hidrógeno
s L ⁻¹	segundo por litro
t	Tonelada
Zn	Zinc

1. INTRODUCCIÓN

En México la acuicultura ha adquirido mayor importancia en los últimos años, por los beneficios sociales y económicos que genera, lo que permite contar con alimentos con un elevado valor nutricional (Álvarez *et al.*, 1999). Además, según la FAO (1997), se espera que contribuya significativamente con la seguridad alimentaria y la disminución de la pobreza en el mundo. Sin embargo, una de las principales limitantes de 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 Forster, 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 abastece (Palomarez, 2010); sin embargo, la calidad del agua en su mayoría es baja 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 en donde se aplicaron, sobrepasando las concentraciones límite de las aguas potables. 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 acuicultura requiere eliminar eficazmente los diversos componentes orgánicos e inorgánicos presentes en los efluentes de las unidades de cultivo, que puede ser de manera física, química y/o biológica. Una alternativa viable es integrar la acuicultura y la agricultura hidropónica lo que se conoce como acuaponía, 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 nutre a las plantas (Ortiz, 2009). Sin embargo, actualmente la mayoría de los proyectos en acuaponía son en agua dulce con siembra de hortalizas, es por ello el interés de este trabajo de investigación, que permite aportar conocimientos en la caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de cultivo de tilapia en producción comercial y evaluar su potencial uso en siete tipos de vegetales herbáceas en acuaponía para generar criterios de selección de plantas resistentes, dadas las características del efluente.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

En cualquier actividad productiva, sea agrícola, pecuaria, acuícola, destinada al consumo humano o no, es indispensable conocer sus características para su aplicación. En el caso de la acuaponía es importante conocer las características del efluente, en este trabajo de investigación en la producción de tilapia, para considerar su aprovechamiento en la producción de plantas en un sistema cerrado.

2.1. Acuaponía desde el enfoque de Agroecosistemas

La agricultura debe ser analizada como un sistema para que las soluciones sean reales. La Teoría General de Sistemas indica que cualquier actividad general no puede ser separada en sus elementos y la síntesis es resultado de una totalidad mayor que la suma de sus partes, para lo cual es necesario tomar en cuenta los sistemas agrícolas, el ambiente y la sociedad.

Según Jones (1997), existen tres razones para usar el enfoque de sistemas en la agricultura:

- 1) La naturaleza de los problemas contemporáneos
- 2) La necesidad del conocimiento de los sistemas agrícolas por un amplio rango de usuarios
- 3) Lo inadecuado de los métodos convencionales de proveer información a aquellos que la necesitan.

Desde el enfoque de sistemas, un agroecosistema es un término compuesto por las palabras agro (campo, tierra, fuente de producción) y ecosistema (porción de la naturaleza constituida por organismos vivientes y sustancias inertes que actúan recíprocamente intercambiando materiales). La palabra ecosistema está formada por los términos ecología (estudio de las relaciones entre los seres vivos con su medio) y sistema (grupo de elementos interactuando ordenadamente para un fin); entonces agroecosistema se puede definir como: "sistemas de relaciones entre los organismos copartícipes en la agricultura". Dicha definición se basa en la conceptualización de la agricultura como un ecosistema agrícola, semejándose a los procesos de una sucesión ecológica, ya que la agricultura involucra cadenas tróficas, ciclos de nutrientes, diferente estructura de comunidades vegetales y animales, tiene salidas y entradas, con la diferencia que son manejados por las personas (López *et al.*, 2006). La acuaponía (acuicultura más agricultura) desde el enfoque de agroecosistema es una unidad física donde se desarrolla una actividad acuícola y agrícola, con incidencia de factores económicos, sociales y ecológicos, cuyo fin es la obtención de alimentos que la sociedad demanda a través del tiempo y donde el hombre toma decisiones integrando conocimientos que antes estaban aislados (Figura 1).

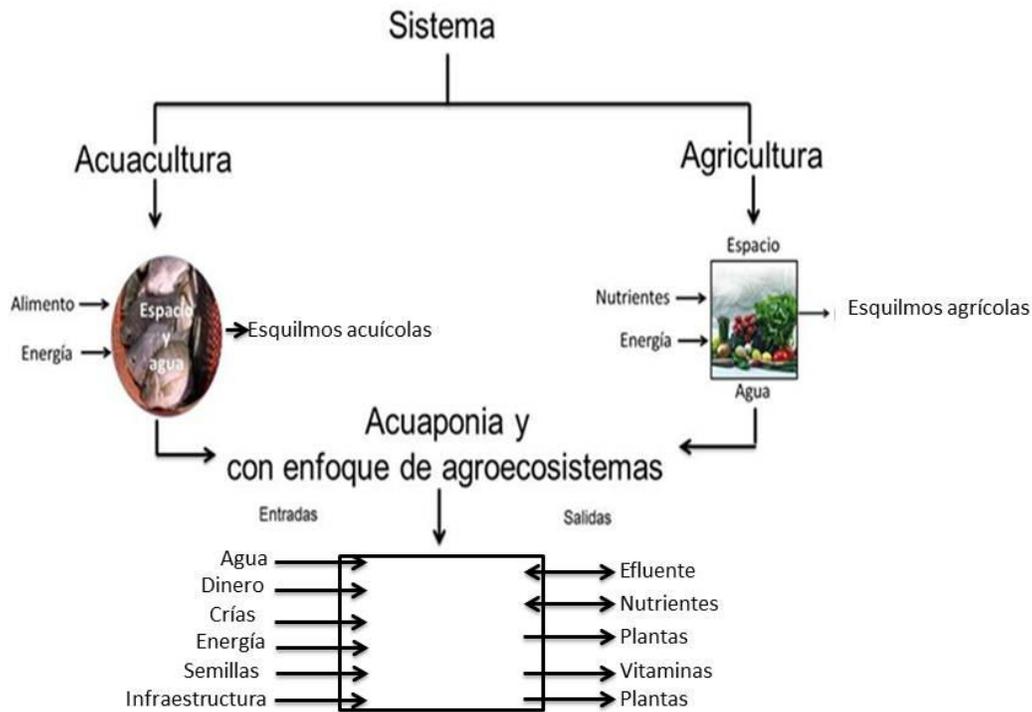


Figura 1. Acuaponía con enfoque de agroecosistemas.

2.2. Hidroponía

Hidroponía (hidros=agua y ponos =trabajo) cultivo en agua. Es una técnica de producción sin suelo y es reemplazado por el agua con los nutrimentos minerales esenciales disueltos en ella (Barrera, 2010). Las plantas toman los nutrimentos minerales de las soluciones nutritivas, adecuadamente preparadas; y sus alimentos orgánicos los elaboran autotóricamente por procesos de fotosíntesis y biosíntesis. La producción sin suelo permite obtener hortalizas de excelente calidad y asegurar un uso más eficiente del agua y fertilizantes. Los rendimientos por unidad de área cultivada son altos, por la mayor densidad y la elevada producción por planta, lográndose mayores cosechas por año. La hidroponía es considerada como un sistema de producción agrícola apto para la siembra de hortalizas, plantas ornamentales, plantas medicinales, forrajes, producción de algas y semillas certificadas en lugares donde estos productos son caros y escasos, pudiendo ser posible la obtención de varias cosechas al año y de la misma especie utilizando diversos medios para cultivarlas (Figura 2) (Alvarado *et al.*, 2001).

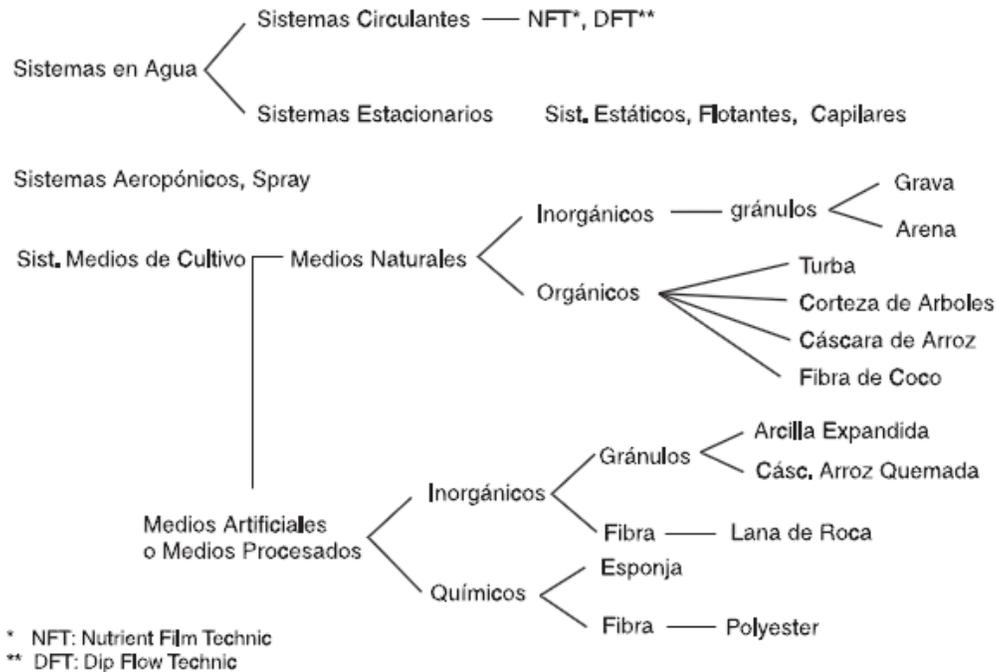


Figura 2. Sistemas y medios para cultivo sin suelo. Fuente: Gilsanz (2007).

2.3. Ventajas y desventajas de los cultivos hidropónicos (Baixauli y Aguilar, 2002).

Ventajas

- a) Óptima relación aire/agua en el sistema radicular de la planta, favoreciendo el desarrollo del cultivo.
- b) Nutrición controlada. Se emplea una solución nutritiva directamente o aplicada a un sustrato totalmente inerte, sin actividad química, o sobre sustratos con una baja capacidad de intercambio catiónico.
- c) En sistemas cerrados se ahorra agua y fertilizantes, evitando contaminación de suelos y acuíferos.
- d) Se pueden emplear sustratos disponibles a nivel local, como la paja de cereales, la fibra de coco, ladrillo triturado, fibra de madera, residuo de corcho, el tezontle por su bajo costo, etcétera.
- e) Generalmente se obtiene en los cultivos una buena uniformidad que facilita las labores culturales, como podas, tutorados, etcétera. Se suprimen los trabajos de incorporación de abonados de fondo, preparaciones de suelo y eliminación de malas hierbas, mejorando en general las condiciones de trabajo.

- f) Se puede conseguir una mayor precocidad y mayor potencial productivo, debido a que la planta cuando toma la solución nutritiva, consume menos energía para su desarrollo que en los sistemas de cultivo en suelo.
- g) Generalmente se puede obtener una mejor calidad de cultivo y por lo tanto del producto.

Desventajas

- a) En las instalaciones donde se trabaja a solución perdida, el sistema puede ser contaminante, cuando se evacuan los drenajes al suelo o a una fosa.
- b) El vertido de sustratos y plásticos de forma incontrolada, es contaminante.
- c) Pueden aparecer enfermedades en la raíz por ausencia de mecanismos de defensa en los sustratos. Un ejemplo es el *Phytium* que actúa en sistemas de cultivo sin suelo sobre plantas adultas, produce enanismo y llega a matar las plantas.
- d) El sistema requiere de una mayor precisión en el manejo del riego y la nutrición. En cultivos sin suelo generalmente se trabaja con bajos volúmenes de sustrato, con poca reserva de agua.
- e) En sustrato se da una menor inercia térmica que en el suelo y los cultivos están más expuestos a los posibles cambios de temperatura ambiental.
- f) El establecimiento de la instalación es más costoso.
- g) Por ser una técnica novedosa para el agricultor, requiere de asesoramiento técnico y en muchos casos es una ventaja siendo un asesoramiento integral del cultivo (Baixauli y Aguilar, 2002).

2.4. Nutrient Film Technique (NFT)

En acuaponía este sistema se utiliza sólo agua (efluente) y nutrientes en recirculación, pasando a través de las raíces de las plantas. De esta forma, las plantas absorben agua, amonio, oxígeno y otros nutrientes (Figura 3).

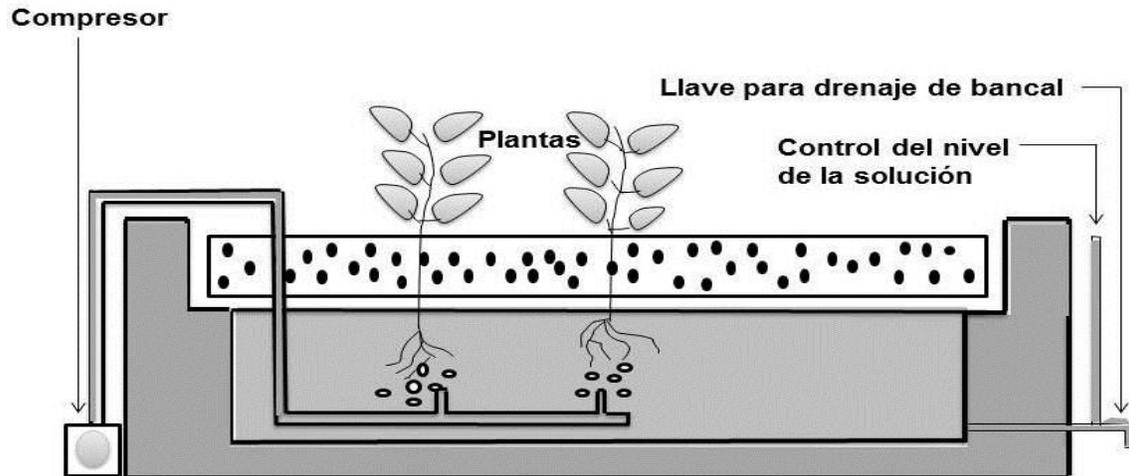


Figura 3. Aireación forzada de la solución nutritiva mediante un compresor de aire.
Fuente: Alcantar y Trejo (2009).

El flujo de solución nutritiva es de aproximadamente 2 L min^{-1} , para dimensiones de 20 cm de ancho y de 15 a 20 m de longitud. Este caudal permite que las raíces de las plantas cuenten con aire suficiente, agua y nutrientes. Sin embargo, a través del periodo de crecimiento del cultivo el flujo de la solución se puede incrementar, favoreciendo así el contacto de la solución con las raíces, pues éstas crecen y se entrecruzan originando un tapete que dificulta el movimiento de la solución. Con una pendiente longitudinal suficiente en las canaletas del 2 % para permitir el movimiento de la solución a lo largo de los canales y su retorno al tanque colector. Para favorecer la oxigenación de las raíces no extenderla más allá de 15 m (Alcantar y Trejo, 2009).

2.5. Calidad del agua para riego agrícola

Aceves y Palacios (1970), señalan que la calidad del agua es un término que indica la conveniencia o limitación del empleo del agua con fines de riego en cultivos agrícolas, tomando como base las características químicas, físicas y biológicas, así como la tolerancia de los cultivos a las sales, las propiedades del suelo, las condiciones de manejo del suelo y agua y las condiciones climatológicas. Las características del cultivo acuapónico más importantes son:

2.5.1. Conductividad eléctrica (CE)

Es uno de los índices más frecuentes que analiza el riesgo de salinidad, basándose en la concentración de sales del agua de riego (Rhoades, 1972). Casi todas las aguas para riego que se han usado por mucho tiempo tienen una conductividad eléctrica menor a $2250 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Las aguas se dividen en cuatro clases con respecto a su conductividad eléctrica, siendo los puntos de división entre las clases mencionadas, los múltiplos de 250; 259-750; 750-2250 y 2250-5000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Richards, 1973).

Aguas con CE $<750 \mu\text{S cm}^{-1}$ son satisfactorias para el riego por lo que respecta a la concentración de sales.

Aguas con CE 250 y 759 $\mu\text{S cm}^{-1}$ los cultivos sensibles pueden ser afectados de manera adversa.

Aguas con CE Entre 759 y 2250 $\mu\text{S cm}^{-1}$ se obtiene un crecimiento adecuado de las plantas, siempre y cuando se haga un buen manejo de los suelos y se cuente con drenaje eficiente; sin embargo, si el lavado y drenaje no son adecuados se presentarán condiciones de salinidad.

Aguas con CE $<2250 \mu\text{S cm}^{-1}$ el empleo de estas aguas es una excepción y en pocas ocasiones se tienen buenas cosechas. Únicamente los cultivos más tolerantes a las sales se pueden desarrollar bien.

En el diagrama de Richards, (1973) las aguas se dividen en cuatro clases con respecto a su conductividad eléctrica:

Agua de baja salinidad (C1). Estas aguas pueden utilizarse en el riego agrícola en la mayor parte de cultivos, y en cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que en estos suelos se desarrolle la acumulación de sales. Se requiere de alguna fracción de lavado; sin embargo, éste se logra en condiciones normales de riego, con excepción de suelos con muy baja permeabilidad (Munns y Tester, 2008).

Aguas de salinidad media (C2). Pueden utilizarse siempre y cuando se tenga un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se pueden establecer cultivos moderadamente tolerantes a las sales (Munns y Tester, 2008).

Aguas altamente salinas (C3). No pueden utilizarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente y aún con drenaje adecuado se pueden requerir prácticas especiales de control de salinidad, debiéndose por lo tanto, seleccionar cultivos muy tolerantes a las sales (Munns y Tester, 2008).

Aguas muy altamente salinas (C4). No son apropiadas para riego bajo condiciones comunes, pero pueden utilizarse ocasionalmente en condiciones muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado, debiéndose aplicar un exceso de agua para que se tenga un buen lavado. Únicamente para cultivos altamente tolerantes a las sales. La salinidad reduce el crecimiento y desarrollo de las plantas; porque la concentración de sales en la solución de suelos, disminuye la disponibilidad de agua para que sea absorbida por las raíces de plantas. Los iones solubles reducen la disponibilidad de agua hacia la planta, debido a la presión osmótica (Munns y Tester, 2008).

2.5.2. Relación de Absorción de Sodio (RAS)

El sodio es uno de los elementos más problemáticos en sistemas recirculantes y aún en sistemas abiertos, en altas concentraciones es tóxico para ciertos procesos en la planta. En hojas reduce la fotosíntesis y reacciones enzimáticas; sin embargo, las plantas tienen la capacidad de bloquear la absorción de sodio dentro de la hoja. Contribuye a elevar los valores de CE de la solución nutritiva, desplazando a los elementos esenciales. En sistemas hidropónicos recirculantes, niveles de 50 mg L^{-1} de sodio pueden ser tóxicos para cultivos como la lechuga y fresa. Las fuentes de sodio en el agua son el cloruro de sodio y el bicarbonato de sodio (Rodríguez y Chang, 2001).

La clasificación de aguas utilizando la RAS, se basa principalmente en el efecto que tiene el ion sodio adsorbido, sobre las condiciones físicas de los suelos (Figura 4).

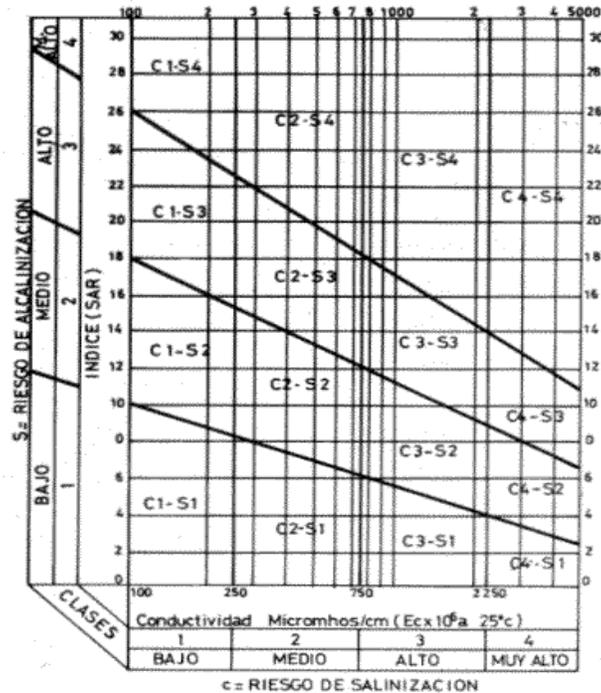


Figura 4. Diagrama para la clasificación de las aguas de riego utilizando la relación de absorción de sodio. Fuente: Castro (2011).

Aguas bajas en sodio (S1), pueden utilizarse para riego agrícola en la mayoría de los suelos, con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. Aunque los cultivos sensibles, como algunos frutales y aguacates, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio (Richards, 1973).

Aguas medias en sodio (S2), sólo pueden usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad (Richards, 1973). En suelos de composición mecánica fina, el sodio representa un peligro considerable, y más si poseen una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavado deficiente, a menos que el suelo contenga yeso.

Aguas con altos contenidos en sodio (S3), pueden producir niveles altos de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos, por lo que éstos necesitarán prácticas especiales de manejo, es decir, buen drenaje, fácil lavado y cantidades adicionales suficientes de materia orgánica (Richards, 1973).

Aguas con muy altos contenidos de sodio (S4), son inadecuadas para riego, excepto cuando su salinidad es baja o media y cuando la disolución del Ca del suelo o la aplicación de yeso u otros mejoradores sean económicamente viables en el empleo de esta clase de aguas (Richards, 1973).

$$RAS = \frac{[Na^+]}{2 \cdot ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])^{1/2}}$$

Donde Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} representa las concentraciones de los iones respectivos en $Meq L^{-1}$ (Cajuste, 1977). Las aguas con altos y muy altos contenidos de sodio pueden producir toxicidad en un gran número de cultivos, principalmente en aquellos cultivos sensibles a las sales. La lechuga es un cultivo que puede llegar a tener rendimientos comerciales a altas concentraciones de sodio ($60-100 mg L^{-1}$) que exceden los niveles recomendados ($10-60 mg L^{-1}$). Es posible que las plantas de lechuga se adapten a la acumulación gradual de sodio en la solución nutritiva (Rodríguez y Chang, 2001).

2.5.3. pH de la solución

Un parámetro a controlar en los sistemas hidropónicos es el pH de la solución nutritiva, es decir el grado de acidez o alcalinidad de la solución. El nivel de pH influye directamente sobre la disponibilidad de nutrientes por parte de la planta. Entre valores de pH de 5.5 a 7.0, se encuentra la mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas. Fuera de este rango las formas en que se pueden encontrar los nutrientes resultan no disponibles para ser absorbidos por la planta, por lo que es fundamental mantener el rango de pH (Gilsanz, 2007). En el diagrama de Troug el ancho de las bandas representa el grado al que la planta aprovecha los nutrientes en los diferentes niveles de pH (Figura 5).

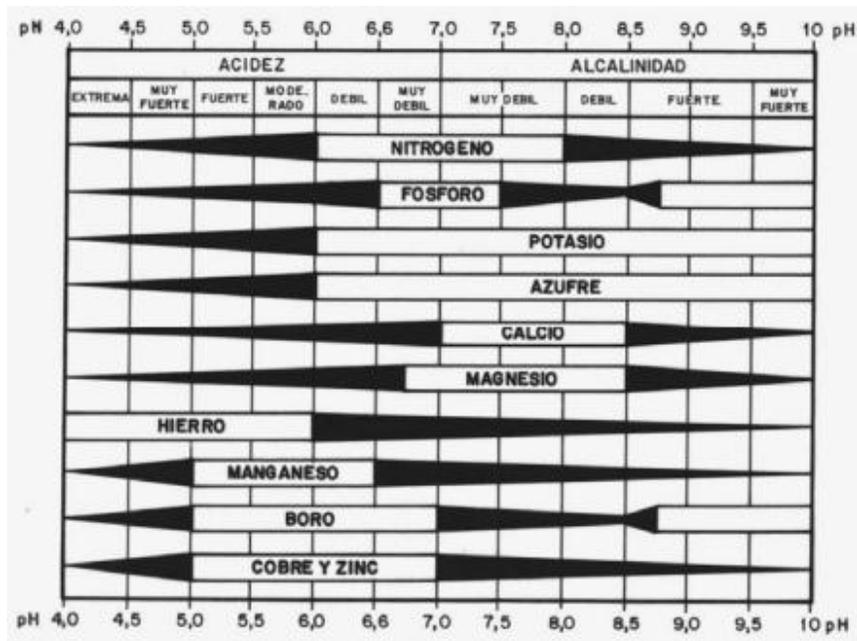


Figura 5. Diagrama de Troug, pH óptimo para la asimilación de elementos. Fuente: Graetz (1988).

2.5.4. Carbonatos y bicarbonatos

La presencia de carbonatos o bicarbonatos en el agua de riego está condicionada por el valor del pH. El ion bicarbonato (HCO_3^-) está presente a pH comprendido entre 4.5 y 8.3 y el ion carbonato (CO_3^{2-}) está presente en las aguas de riego de pH superior a 8.3 (Moreno, S/F). Se recomienda que el agua esté libre o contenga bajas concentraciones de carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-). En aguas con alto contenido de carbonatos y bicarbonatos ($> 5.0 \text{ Meq L}^{-1}$), Ca, Mg, Mn y Fe tienden a precipitar, y al no estar disponibles, las plantas muestran sus deficiencias (Rodríguez y Chang, 2001).

2.6. Elementos esenciales para las plantas

Nitrógeno (N), se encuentra en la planta en forma orgánica e inorgánica, y forma parte de los aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, enzimas, clorofila y alcaloides. Aunque el nitrógeno inorgánico se puede acumular en forma de nitrato, predomina el nitrógeno orgánico por el mayor peso molecular de las proteínas vegetales. Alrededor de 80% del N que absorbe la planta se utiliza para formar proteínas, 10% ácidos nucleicos, 5% aminoácidos solubles y el resto otros compuestos (Pérez y Martínez, 1994).

Potasio (K), es un activador en gran cantidad de procesos, los cuales son necesarios para la conservación del estado del agua de la planta y de la presión de turgencia celular, así como para la apertura y el cierre estomático. Además, promueve la acumulación y la rápida translocación de los carbohidratos elaborados recientemente (Favela *et al.*, 2006).

Calcio (Ca), participa como componente estructural de paredes y membranas celulares, así como cofactor de varias enzimas. Constituye los pectatos de calcio como parte de la estructura celular, lo que contribuye a la rigidez de la pared celular. La deficiencia de calcio se corrige con aportaciones de Nitrato de cal, a dosis que pueden oscilar entre los 400 a 700 kg ha⁻¹ de fertilizante que contenga N (8%) y CaO (16%) (Graetz, 1988).

Magnesio (Mg), al igual que el Ca, el Mg puede encontrarse en las plantas como elemento estructural (forma parte de la molécula de clorofila) o como cofactor enzimático que actúa sobre sustratos fosforilados, por lo que tiene gran importancia en el metabolismo energético (Favela *et al.*, 2006).

2.7. Descripción de las especies vegetales utilizadas en este trabajo de investigación

Las plantas que se evaluaron en el sistema de acuaponía e hidroponía como testigo fueron:

2.7.1. Epazote (*Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin y Clemants)

Descripción botánica

Planta aromática perenne, más o menos pubescente, con el tallo usualmente postrado, olor fuerte. Las hojas son oblongo-lanceoladas y serradas, entre 4 cm de longitud y 1 cm de ancho, con pequeñas flores verdes en panículos terminales densos, cada uno con cinco sépalos; el cáliz persistente circunda al fruto, semillas negras y no mayores a 0.8 mm de longitud. La planta mide de 40 a 120 cm de altura (Gómez, 2008).

Usos

Tiene usos diversos como amebicida, analgésico, anemia, artritis, asma, mordeduras de insectos, fungicida, estimulante, cólicos, entre otros (Gómez, 2008).

2.7.2. Orégano orejón (*Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng)

Descripción botánica

Especie herbácea perenne, puede alcanzar hasta 1 m de altura. Flores de color blanco a púrpura, con brácteas en verano. Hojas de color verde a verde grisáceo, pueden ser vellosas o lisas. La especie tiende a ser muy variable cuando se obtiene a partir de semillas (Parra *et al.*, S/F).

Propiedades

La esencia es un líquido de color amarillo a pardo, que contiene diversos compuestos químicos. Las hojas y sumideros florales tienen un fuerte, pero agradable aroma y un sabor algo amargo (Parra *et al.*, S/F).

Usos

Condimento y en diversas aplicaciones medicinales como tónica, digestiva, estimulante, espasmolítica, antiséptica, sudorífica, entre otras. También se utiliza para preparar linimentos antirreumáticos, para la ciática y la artritis y pomadas contra la dermatitis, como antiséptico y cicatrizante (Parra *et al.*, S/F).

2.7.3. Vaporub (*Plectranthus purpuratus* Harv.)

Características botánicas

Planta trepadora de crecimiento lento, de 60 cm de altura produce pequeñas flores de color rosalila en verano.

Usos: Se usa para problemas respiratorios.

Partes usadas: Hojas.

Composición química: En hojas secas: compuestos fenólicos, flavonoides, esteroides, actividad antioxidante, alcaloides y carbohidratos (Cortés, 2010).

2.7.4. Hierbabuena (*Mentha spicata* L.)

Descripción botánica

Planta de tallo pubescente, rojizos o morados, con estolones largos, hojas ovaladas y oblongo lanceoladas, desigualmente aserradas, vellosas y fuertemente aromáticas. Flores pequeñas, en espigas, cáliz tubuloso de cinco sépalos agudos y vellosos, corola purpúrea con el limbo dividido en cuatro lóbulos casi iguales (Parra *et al.*, S/F).

Propiedades

La esencia que define su olor y sabor está constituido principalmente por 50% de mentol y 5% de ésteres, bajo la forma de butirato, valerianato y acetato de metilo (Parra *et al.*, S/F).

Usos

Es usada como activo calmante de los sistemas nervioso y digestivo. Sus hojas se usan en decocción, infusión, jarabe y esencia. Se usa ampliamente para calmar dolores estomacales y de muela, insomnio y cefaleas (Parra *et al.*, S/F).

2.7.5. Perejil (*Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss)

Descripción botánica

Planta herbácea bianual de hasta 1 m de altura, aromática, raíz larga, cónica, blanca u ocre. En el primer año forma una roseta de hojas compuestas divididas hasta tres veces. En el segundo año produce un tallo ramificado de hojas alternas que termina en umbrelas de flores verdes amarillosas. De origen mediterráneo y asiático (Méndez, 2008).

Usos

El uso típico de las hojas es como aderezo y condimento en ensaladas. En algunos países como Estados Unidos se usan básicamente como adorno en platos. Las hojas deshidratadas para darle sabor a sopas y guisos. Además, debe consignarse el uso de variedades de raíces engrosadas que se consumen de manera similar a las papas. El uso medicinal de los productos de la especie estaría dado por sus propiedades diuréticas (Méndez, 2008).

2.7.6. Chile serrano (*Capsicum annuum* L.)

Descripción botánica

Es un semiarbusto de forma variable con una altura entre 0.60 m a 1.50 m, dependiendo de la variedad, de las condiciones climáticas y del manejo. Es una planta monóica, hermafrodita y autógama (Aceves *et al.*, 2008). Las características del fruto pueden ser dulce o picante según el estímulo gustativo que provoca sus colores rojo, anaranjado, verde, blanco o purpúreo según el grado de madurez; verde en conserva, seco en polvo, en pasta o en condimento según el consumo. El chile se adapta a diferentes tipos de suelo, se desarrolla mejor a profundidades de 30 cm a 60 cm en suelos franco arenosos, franco limosos o franco arcillosos, con alto contenido de materia orgánica y un pH superior a 5.5 (SIAP, 2010).

2.7.7. Chile de ornato (*Capsicum* sp.)

Descripción botánica

Planta ornamental que se cultiva con doble uso, alimentario y ornamental. Planta anual y muere tras la fructificación. Tiene una altura entre 20 cm a 40 cm, con tallos leñosos y recurvados, su follaje es de color verde; hojas estrechas, lanceoladas. Frutos amarillos, naranjas. En agricultura las plantas ornamentales normalmente se cultivan al aire libre en viveros o con una protección ligera bajo plásticos o en invernadero con calefacción o temperatura controlada. La importancia de las plantas ornamentales se ha incrementado con el desarrollo económico de la sociedad y el incremento de las áreas verdes en las ciudades, y con el uso de plantas de exterior e interior por los particulares (Martinez, 2010).

2.8. Cultivo de tilapia blanca var. Rocky mountain (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*)

Morfología externa

Presenta un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, la cual sirve como entrada y salida de la cavidad nasal. El cuerpo es generalmente comprimido y discoidal, raramente alargado. La boca es protráctil, generalmente ancha, a menudo bordeada por labios gruesos; las mandíbulas presentan dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos. Para su locomoción poseen aletas pares e impares. Las aletas pares las constituyen las pectorales y pélvica; las impares están constituidas por las aletas dorsales, la caudal y la anal. La parte anterior de la aleta dorsal y anal es corta, consta de varias espinas y la parte terminal de radios suaves, disponiendo sus aletas dorsales en forma de cresta. La aleta caudal es redonda, trunca y raramente cortada, la cual sirve para mantener el equilibrio del cuerpo (Figura 6) (Saavedra, 2006).

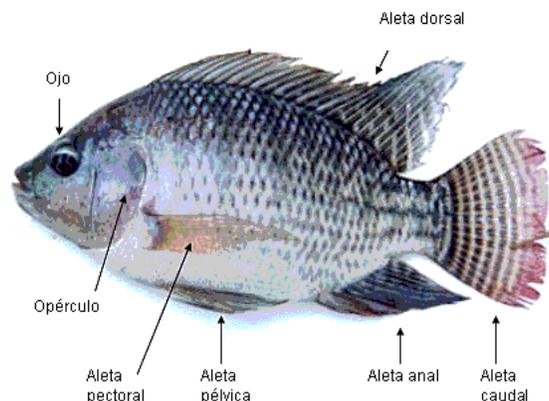


Figura 6. Morfología de la tilapia. Fuente: Mundo Tilapia (2011).

Ventajas del Cultivo de Tilapia

El-Sayed (2006), menciona que el cultivo de la Tilapia, es uno de los más rentables dentro de la acuicultura, lo que se debe principalmente a las cualidades que posee:

- Rápida curva de crecimiento
- Adaptabilidad en sus hábitos alimenticios
- Tolerancia a altas densidades de siembra
- Tolerancia a condiciones y factores extremos como baja concentración de oxígeno, de pH, manejo, transferencias, cosecha, etc.
- Facilidad de reproducción
- Excelentes características de producción

2.9. Características de la calidad de agua para acuicultura

Los parámetros de calidad de agua, para el cultivo de la tilapia varían con respecto al estadio del organismo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Condiciones óptimas en el cultivo y reproducción de tilapia

Parámetros	Intervalo óptimo
Temperatura °C	Mínima: 24 Ideal: 28-30 Máxima: 32
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	> 5
CO ₂ (mg L ⁻¹)	< 20
Salinidad (mg L ⁻¹)	< 20
pH	6.7-7-8.4
Amonio (NH ₃) (mg L ⁻¹)	< 0.1
Nitritos (NO ₂ -N) (mg L ⁻¹)	< 0.1
Nitratos (mg L ⁻¹)	0-400

Cuadro 1. Continuación

Parámetros	Intervalo óptimo
Alcalinidad (mg L ⁻¹)	0.1-0.2
Dureza (CaCO ₃) (mg L ⁻¹)	50-350
Fosfatos (mg L ⁻¹)	0.6-1.5
Cloruros (mg L ⁻¹)	< 5
Sulfatos (mg L ⁻¹)	< 18
Amonio total (mg L ⁻¹)	≤ 2.0
Sólidos disueltos (mg L ⁻¹)	0-30

Fuente: Elaboración con los datos reportados por Timmons *et al.* (2002), Asiain-Hoyos *et al.* (2011) y SAGARPA *et al.* (S/F).

Temperatura. El rango óptimo es de 28-30 °C. Cuando disminuye a los 15 °C dejan de comer y menos de 12 °C no sobreviven mucho tiempo. Durante los meses fríos dejan de crecer y el consumo de alimento disminuye. Cuando la temperatura es mayor a 30 °C los peces consumen más oxígeno. Sin embargo, en cambios repentinos de 5 °C en la temperatura del agua, el pez se estresa y algunas veces muere. La reproducción se inhibe cuando las temperaturas se sitúan por debajo de los 20 °C. Para su crecimiento se necesita entre 29 y 31 °C. Cuando los peces son alimentados a saciedad, el crecimiento se manifiesta 3 veces superior que a los 20- 22 °C. Cuando la temperatura excede los 37-38 °C se producen también problemas por estrés (Saavedra, 2006).

Oxígeno. La concentración de oxígeno para una correcta producción es de 5 mg L⁻¹, debido a que el metabolismo y el crecimiento disminuyen cuando los niveles son bajos (COLPOS, S/F).

pH. El alto valor de pH de 10 durante las tardes, no las afecta y el límite, aparentemente, es el de pH 11, ya que a alto pH el amonio se transforma en amoníaco tóxico (COLPOS, S/F).

Amonio. Es producto de la excreción, orina de los peces, proteínas del alimento no consumido, entre otros. El amonio no ionizado (forma gaseosa) y primer producto de excreción de los peces, es un elemento tóxico. La toxicidad del amonio en forma no ionizada (NH₃), aumenta cuando la concentración de oxígeno disuelto es baja, el pH indica valores altos (alcalino) y la temperatura es alta. Sin embargo, cuando los valores de pH son bajos (ácidos) no causa mortalidades (Nicovita, S/F).

3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

En el presente estudio se plantean las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿El efluente salobre del cultivo de tilapia puede ser aprovechado para acuaponia?
2. ¿La composición química del efluente salobre de un cultivo de tilapia, es adecuada para la producción de siete tipos de vegetales herbáceas?
3. ¿Los siete tipos de vegetales herbáceas se desarrollan adecuadamente en un efluente salobre?
4. ¿Qué criterios permiten la selección de plantas de acuerdo a las características del efluente?

4. HIPÓTESIS

4.1. General

El efluente salobre del cultivo de tilapia puede ser aprovechado para el cultivo de plantas herbáceas mediante acuaponia.

4.2. Particulares

1. Las características fisicoquímicas del efluente salobre de tilapia permiten ser utilizado para la producción de plantas herbáceas.
2. Los siete tipos de vegetales herbáceas se desarrollan adecuadamente en condiciones salobres cultivadas en acuaponia.
3. Los criterios para seleccionar plantas depende de las características fisicoquímicas del efluente.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Evaluar siete tipos de vegetales herbáceas cultivadas en acuaponia usando el efluente del cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) en condiciones salobres.

5.2. Particulares

1. Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de un cultivo de tilapia en la producción de siete tipos de vegetales herbáceas.
2. Evaluar siete tipos de vegetales herbáceas en acuaponia.

3. Conocer criterios para seleccionar plantas de acuerdo a las características fisicoquímicas de un efluente salobre.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

En la presente investigación se desarrollaron tres aspectos importantes:

1. Caracterización fisicoquímica del efluente de un sistema de producción comercial de tilapia en acuaponía.
2. Evaluación de siete tipos de vegetales herbáceas en sistema de acuaponía y siembra tradicional.
3. Criterios para seleccionar plantas de acuerdo a las características del efluente.

6.1. Área de estudio

La presente investigación se realizó con las facilidades de la granja “Productos acuícolas SIN-VER S. A. de C. V. ubicada en San José Novillero, Boca del Río, Veracruz. Ubicada a 19°95′38.83″ Latitud Norte y 96°08′21′.31″ Longitud Oeste; 9 m sobre el nivel del mar (Figura 7).



Figura 7. Ubicación del área de estudio. Fuente: Google Earth 2013.

6.2. Sistemas de cultivo

- 1) Sistema de maternidad, para el desarrollo de los alevines,
- 2) Sistema de acuaponia, para la fase de engorda y evaluación de los cultivos vegetales utilizando la técnica de NFT,
- 3) Siembra tradicional, como testigo en el cultivo de plantas.

6.2.1. Sistema de maternidad

Este sistema consistió en un tanque de plástico color negro y fondo plano, con diámetro mayor de 1.6 m, diámetro menor de 1.52 m con 60 cm de alto y una capacidad máxima de 1000 L. Durante 25 días estuvieron con tratamiento hormonal, donde se aplicó 7.5 mg de fluoximesterona por cada kg de crías de tilapia, obteniendo un 99% de reversión sexual. Se produjo un promedio de 7000 crías m^{-3} en un volumen de 800 L. Tasa de recambio de agua 90% por día (Figura 8).



Figura 8. Sistema de maternidad de la tilapia.

6.2.2. Sistema de acuaponia

El sistema de acuaponia estuvo compuesto por un estanque de cultivo (4m de ancho x 10 m de longitud y 1m de altura) de cemento, de fondo plano, de color blanco, con una capacidad máxima de 40 m^3 , con un tubo de PVC centrado que proporcionó oxígeno. El agua circuló con apoyo de una bomba monofásica de 2 HP. Se utilizó un biofiltro con una capacidad máxima de 750 L con 1000 cuentas confeccionadas con poliducto coflex® color naranja de ½" (Figura 9).



Figura 9. Estanque del experimento.

Para el cultivo de plantas se aplicó la técnica de NFT la cual consistió de cuatro tubos de PVC rígido de 4" con 120 orificios de 6 cm de diámetro, colocados sobre un soporte de varilla en cada extremo. El efluente provino del estanque por medio de una salida del biofiltro de cuentas, utilizando una tubería de PVC con conexiones de 2" y reducciones de 4" a 2". El efluente entró por un extremo del primer tubo (nivel 1) y se mantuvo con un flujo constante de 10 s L^{-1} . 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. De esta manera, se logró que el sistema de hidroponía abasteciera por una sola entrada, recorriendo un total de 23.2 m lineales de tubería. El efluente que circuló por el sistema finalizó en el tanque de peces (Figura 10).

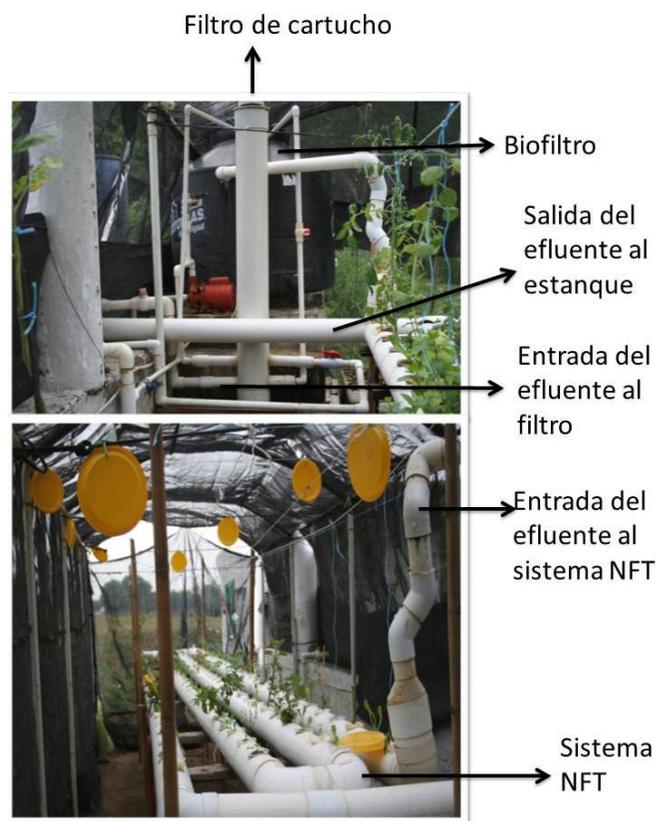


Figura 10. Sistema de hidroponía.

6.2.3. Siembra tradicional

Como testigo se utilizó la siembra tradicional. Las plántulas fueron trasplantadas en sustrato tierra/tezontle con una relación 2:1 en bolsa de plástico color negro con un peso de 1.515 kg. Capacidad de campo de 2.165 L. Se colocaron sobre una mesa. Fueron regadas con agua dulce. Cada tercer día se aplicó 2 g L^{-1} de Hakaphos® 13-40-13 (fertilizante químico), conteniendo los microelementos: nitrógeno total (13 %), anhídrido fosfórico P_2O_5 (40 %), óxido potásico K_2O (13 %), boro (0.1 %) y molibdeno (0.01%); así como microelementos quelatados por EDTA: cobre (0.02 %), hierro (0.05 %), manganeso (0.05 %) y zinc (0.02 %).

6.3. Obtención de organismos

Para llevar a cabo este experimento se utilizaron 700 crías de tilapia blanca var. Rocky mountain (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) sexualmente revertidos, producidos por la empresa Productos Acuícolas Sin-Ver S.A. de C.V. ubicada en San José Novillero, Boca del Río, Veracruz.

Se evaluaron plántulas de perejil, chile serrano; epazote, orégano orejón, vaporub® y hierbabuena (donadas por el Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba); y chile de ornato (adquirido en un vivero de Veracruz). El No. de plántulas fue de acuerdo a su disponibilidad.

Previo a su siembra en el sistema de NFT, las plántulas fueron sumergidas en un recipiente con agua para humedecer la raíz. Posteriormente cada una fue colocada en un vaso de plástico del No. 6, con orificios alrededor y el cual se perforó con un cautín, sostenida con hule espuma con un diámetro de 6 cm. El sistema de NFT fue cubierto con malla sombra (Figura 11).



Figura 11. Plántula colocada en el sistema de hidroponía.

6.4. Alimentación

Las crías de tilapia fueron alimentados con una dieta comercial (Alimento Silver Cup El pedregal). En la etapa inicial con 45% de proteína cruda y al trasladarlos al estanque con 32% de proteína cruda, ambos diariamente a saciedad a las 9:00, 12:00 y 16:00 h.

6.5. Caracterización fisicoquímica del efluente salobre de un cultivo de tilapia en la producción de siete especies vegetales herbáceas

Para conocer las características fisicoquímicas del efluente se tomó una muestra de agua de 1L y fue llevada al laboratorio de suelos del INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias) Campo Cotaxtla, Veracruz, para determinar pH, CE, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, Ca, Mg, K, sodio, dureza total (como CO_3 de Ca y Mg), sólidos disueltos totales, carbonato de sodio residual y RAS. Asimismo, se registró *in situ* temperatura y

oxígeno, con una sonda multiparámetros marca YSI. También, se determinó amoniaco, nitritos y nitratos mediante un espectrofotómetro portátil (HACH company, Loveland Colorado, USA) con la metodología propuesta por Hach (2002). Los muestreos se realizaron cada 15 días durante cuatro meses. Al finalizar el experimento se tomó una muestra de lodo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Parámetros para el análisis único de lodos

Variable	Unidad
Materia orgánica	%
N	%
P	%
K	%
Ca	%
Mg	%
Fe	mg L ⁻¹
Cu	mg L ⁻¹
Zn	mg L ⁻¹
Mn	mg L ⁻¹

Asimismo, para la siembra tradicional, al final de experimento se analizó una muestra del sustrato (Cuadro 3). Fueron llevadas el mismo día al laboratorio de suelos del INIFAP, Campo Cotaxtla, Veracruz. También, se determinó coliformes fecales y totales mediante la técnica del número más probable mediante la Norma Mexicana PROY-NMX-AA-042-SCFI-2005. La muestra de agua obtenida del estanque se etiquetó y se mantuvo en una hielera a 4 °C aproximadamente para su transporte al laboratorio de microbiología del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Además, se determinó la presencia de amibas en fresco y otros microorganismos por el método de microscopía, se realizó al inicio y al final del experimento,

para ello se tomó una muestra de agua del estanque, se etiquetó y analizó en un laboratorio particular de análisis clínicos de Puente Jula, Paso de Ovejas, Veracruz.

Cuadro 3. Parámetros del análisis de suelo.

Variable	Unidad
Textura arena	%
Textura de arcilla	%
Textura limo	%
pH agua	*
Materia orgánica	%
N inorgánico	mg L ⁻¹
P	mg L ⁻¹
K	mg L ⁻¹
Ca	mg L ⁻¹
Mg	mg L ⁻¹
Fe (DTPA)	mg L ⁻¹
Cu (DTPA)	mg L ⁻¹
Zn (DTPA)	mg L ⁻¹
Mn (DTPA)	mg L ⁻¹

*pH es adimensional

6.6. Evaluación de siete tipos de vegetales herbáceas en acuaponia

Posterior al trasplante las plántulas cada semana durante cuatro meses, se midió la altura con una cinta métrica de 1 m ± 0.1 y el diámetro de tallo con un vernier digital (Cuadro 4). Para ambos sistemas se determinó el rendimiento mediante el peso fresco y seco del vástago y raíz, el tejido vegetal fue colocado durante 48 h en una estufa a una temperatura de 65 °C, subsecuentemente

fueron colocadas en bolsas de papel y pesadas en una báscula digital portátil (serie scout SP2001).

Cuadro 4. Plantas evaluadas en sistema de acuaponia y siembra tradicional

Plantas	Variable	Unidad
Epazote	Altura de vástago	cm
Orégano orejón	Diámetro de tallo	mm
Vaporub®	Peso fresco de raíz	g
Hierbabuena	Peso fresco de vástago	g
Perejil	Peso seco de raíz	g
Chile serrano	Peso seco de vástago	g
Chile de ornato		

6.7. Producción de tilapia en acuaponía

Para evaluar el crecimiento de los peces, se realizaron 10 biometrías (Días 18, 26, 32, 39, 53, 81, 95, 103, 116 y 125). En cada biometría se tomó una muestra de 60 peces, posteriormente se obtuvo su peso mediante una báscula (con una capacidad de 20 kg, Torrey® modelo SK-2000 WP, Korea) (Figura 12). Con los resultados obtenidos en cada biometría se estimó el No. total de organismos, peso promedio (g), densidad (kg m^{-3}), sobrevivencia (%) y factor de conversión alimenticia total.



Figura 12. Biometría realizada durante el experimento. A) Se avienta la tarraya, b) y c) se obtiene la muestra, d) se vacía a un recipiente con agua y e) se pesa.

6.8. Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento fue desarrollado bajo vivero para el caso de las plántulas del sistema NFT (acuaponia) y siembra tradicional, utilizando un diseño experimental completamente al azar (Cuadro 5). Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva, posteriormente se efectuó un análisis de varianza completamente al azar. Se compararon las medias de los parámetros evaluados mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($P \leq 0.05$). Además se realizaron correlaciones para las características químicas del efluente con la finalidad de determinar las asociaciones entre variables químicas con el software STATISTICA versión 7 (StatSoft, 2006).

Cuadro 5. Tratamientos para la evaluación de plantas.

Tratamiento	Tipo de agua	Plantas	Repeticiones
Acuaponia	Salada	Epazote	5
Acuaponia	Salada	Orégano orejón	5
Acuaponia	Salada	Vaporub®	5
Acuaponia	Salada	Hierbabuena	5
Acuaponia	Salada	Perejil	5
Acuaponia	Salada	Chile de serrano	5
Acuaponia	Salada	Chile de ornato	5
Siembra tradicional	Dulce	Epazote	3
Siembra tradicional	Dulce	Orégano orejón	3
Siembra tradicional	Dulce	Vaporub®	2
Siembra tradicional	Dulce	Hierbabuena	2
Siembra tradicional	Dulce	Perejil	2
Siembra tradicional	Dulce	Chile de serrano	2
Siembra tradicional	Dulce	Chile de ornato	3

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El propósito de esta investigación fue conocer la composición fisicoquímica de un efluente salobre de un cultivo de tilapia en la producción de diferentes plantas. En esta sección se presentan los resultados y discusión en el siguiente orden:

1. Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de un cultivo de tilapia para la producción de diferentes plantas
2. Evaluación de siete tipos de herbáceas en acuaponía
3. Producción de tilapia en acuaponía
4. Criterios para seleccionar plantas de acuerdo a las características del efluente.

7.1. Características fisicoquímicas del efluente salobre de un cultivo de tilapia para la producción de siete especies vegetales herbáceas

Los registros pH, CE, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, amoníaco, nitritos y nitratos, Ca, Mg, K, sodio, dureza total, sólidos disueltos totales y RAS fueron medidos en la entrada y salida del efluente con la finalidad de conocer si las plantas las aprovechan como nutrientes.

7.1.1. pH

El registro de pH en el sistema de acuaponía indican valores en la entrada con valor mínimo de 5.9 (Día 115) y un máximo de 7.59 (Día 1), con un promedio de 6.81 ± 0.56 , en cambio en la salida un mínimo de 5.7 (Día 115) y un máximo de 7.59 (Día 1), con un promedio de 6.74 ± 0.60 (Cuadro 6).

Cuadro 6. Registro de pH en la entrada y salida del sistema de acuaponía.

	pH							
Día	1	15	30	45	60	75	90	115
Entrada	7.59	6.70	7.27	7.34	6.67	6.78	6.21	5.94
Salida	7.59	6.70	7.27	7.05	6.56	6.89	6.18	5.70

El pH fue disminuyendo a través del tiempo (Figura 13).

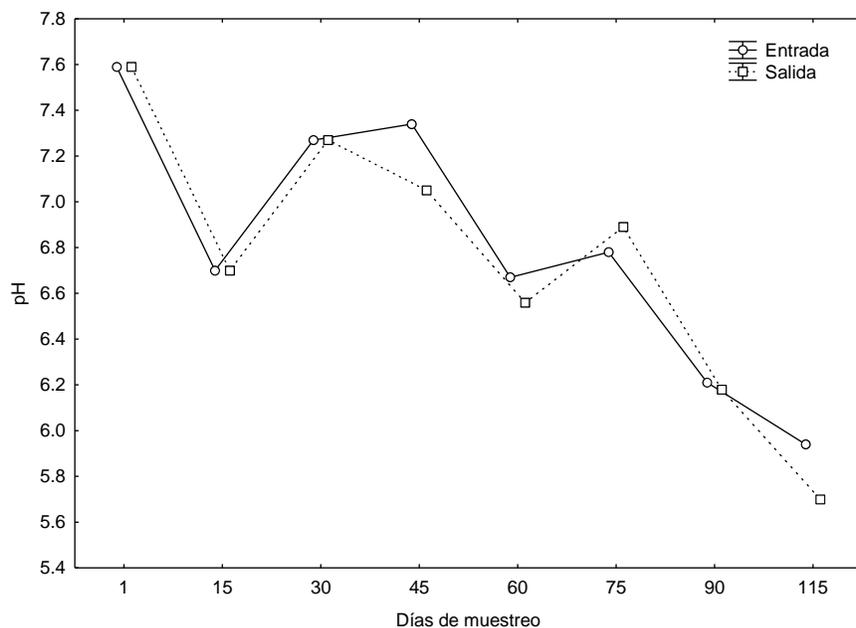


Figura 13. Valores quincenales de pH registrados en la entrada y salida del efluente durante el experimento que duró 120 días.

Lo anterior pudo deberse a la aplicación de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ya que eleva el pH, por lo que al transcurrir el tiempo fue absorbido por las plantas (Graetz, 1988). Estos valores están muy cercanos al intervalo reportado por Asiain-Hoyos *et al.* (2011), de 6.7 a 8.4 como óptimo para el cultivo de tilapia; sin embargo, la tilapia tiene una gran tolerancia a los cambios de pH. Por otra parte, para el cultivo de plantas el pH influye directamente sobre la disponibilidad de los nutrientes, de acuerdo a Gilsanz (2007), debe estar en un intervalo de 5.5-7.0 y Resh (2001) indicó entre 6.5-7.0. Además, el pH es uno de los parámetros de calidad del agua donde el valor óptimo para los peces no coincide con el óptimo para el crecimiento de las plantas (Rakocy y Hargreaves, 1993). Cabe mencionar que aguas con pH superior a 7.0 no deben ser usadas para preparar agroquímicos (herbicidas, fungicidas, insecticidas) ya que se pueden inactivar y perder su efecto, si se utiliza para esto, se debe bajar el pH mediante una solución comercial reguladora de pH (Vásquez, 2012).

7.1.2. Temperatura del agua

La temperatura de agua registrada en el estanque de cultivo durante el experimento indica que hubo una mínima de 20 °C (Día 105) y una máxima de 31.5 °C (Día 70) con un promedio de 27.5 ± 3.48 (Cuadro 7).

Cuadro 7. Registro de temperatura del agua en el estanque de tilapia.

Día	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Temperatura del agua °C	30	31	30.7	29.9	30	28	27.6	28.8	29	28	29.3	30	28.8

Cuadro 7. Continuación...

Día	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
Temperatura del agua °C	31.2	31.5	28.5	28	28.5	26.6	27.5	21	20	23	21	21

Sin embargo, la temperatura del estanque varió entre los días del cultivo de tilapia (Figura 14).

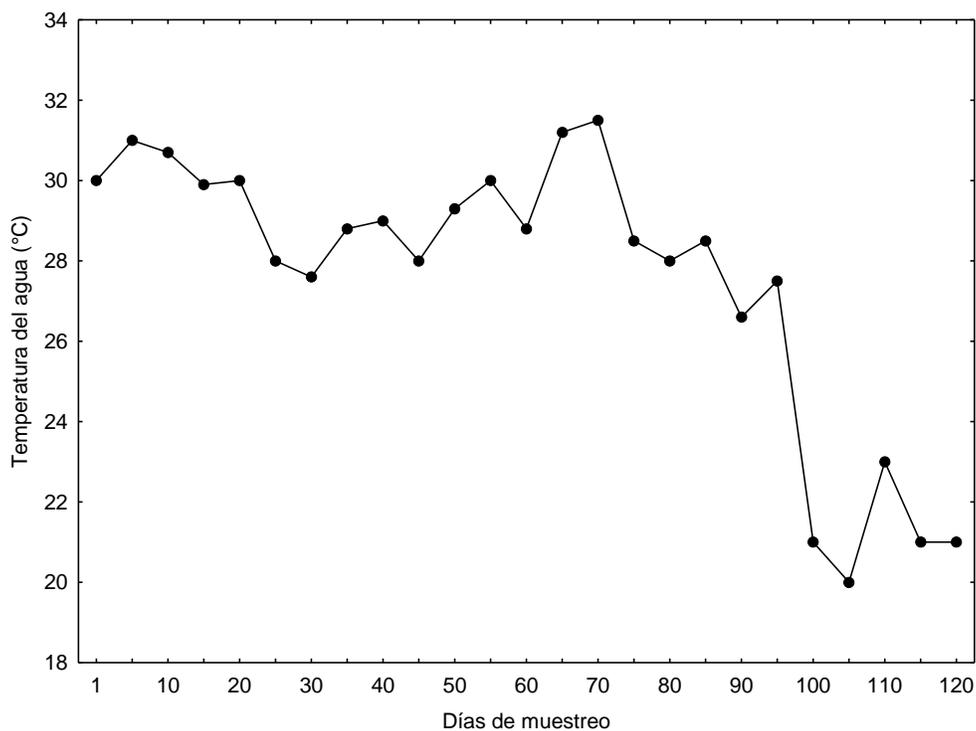


Figura 14. Temperatura del agua (°C) registrada en el estanque de tilapia durante el experimento (120 días).

Sin embargo, la temperatura del agua fue disminuyendo debido a las bajas temperaturas ambientales, por lo tanto los intervalos estuvieron casi dentro del intervalo óptimo para su crecimiento debido a que se necesita entre 29 y 32 °C (COLPOS, S/F). Además, la temperatura afecta directamente diversos procesos fisiológicos de los organismos en acuicultura como la tasa de respiración, la eficiencia de asimilación del alimento, el comportamiento y reproducción (Timmons *et al.*, 2002).

7.1.3. Oxígeno

El oxígeno registrado en el tanque de cultivo mostró como mínimo 4 mg L⁻¹ (Días 15, 20, 35, 55, 75 y 80) y máximo 5.3 mg L⁻¹ (Día 90), con un promedio de 4.49±0.36 durante el experimento (Cuadro 8).

Cuadro 8. Registro de oxígeno del sistema de acuaponia.

Día	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Oxígeno (mg L ⁻¹)	4.8	4.8	4.9	4	4	4.28	4.54	4	4.7	4.5	4.54	4	4.7

Cuadro 8. Continuación...

Día	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
Oxígeno (mg L ⁻¹)	4.5	4.28	4	4	4.3	5.33	5.02	4.48	4.63	4.5	4.82	4.7

El oxígeno varió a través del tiempo (Figura 15).

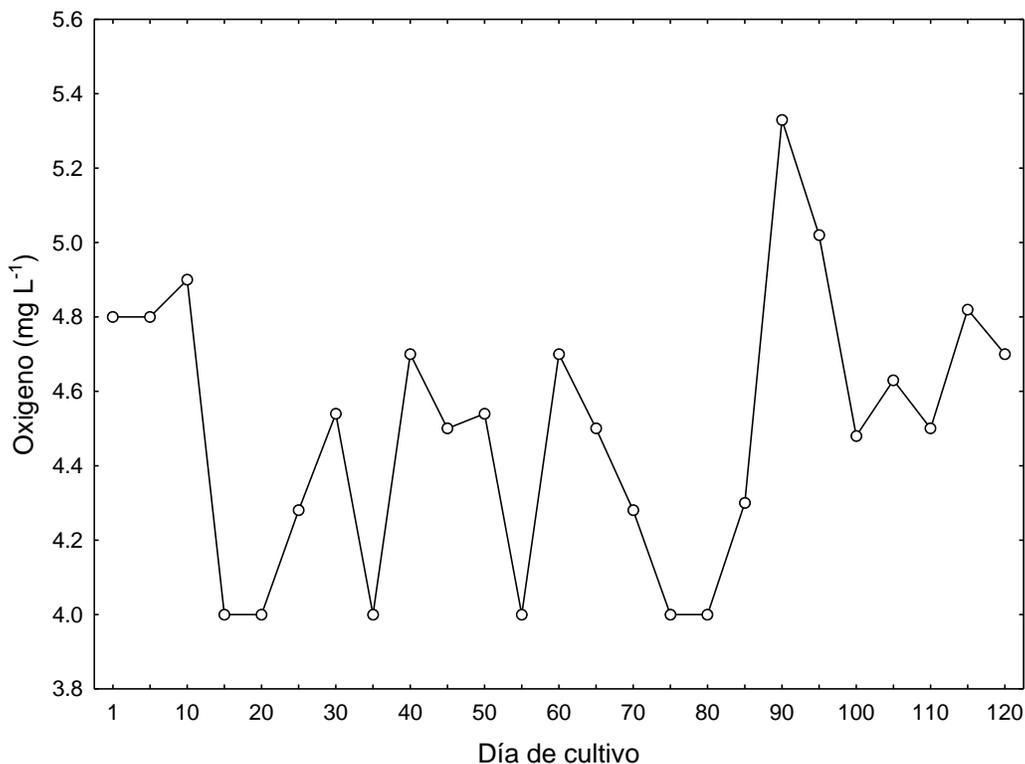


Figura 15. Valores de oxígeno (mg L⁻¹) registrados en el estanque de tilapia durante el experimento (120 días).

Este es producto de la fotosíntesis planctónica y la aireación-oxigenación. Según Zweig (1999), puede deberse a la respiración de los peces, las plantas y la degradación de la materia orgánica por las bacterias los cuales consumieron O₂. Por otro lado, la concentración de oxígeno es afectada por la temperatura, salinidad, presión atmosférica y circulación de agua (DWAF, 1996). Sin embargo, el oxígeno estuvo dentro del intervalo debido a que fue superior a 4 mg L⁻¹ a lo largo de su ciclo de producción, este intervalo concuerda con lo reportado por Asiain-Hoyos *et al.*, (2011). Con respecto a las plantas, el oxígeno es estrictamente necesario para su desarrollo y crecimiento de las raíces, para ello se requieren valores mínimos de 8-9 mg L⁻¹ (Gilsanz, 2007). Sin embargo, no se obtuvieron estos valores por lo que se presentaron problemas por una inadecuada oxigenación como lo reporta Resh (1991) en especial en la técnica de NFT, en donde las dificultades se deben a la circulación del oxígeno, el espacio reducido entre las raíces y al estancamiento de agua. Por otra parte, estos sistemas tienden a acumular lodos y su exceso tiene un efecto perjudicial sobre el crecimiento de las plantas, ya que bloquea el flujo de agua y crea zonas sin oxígeno (Rakocy, 1992).

7.1.4. Conductividad eléctrica

La CE registrada en la entrada como mínimo fue de 3.34 dS m^{-1} (Día 115) y máxima de 8.57 dS m^{-1} (Día 15), con un promedio de 6.28 ± 1.76 , en cambio en la salida una mínima de 3.1 dS m^{-1} (Día 115) y una máxima de 8.57 dS m^{-1} (Día 15), con un promedio de 6.23 ± 1.83 (Cuadro 9).

Cuadro 9. Registro de conductividad eléctrica en la entrada y salida del sistema de acuaponía.

Conductividad eléctrica (dS m^{-1})	
Día	1 15 30 45 60 75 90 115
Entrada	6.52 8.57 8.1 7.3 6.15 5.86 4.43 3.34
Salida	6.52 8.57 8.1 7.16 6.11 6.03 4.31 3.1

La CE vario a través del tiempo (Figura 16).

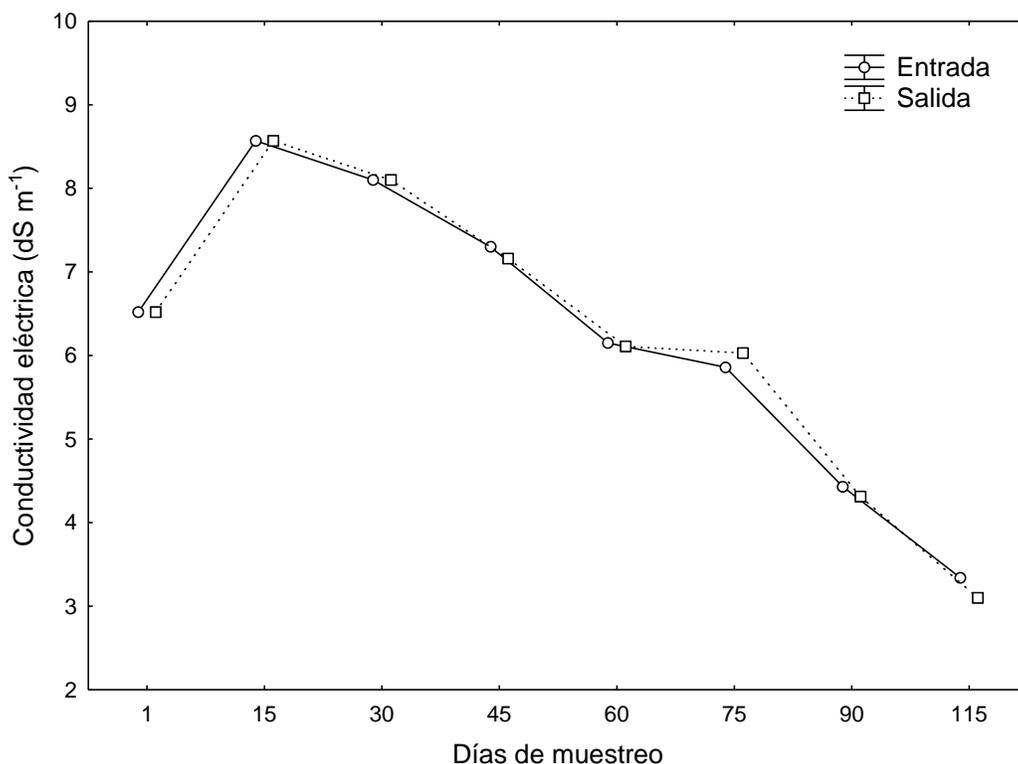


Figura 16. Valores de conductividad eléctrica (dS m^{-1}) registrados en la entrada y salida del efluente cada 15 días durante el experimento (120 días).

La CE es uno de los índices más frecuentes que analiza el riesgo de salinidad, basándose en la concentración de sales del agua de riego (Rhoades, 1972; Rhoades *et al.*, 1999). Asimismo, la CE fue disminuyendo a través del tiempo. Para el caso del cultivo de tilapia estuvo dentro de los intervalos, de acuerdo a Payne (1983), para esta especie el intervalo óptimo para su desarrollo es de 5-10 %. A partir del día 80 bajó la salinidad a cero debido a las lluvias; sin embargo, esta especie tolera una salinidad de 0 a 36 %. Por otra parte, para el uso de las plantas, se clasificaron de acuerdo al diagrama de Richards (1973) dando como resultado clase C4 lo que indica que es una agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego o ser utilizando en cultivos muy tolerantes a la salinidad. Sin embargo, casi todas las aguas para riego que se han usado por mucho tiempo tienen una conductividad eléctrica menor a $2250 \mu\text{S cm}^{-1}$ equivalente a 1125 dS m^{-1} pero las cosechas obtenidas no han sido satisfactorias (Richards, 1973). Por lo anterior, en acuaponía la concentración de sales disminuye la disponibilidad de agua para que sea absorbida por las raíces de la planta, por lo tanto reduce su crecimiento y desarrollo (Murtaza *et al.*, 2006).

7.1.5. Carbonatos y bicarbonatos

No hubo presencia de carbonatos debido a que el pH fue menor a 8.3. Asimismo, está dentro del intervalo $0\text{-}0.1 \text{ Meq L}^{-1}$ (Ayers y Wescot, 1985) permitido para el cultivo de plantas.

En el caso de bicarbonatos los registros indican que en la entrada obtuvo un valor mínimo de 0.60 Meq L^{-1} (Día 115) y un máximo de 2.60 Meq L^{-1} (Día 30), con un promedio de 1.68 ± 0.72 , en cambio en la salida un mínimo de 0.70 Meq L^{-1} (Día 115) y un máximo de 2.60 Meq L^{-1} (Día 30), con un promedio de 1.70 ± 0.67 (Cuadro 10).

Cuadro 10. Registro de bicarbonatos en la entrada y salida del sistema de acuaponía.

	Bicarbonatos (Meq L^{-1})								
Día	1	15	30	45	60	75	90	115	
Entrada	2.5	1.6	2.6	2.1	1.6	1.7	0.8	0.6	
Salida	2.5	1.6	2.6	2	1.7	1.6	0.9	0.7	

Los valores de bicarbonatos variaron a través del tiempo (Figura 17).

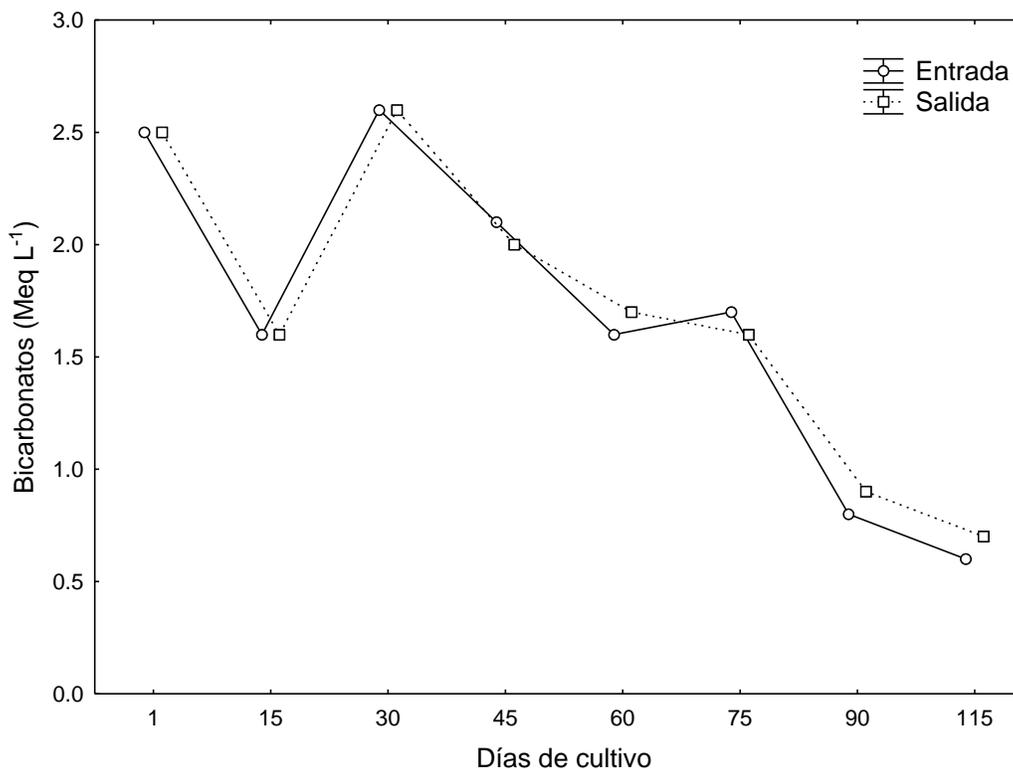


Figura 17. Valores de bicarbonatos (Meq L⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente cada 15 días durante el experimento que duró 120 días.

Los valores de bicarbonatos están dentro del intervalo de 0-10 para las plantas. Además, se recomienda que el agua esté libre o contenga bajas concentraciones de carbonatos y bicarbonatos debido a que las plantas muestran sus deficiencias cuando su contenido es alto por lo que el Ca, Mg, Mn y el Fe tienden a precipitar (Ayers y Wescot, 1985; Rodríguez y Chang, 2001).

7.1.6. Cloruros

Los valores registrados de cloruros indican que en la entrada se obtuvo un valor mínimo de 28.8 Meq L⁻¹ (Día 115) y un máximo de 85.7 Meq L⁻¹ (Día 15), con un promedio de 59.96±18.80, en cambio en la salida un mínimo de 27 Meq L⁻¹ (Día 115) y un máximo de 85.7 Meq L⁻¹ (Día 15), con un promedio de 59.30±19.11 (Cuadro 11).

Cuadro 11. Registro de cloruros en la entrada y salida del sistema de acuaponia.

		Cloruros (Meq L ⁻¹)							
Día	1	15	30	45	60	75	90	115	
Entrada	60.1	85.7	77	70.6	60	58.4	39.1	28.8	
Salida	60.1	85.7	77	67.6	60.1	58.4	38.5	27	

Los registros de cloruros fueron disminuyendo a partir del día 15 (Figura 18).

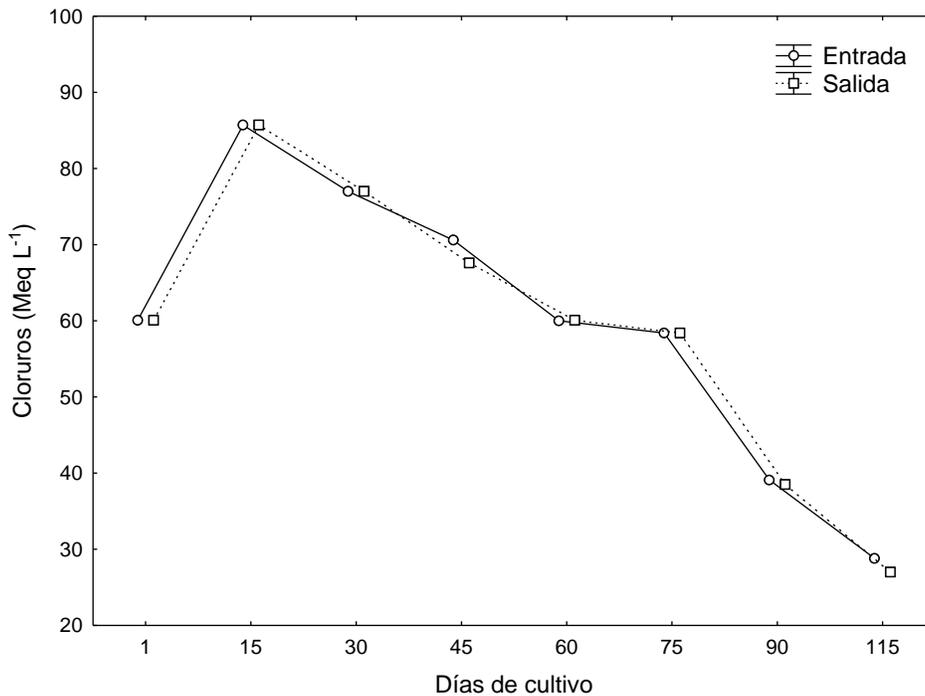


Figura 18. Valores de cloruros (Meq L⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente cada 15 días durante el experimento que duró 120 días.

Para el cultivo de tilapia estos valores fueron demasiado altos debido a que el intervalo adecuado es <5 mg L⁻¹ (SAGARPA *et al.*, S/F). Por otra parte, para el cultivo de plantas la cantidad del ion Cl debe ser acorde a su tolerancia, ya que es tóxico para muchos de ellos, además de que al absorberse, se inhibe el N y el P. Si el agua tiene un contenido menor a 3 Meq L⁻¹ de Cl, se considera de buena calidad, pero si tiene contenidos mayores, se deben utilizar cultivos tolerantes (Favela *et al.*, 2006).

7.1.7. Sulfatos

Los valores registrados de sulfatos indicaron en la entrada un valor mínimo de 2.29 Meq L⁻¹ (Día 60) y un máximo de 4.16 Meq L⁻¹ (Día 1), con un promedio de 2.98±0.63, en cambio en la salida un mínimo de 2.46 Meq L⁻¹ (Día 90) y un máximo de 4.16 Meq L⁻¹ (Día 1), con un promedio de 2.94±0.64 (Cuadro 12).

Cuadro 12. Registro de sulfatos en la entrada y salida del sistema de acuaponia.

		Sulfatos (Meq L ⁻¹)							
Día	1	15	30	45	60	75	90	115	
Entrada	4.16	3.64	3.15	2.71	2.29	2.5	2.56	2.87	
Salida	4.16	3.64	3.15	2.5	2.49	2.49	2.46	2.68	

Los sulfatos disminuyeron hasta el día 60, posteriormente fueron aumentando (Figura 19).

Sin embargo, estos valores están dentro del intervalo 0-18 Meq L⁻¹ para el cultivo de tilapia (Timmons *et al.*, 2002) y 0-20 Meq L⁻¹ para plantas (Ayers y Wescot, 1985).

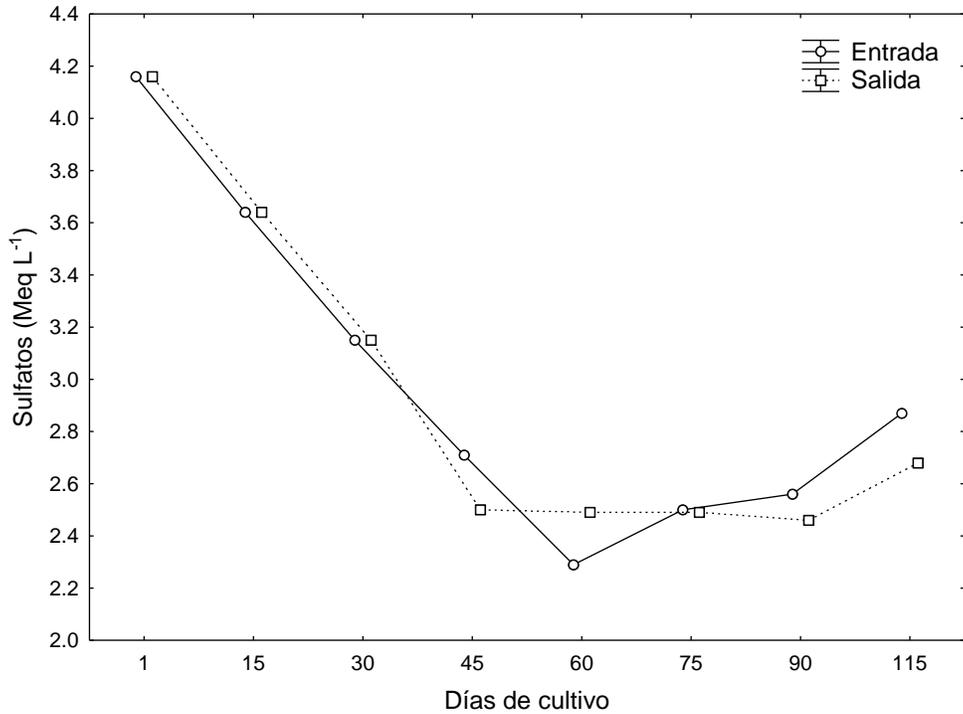


Figura 19. Valores de sulfatos (Meq L⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente cada 15 días durante el experimento que duró 120 días.

7.1.8. Amoníaco, nitritos y nitratos

Los valores registrados de amoníaco indicaron un mínimo de 2.0 mg L⁻¹ (Días 35 y 42) y un máximo de 50 mg L⁻¹ (Días 21, 56, 105 y 119), con una media de 16.56±20.47 mientras que en la salida el mínimo fue de 1.0 (Días 35, 42 y 119) y máximo de 50 mg L⁻¹ (Día 56), con una media de 7.93±13.86 (Cuadro 13).

Cuadro 13. Registro de Amoníaco en la entrada y salida del sistema de acuaponía.

Amoníaco (mg L ⁻¹)	
Día	7 14 21 28 35 42 49 56 63 70 77 84 91 105 112 119
Entrada	5 3 50 3 2 2 22 50 5 3 3 5 6 50 6 50
Salida	4 2 35 2 1 1 6 50 2 2 2 4 5 5 5 1

Los valores de amoniacaco en la entrada y salida variaron a través del tiempo (Figuras 20 y 21).

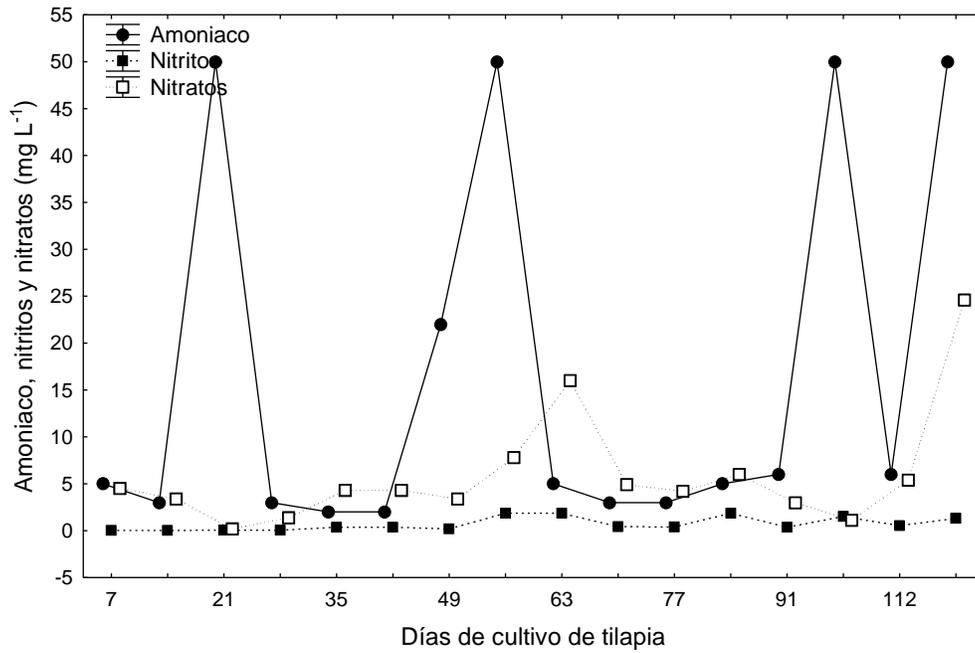


Figura 20. Concentraciones de amoniaco, nitritos y nitratos registrados en la entrada del efluente cada 15 días durante el experimento que duró 120 días.

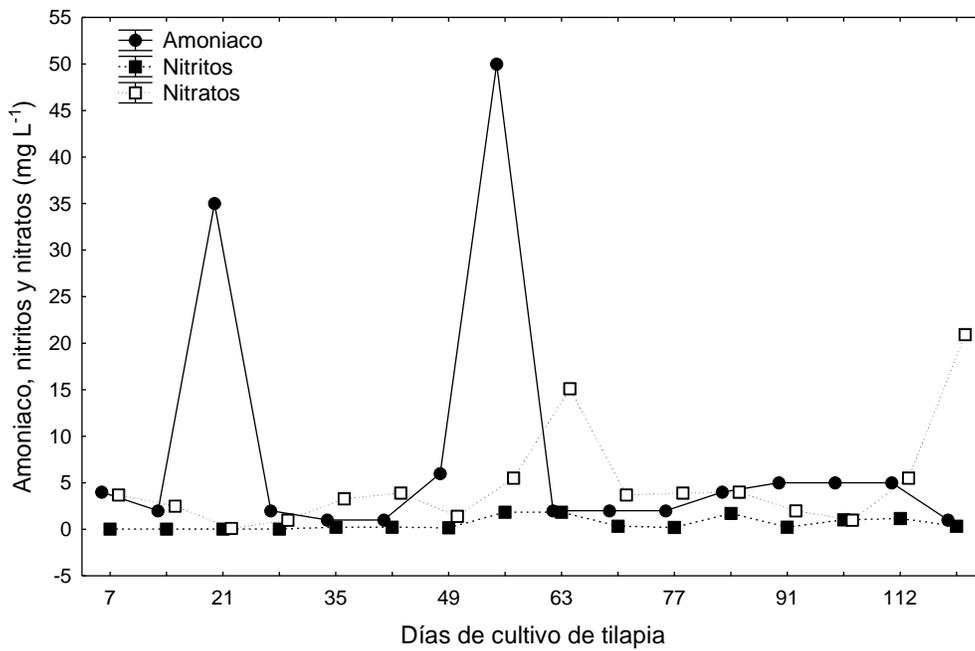


Figura 21. Concentraciones de amoniaco, nitritos y nitratos registrados en la salida del efluente cada 15 días durante el experimento que duró 120 días.

En ese sentido, Ingle *et al.* (2003), mencionaron que cuando el biofiltro no funciona adecuadamente, se pueden incrementar los valores de amoniaco y nitrito, ocasionando con ello la muerte de los peces. Por otra parte, Rafiee *et al.* (2002), mencionó que entre el 20 y 40% de contenido de N de alimentación se excreta por los peces en forma de N amoniacal. SEMARNAT (2010), encontró en el río Jamapa 0.58 mg L⁻¹ en el 2004. Asimismo, Seawright *et al.* (1998), encontraron concentraciones menores de 0.074 mg L⁻¹, valores similares a lo reportado por Sánchez-Aldana (2008), una concentración de 0.052 mg L⁻¹, (0.010-0.098 mg L⁻¹) en la entrada y en la salida de 0.021 mg L⁻¹ (0.005-0.076 mg L⁻¹). Los peces de aguas tropicales presentan una concentración tolerable por la especie, con un valor máximo permisible de 0.1 mg L⁻¹. Los peces de aguas tropicales presentan mayor tolerancia a concentraciones altas de N amoniacal, que peces de agua templada o fría, y a su vez, los peces de agua dulce son más tolerantes que los peces de ambientes marinos (Zweig *et al.*, 1999). En ese sentido, la tilapia es un ejemplar que posee una amplia tolerancia, lo que la hace ideal para acuaponia. Por otra parte, los nitritos fueron producidos por las bacterias *Nitrosomonas* spp. durante el proceso de desnitrificación para ser transformado a nitratos por las bacterias *Nitrobacter* spp. en el proceso de nitrificación.

Asimismo, los nitritos registrados en la entrada indicaron un mínimo de 0.035 mg L⁻¹ (Día 7) y máximo 1.84 mg L⁻¹ (Días 56 y 63), con una media de 0.70±0.70, en cambio en la salida se registró un mínimo de 0.27 mg L⁻¹ (Día 7) y máximo de 1.84 mg L⁻¹ (Días 56 y 63), con una media de 0.59±0.68 (Cuadro 14). Sin embargo, fue variando a través del tiempo (Figuras 20 y 21).

Cuadro 14. Registro de nitritos en la entrada y salida del sistema de acuaponia.

Nitritos (mg L ⁻¹)												
Día	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84
Entrada	0.035	0.040	0.050	0.054	0.372	0.372	0.176	1.847	1.847	0.440	0.407	1.847
Salida	0.027	0.037	0.040	0.035	0.250	0.230	0.155	1.847	1.847	0.350	0.206	1.702

Cuadro 14. Continuación...

	Nitritos (mg L⁻¹)			
Día	91	105	112	119
Entrada	0.360	1.533	0.527	1.310
Salida	0.250	1.034	1.156	0.347

Rakocy *et al.* (2004), midieron concentraciones de 0.7 mg L⁻¹ (0.4-1.1 mg L⁻¹) en la entrada del sistema, mientras que en la salida 0.21 mg L⁻¹ (0.01-0.66 mg L⁻¹). En contraste con Sánchez-Aldana (2008), quien reportó valores más altos, en la entrada una concentración de 2.62 mg L⁻¹ (1.36-4.21 mg L⁻¹) y en la salida 1.27 mg L⁻¹ (0.05-3.15 mg L⁻¹). En ese sentido, las concentraciones óptimas para el cultivo de peces deben estar en un intervalo de 0 a 0.05 mg L⁻¹. Tyson *et al.* (2004), mencionaron que en un manejo adecuado de un sistema de recirculación acuícola se esperan bajas concentraciones de nitritos, ya que al producirse es inmediatamente transformado a nitratos. Las altas concentraciones de nitratos se relacionan con bajas concentraciones de oxígeno en el agua, crecimiento desigual de las colonias de bacterias del biofiltro, incrementos en la concentración de N amoniacal total y cambios drásticos de temperatura.

Con respecto a los registros de nitratos, en la entrada indicaron un valor mínimo de 0.20 mg L⁻¹ (Día 21) y un máximo de 24.60 mg L⁻¹ (Día 119), con un promedio de 5.90±6.12; en la salida un mínimo de 0.10 mg L⁻¹ (Día 21) y un máximo de 20.90 mg L⁻¹ (Día 119), con un promedio de 4.84±5.47 (Cuadro 15). Asimismo, varió a través del tiempo (Figuras 20 y 21).

Cuadro 15. Registro de nitratos en la entrada y salida del sistema de acuaponia.

		Nitratos (mg L⁻¹)															
Día		7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	105	112	119
Entrada		4.5	3.4	0.2	1.4	4.3	4.3	3.4	7.8	16	4.9	4.2	6	3	1.1	5.4	24.6
Salida		3.7	2.5	0.1	1	3.3	3.9	1.4	5.5	15.1	3.7	3.9	4	2	1	5.5	20.9

De acuerdo a Ayers y Wescot (1985), el intervalo óptimo de nitratos debe estar entre 0-10 mg L⁻¹ para el cultivo de peces. De acuerdo a James (2010), la acumulación de valores altos en nitrato en los sistemas de acuaponia tiene un efecto negativo en frutales debido a que produce menos fruto mientras que hay un crecimiento vegetativo en exceso.

7.1.9. Calcio (Ca)

Los valores registrados de Ca en la entrada indicaron un valor mínimo de 1.02 Meq L⁻¹ (Día 75) y un máximo de 14.29 Meq L⁻¹ (Día 15), con un promedio de 6.97±5.40; en la salida un mínimo de 1.21 Meq L⁻¹ (Día 75) y un máximo de 14.29 Meq L⁻¹ (Día 15), con un promedio de 6.57±5.61 (Cuadro 16).

Cuadro 16. Registro de calcio en la entrada y salida del sistema de acuaponia.

		Calcio (Meq L⁻¹)							
Día		1	15	30	45	60	75	90	115
Entrada		11.46	14.29	13.42	4.35	1.23	1.02	3.21	6.84
Salida		11.46	14.29	13.42	2.11	1.29	1.21	2.95	5.9

Los valores de calcio variaron a través del tiempo como se observa en la figura 22.

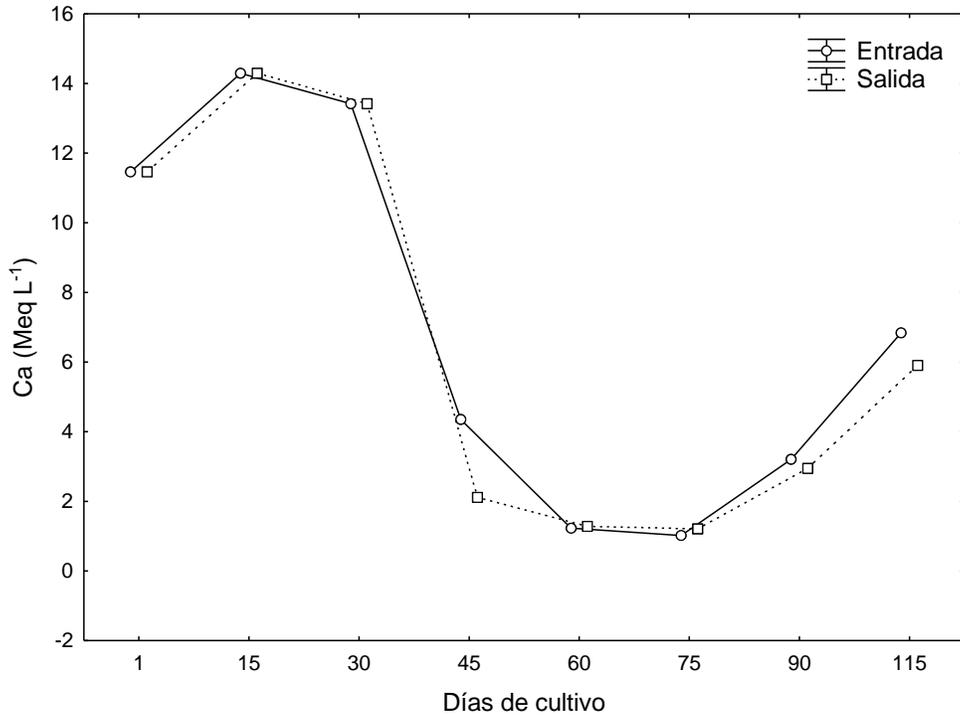


Figura 22. Valores de calcio (Meq L⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente cada 15 días durante el experimento que duró 120 días.

En este sentido, los valores de calcio obtenidos durante el experimento estuvieron dentro del intervalo 0-20 Meq L⁻¹ permitido para el uso de plantas (Ayers y Wescot, 1985), excepto en los días 15 y 30, los cuales fueron los valores más altos debido a que se le agregó al estanque 400 g de Ca(OH)₂ para el cultivo de plantas porque el alimento suministrado al cultivo de tilapia no lo aporta.

7.1.10. Magnesio (Mg)

Los valores obtenidos de Mg en la entrada con valor mínimo de 3.71 Meq L⁻¹ (Día 115) y un máximo de 16.17 Meq L⁻¹ (Día 15), con un promedio de 8.44±4.79; en la salida un mínimo de 3.52 Meq L⁻¹ (Día 115) y un máximo de 16.17 Meq L⁻¹ (Día 15), con un promedio de 8.13±4.96 (Cuadro 17).

Cuadro 17. Registro de Magnesio en la entrada y salida del sistema de acuaponia.

		Magnesio (Meq L ⁻¹)							
Día	1	15	30	45	60	75	90	115	
Entrada	7.39	16.17	15.81	7.28	5.85	5.43	5.94	3.71	
Salida	7.39	16.17	15.81	5.4	5.85	5.56	5.36	3.52	

Los valores de magnesio variaron a través del tiempo (Figura 23).

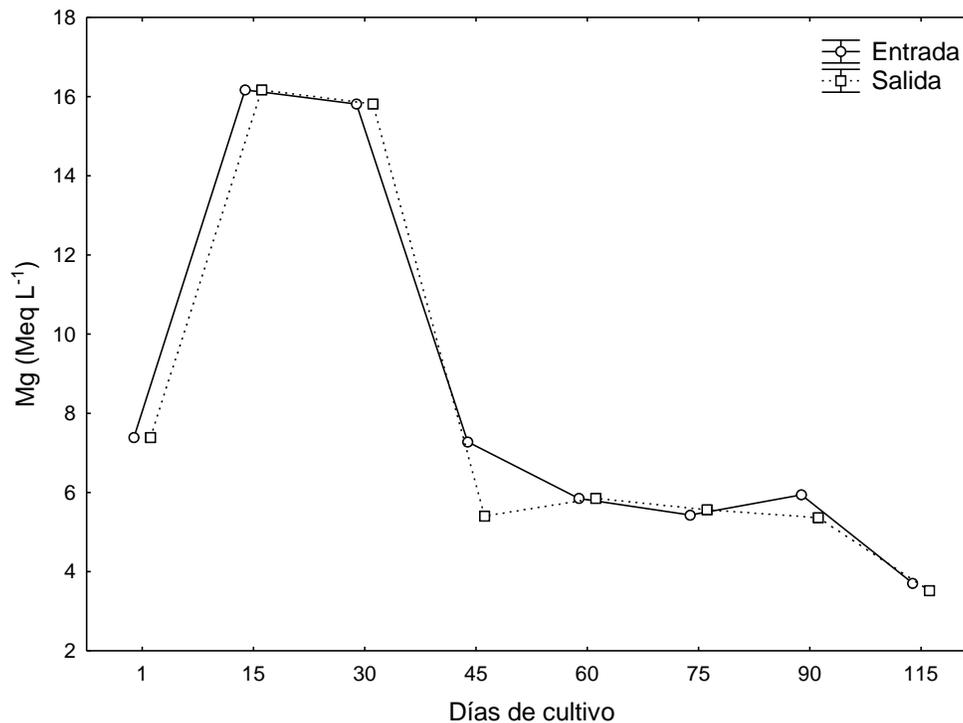


Figura 23. Valores de magnesio (Meq L⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente cada 15 días durante el experimento que duró 120 días.

El intervalo de magnesio óptimo para las plantas es de 0-50 Meq L⁻¹ (Ayers y Wescot, 1985), en este caso se estuvo dentro del intervalo.

7.1.11. Potasio (K)

Los valores registrados de K en la entrada indicaron un valor mínimo de 0.23 Meq L⁻¹ (Día 115) y un máximo de 11.86 Meq L⁻¹ (Día 60), con un promedio de 5.28±4.48, en cambio en la salida

un mínimo de 0.15 Meq L⁻¹ (Día 115) y un máximo de 11.93 Meq L⁻¹ (Día 60), con un promedio de 5.19±4.58 (Cuadro 18).

Cuadro 18. Registro de potasio en la entrada y salida del sistema de acuaponía.

Potasio (Meq L ⁻¹)	
Día	1 15 30 45 60 75 90 115
Entrada	2.7 9.34 2.92 2.06 11.86 10.44 2.72 0.23
Salida	2.7 9.34 2.92 1.96 11.93 10.44 2.08 0.15

Los valores variaron a través del tiempo (Figura 24).

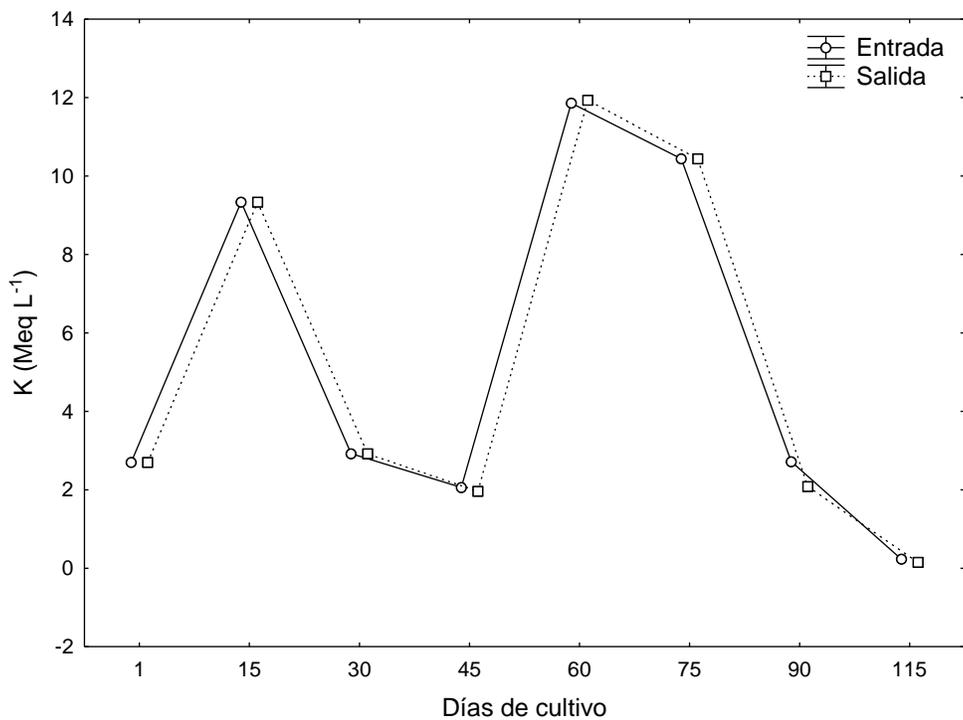


Figura 24. Valores de potasio (Meq L⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente cada 15 días durante el experimento que duró 120 días.

De acuerdo a Ayers y Wescot (1985) el intervalo óptimo de K para el desarrollo de las plantas es de 0-2.0 mg L⁻¹, en este caso estuvieron muy altos. Asimismo, Rakocy *et al.* (2004), reportaron

concentraciones de potasio 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 en un efluente de tilapia. También, Sánchez-Aldana (2008), reportó que la concentración en el tanque de cultivo fue de 0.44 Meq L⁻¹ (0.26-0.55 Meq L⁻¹), en la salida de 0.40 Meq L⁻¹ (0.24-0.49 Meq L⁻¹), en ambas investigaciones no encontraron diferencias significativas entre los lugares de muestreo. Cabe mencionar que Rakocy *et al.* (2004), mantuvieron una concentración de potasio cercana a la óptima mediante la adicción alternada de hidróxido de potasio y de hidróxido de calcio para mantener el pH entre 7.0-7.5.

7.1.12. Sodio (Na)

Los valores registrados de Na en la entrada presentaron un valor mínimo de 22.09 Meq L⁻¹ (Día 115) y un máximo de 60.55 Meq L⁻¹ (Día 45), con un promedio de 42.68±11.89, en cambio en la salida un mínimo de 22.00 Meq L⁻¹ (Día 115) y un máximo de 61.95 Meq L⁻¹ (Día 45), con un promedio de 42.77±12.27 (Cuadro 19).

Cuadro 19. Registro de sodio en la entrada y salida del sistema de acuaponia.

		Sodio (Meq L⁻¹)							
Día	1	15	30	45	60	75	90	115	
Entrada	41.77	48.52	49.07	60.55	45.5	44.01	29.96	22.09	
Salida	41.77	48.52	49.07	61.95	45.15	44.17	29.59	22	

Los valores variaron a través del tiempo (Figura 25).

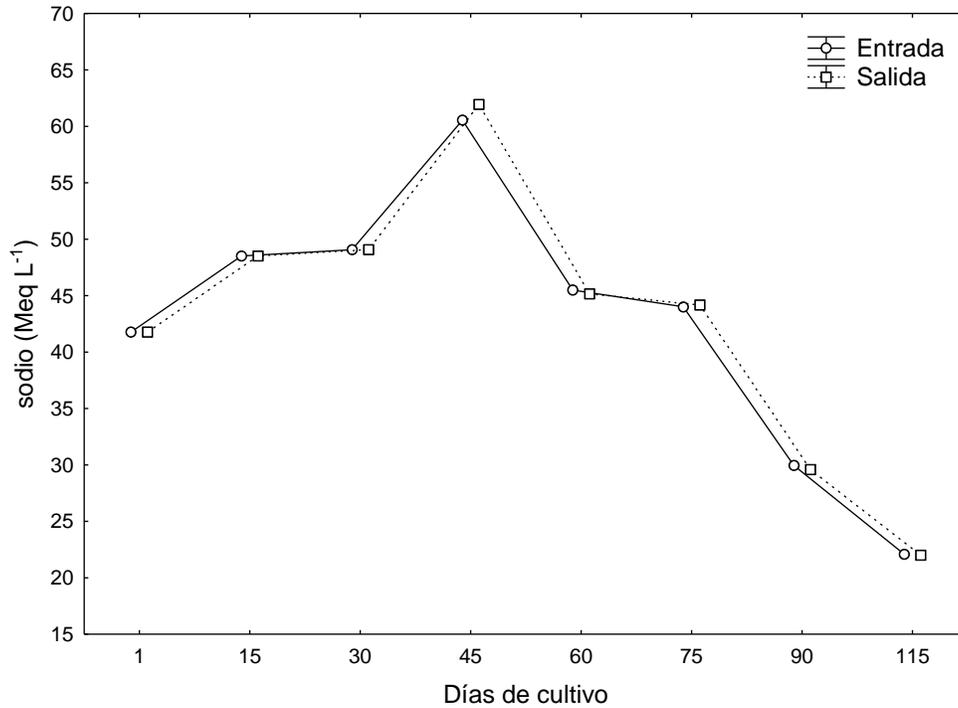


Figura 25. Valores de sodio (Meq L⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente cada 15 días durante el experimento que duró 120 días.

El sodio a través del tiempo se encontró cantidades agrupadas en medio (Día 1, 15, 30, 60 y 75), alto (Día 60) y bajo (Días 90 y 115). En este sentido, concentraciones medias y altas en Na pueden provocar la acumulación de Na en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Solo con contenido medio se debe vigilar las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de Na cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario; con contenido alto son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y riego constante; con contenido bajo en sodio es apta para riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al Na (Vásquez, 2012). Cabe mencionar que el sodio no es un elemento esencial para la nutrición de las plantas. Si el contenido es mayor de 5 Meq L⁻¹, el uso del agua debe ser más cuidadoso, para evitar el antagonismo con los demás cationes, sobre todo con los cultivos sensibles a este ion, como el chícharo, fríjol ejotero, lechuga, entre otros (Favela *et al.*, 2006).

7.1.13. Dureza total

Los valores registrados de dureza total en la entrada presentaron un valor mínimo de 280.08 mg L⁻¹ (Día 75) y un máximo de 1398.47 mg L⁻¹ (Día 15), con un promedio de 686.28±463.10; en la salida un mínimo de 294.62 mg L⁻¹ (Día 75) y un máximo de 1398.47 mg L⁻¹ (Día 15), con un promedio de 686.28±463.10 (Cuadro 20).

Cuadro 20. Registro de dureza total en la entrada y salida del sistema de acuaponía.

	Dureza total (mg L ⁻¹)								
Día	1	15	30	45	60	75	90	115	
Entrada	886.21	1398.47	1338.94	525.22	308.43	280.08	411.21	341.72	
Salida	886.21	1398.47	1338.94	332.91	311.36	294.62	373.84	339.12	

Los valores de dureza total en este estudio fueron muy altos (Figura 26).

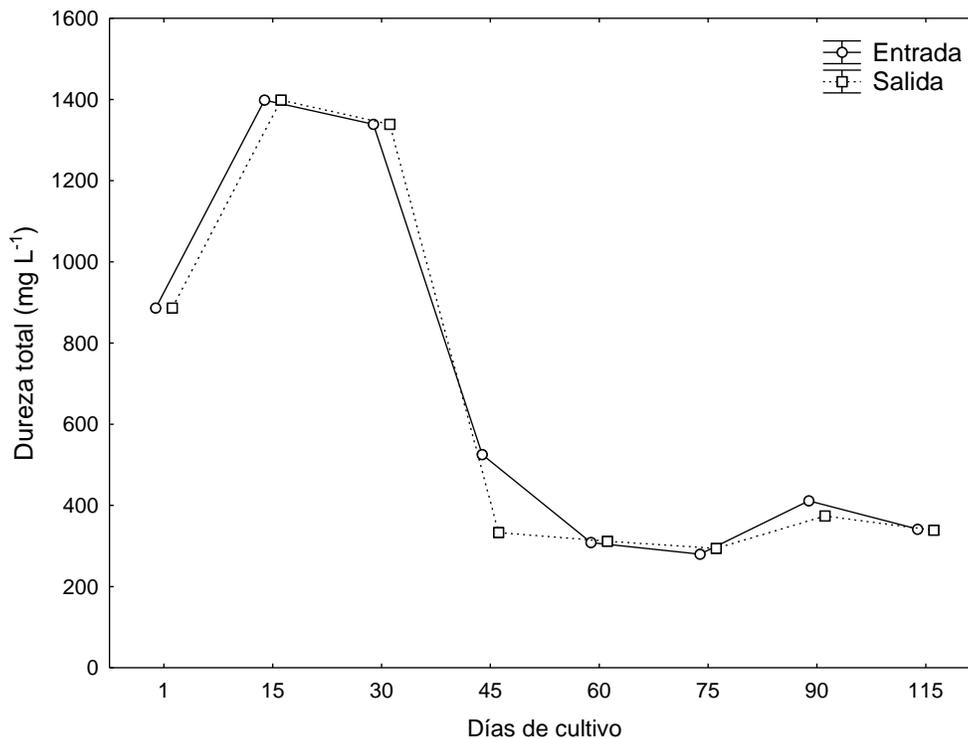


Figura 26. Valores de dureza total (mg L⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente cada 15 días durante el experimento que duró 120 días.

Lo anterior, debido a que los intervalos de dureza para el cultivo de tilapia según Hsien-Tsang y Quintanilla (2008), es de 20-350 mg L⁻¹ y de acuerdo a SAGARPA *et al.*, (S/F), entre 50-350 mg L⁻¹. En este sentido, Sikawa y Yakupitiyage (2010), encontraron variaciones altas (99-469 y 35-320 mg L⁻¹) de CaCO₃, respectivamente; sin embargo, el pH no fue afectado.

7.1.14. Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos totales registrados en la entrada mostraron un valor mínimo de 2137.60 mg L⁻¹ (Día 115) y un máximo de 5519.00 mg L⁻¹ (Día 15), con un promedio de 4042.73±1145.25, en cambio en la salida un mínimo de 2109.30 mg L⁻¹ (Día 115) y un máximo de 5519.00 mg L⁻¹ (Día 15), con un promedio de 4153.78±1046.17 (Cuadro 21).

Cuadro 21. Registro de sólidos disueltos totales en la entrada y salida del sistema de acuaponía.

		Sólidos disueltos totales (mg L ⁻¹)							
Día		1	15	30	45	60	75	90	115
Entrada		4198	5519	5216.4	4701.2	3960.6	3773.84	2835.2	2137.6
Salida		4198	5519	5216.4	4611.04	3934.84	3883.32	3758.4	2109.3

Los valores de sólidos disueltos totales variaron a través del tiempo (Figura 27).

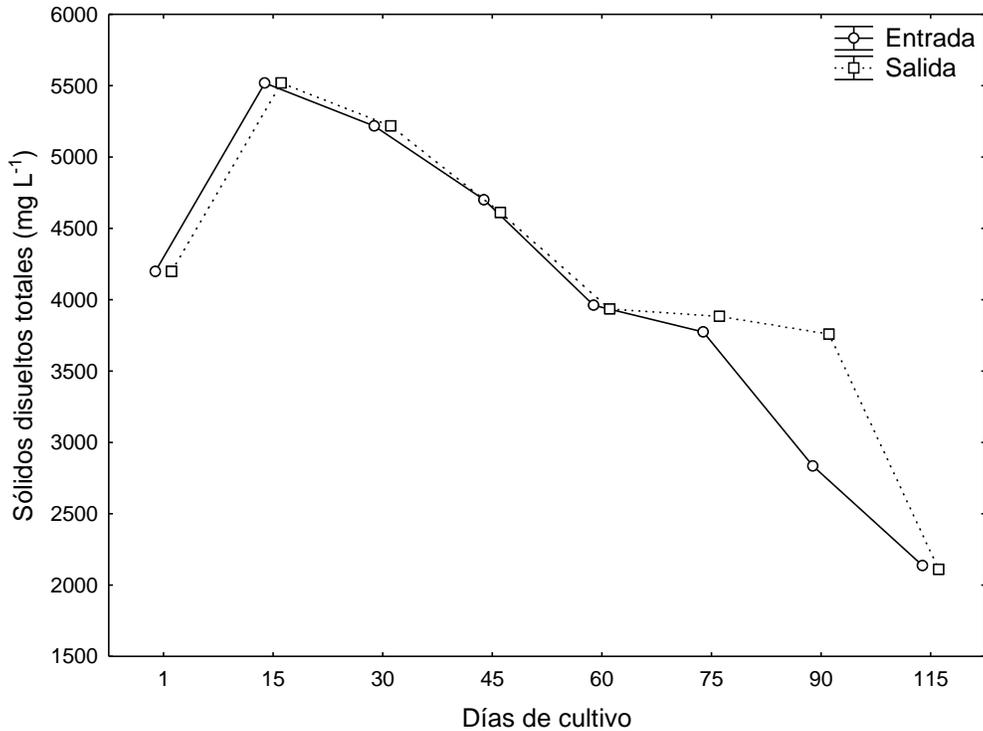


Figura 27. Valores de sólidos disueltos totales (mg L^{-1}) registrados en la entrada y salida del efluente cada 15 días durante el experimento que duró 120 días.

La concentración inicial fue muy alta en comparación con lo reportado por SEMARNAT (2010), un valor de 161.46 mg L^{-1} en el río Jamapa. Ayers y Wescot (1985), reportaron el óptimo para el cultivo de plantas es de $0\text{-}2000 \text{ mg L}^{-1}$. Asimismo, Ramírez (2000), indicó que valores superiores a $2,000 \text{ mg L}^{-1}$ 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, mientras que en este trabajo de investigación sólo se utilizó filtración, a lo que se le puede atribuir la alta concentración de sólidos disueltos totales.

7.1.15. Relación de absorción de sodio

Los valores registrados de RAS en la entrada indicaron un valor mínimo de 9.84 Meq L^{-1} (Día 115) y un máximo de 25.12 Meq L^{-1} (Día 45), con un promedio de 16.97 ± 6.45 ; en la salida un mínimo de 9.62 Meq L^{-1} (Día 115) y un máximo de 32.09 Meq L^{-1} (Día 45), con un promedio de 17.77 ± 7.90 (Cuadro 22).

Cuadro 22. Registro de Relación de Absorción de Sodio en la entrada y salida del sistema de acuaponia.

Relación de Absorción de Sodio (Meq L ⁻¹)								
Día	1	15	30	45	60	75	90	115
Entrada	13.6	12.44	12.04	25.12	24.17	24.58	13.99	9.84
Salida	13.6	12.44	12.04	32.09	23.88	24	14.5	9.62

Los valores de RAS variaron a través del tiempo (Figura 28).

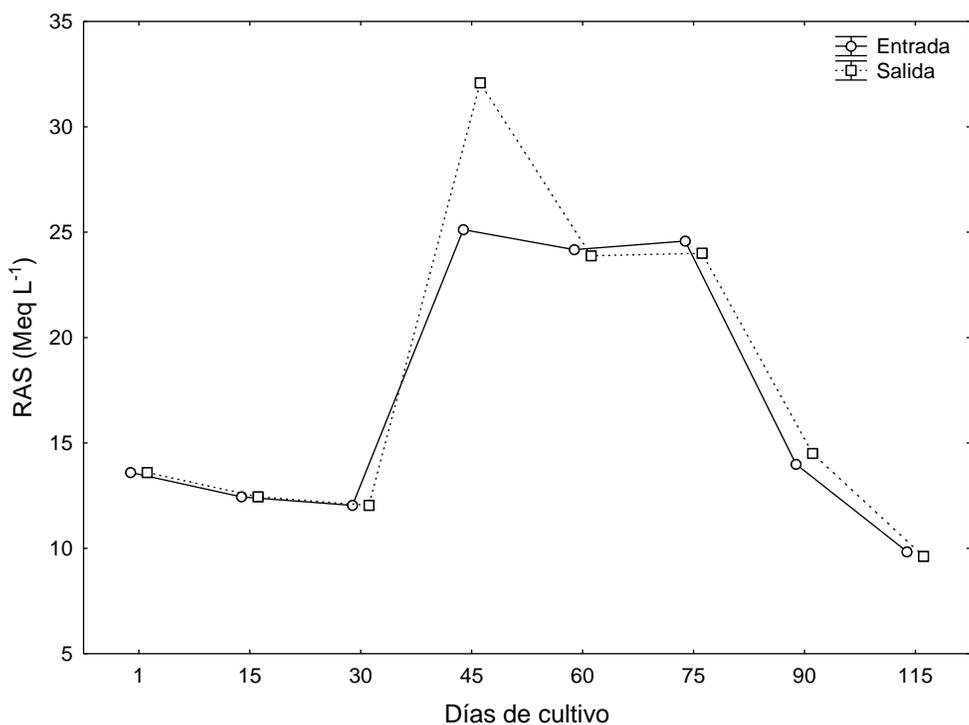


Figura 28. Valores de RAS (Meq L⁻¹) registrados en la entrada y salida del efluente cada 15 días durante el experimento que duró 120 días.

De acuerdo a Ayers y Wescot (1985), la relación de absorción de sodio debe estar en un intervalo de 0-15 Meq L⁻¹, en este caso los días 45, 60 y 75 estuvieron fuera del intervalo recomendado.

7.1.16. Correlaciones de las características químicas del efluente

Las correlaciones de las características químicas del efluente en la entrada indicaron que los cloruros tienen correlación alta y positiva con la conductividad eléctrica (0.99) ya que al aumentar una aumenta la otra, de manera contraria se observó en la relación de absorción de sodio correlacionándose negativamente con Ca (-0.72) (Cuadro 23).

Cuadro 23. Matriz de correlación de características químicas de la entrada del efluente salobre de tilapia en acuaponia.

	Entradas													
	dS m ⁻¹ CE	Meq L ⁻¹			mg L ⁻¹			Meq L ⁻¹		mg L ⁻¹		Meq L ⁻¹		
	B	Cl	S	A	N	Nit	Ca	Mg	K	Na	DT	SD	RAS	
CE	1.00													
B	0.77*	1.00												
Cl	0.99*	0.74	1.00											
		*												
S	0.41	0.46	0.36	1.00										
A	-0.10	-	-	-0.44	1.00									
		0.11	0.08											
N	-0.28	-	-	-	0.95	1.00								
		0.27	0.24	0.65*	*									
Nit	-0.37	-	-	-0.34	0.78	0.84	1.00							
		0.29	0.32	*	*	*								
Ca	0.56	0.43	0.51	0.85*	-	-	-0.55	1.00						
					0.44	0.65								
					*	*								
Mg	0.84*	0.51	0.82	0.48	-	-0.46	-	0.80	1.00					
		*	*		0.26		0.63	*						
							*							
K	0.32	0.06	0.39	-0.26	0.55	0.50	0.39	-0.28	0.12	1.00				
Na	0.86*	0.76	0.86	0.08	0.01	-0.05	-0.13	0.13	0.48	0.31	1.00			
		*	*											
DT	0.77*	0.55	0.74	0.71*	-	-0.59	-	0.94	0.95	-	0.37	1.00		
			*		0.36		0.63	*	*	0.05				
							*							
SD	1.00	0.78	1.00	0.41	-	-0.28	-0.37	0.56	0.84	0.32	0.86	0.77	1.0	0.13
		*			0.10				*		*	*	0	
RA	0.13	0.20	0.19	-0.58	0.40	0.52	0.45	-	-	0.52	0.57	-	0.1	1.00
S								0.72	0.36			0.52	3	
								*						

*Corresponde a significativo ($p \leq 0.05$). CE conductividad eléctrica, B bicarbonatos, Cl cloruros, S sulfatos, A amonio, N nitritos, Nit nitratos, Ca calcio, Mg magnesio, K potasio, Na sodio, DT dureza total, SD sólidos disueltos totales, RAS relación de absorción de sodio.

Las correlaciones de las características químicas del efluente en la salida mostraron que el Mg tienen correlación alta y positiva con Ca (0.83) ya que al aumentar una aumenta la otra, de manera contraria se observó que en sólidos disueltos totales al correlacionándose con nitratos es negativo (-0.67) (Cuadro 24).

Cuadro 24. Matriz de correlación de características químicas de la salida del efluente salobre de tilapia en acuaponia.

	Salida													
	dS m ⁻¹	Meq L ⁻¹			mg L ⁻¹		Meq L ⁻¹			mg L ⁻¹		Meq L ⁻¹		
	CE	B	Cl	S	A	N	Nit	Ca	Mg	K	Na	DT	SD	RAS
CE	1.00													
B	0.77*	1.00												
Cl	1.00	0.72	1.00											
S	0.47	0.54	0.44	1.00										
A	-0.10	-	-	-	1.00									
N	-0.47	-	-	-	0.86	1.00								
Nit	-0.50	-	-	-	0.52	0.76	1.00							
Ca	0.54	0.45	0.52	0.85	-	-	-0.55	1.00						
Mg	0.80*	0.50	0.80	0.55	-	-	-	0.83*	1.00					
K	0.37	0.07	0.44	-	0.23	0.47	0.71*	-0.17	0.19	1.0				
Na	0.84*	0.71	0.83	0.10	-	-	-0.22	0.08	0.39	0.3	1.00			
DT	0.72*	0.53	0.71	0.75	-	-	-	0.96*	0.96	0.0	0.27	1.00		
SD	0.96*	0.68	0.95	0.42	-	-	-	0.52	0.81	0.3	0.78	0.72	1.0	
RA	0.18	0.17	0.19	-	0.15	0.56	0.67*	-	-	1	0.66	-	0	1.00
S				0.51	0.26	0.14	0.32	0.69*	0.39	2	0.66	0.54	4	

*Corresponde a significativo ($p \leq 0.05$). CE conductividad eléctrica, B bicarbonatos, Cl cloruros, S sulfatos, A amonio, N nitritos, Nit nitratos, Ca calcio, Mg magnesio, K potasio, Na sodio, DT dureza total, SD sólidos disueltos totales, RAS relación de absorción de sodio.

7.1.17. Coliformes fecales y totales

El grupo coliforme se utiliza como indicador de contaminación fecal en agua debido a que un gran número de enfermedades son transmitidas por vía fecal-oral, utilizando como vehículo los alimentos y el agua (Camacho *et al.*, 2009). El efluente presentó coliformes fecales y totales (Cuadro 25).

Cuadro 25. Coliformes fecales y totales.

Coliformes	Inicio	Final
Fecales	1100 NMP*	7 NMP
Totales	6×10^4	2.10×10^4

*NMP=Número más probable 100 mL¹

Los resultados iniciales concuerdan con la SEMARNAT (2010), que en el 2004 encontraron 1,043 NMP 100 mL⁻¹ de coliformes fecales en agua del río Jamapa. Palomarez (2010), reporta que en el río Jamapa diversas comunidades localizadas en su cauce descargan aguas residuales sin tratamiento previo o adecuado, como es el caso de Soledad, Medellín y Boca del Río. Sin embargo, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, los resultados obtenidos están entre el intervalo de 1,000 y 2,000 NMP/100 mL, permisible para las 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.

7.1.18. Amibas

Las amibas encontradas en el inicio y final del experimento se muestran en el cuadro 26.

Cuadro 26. Amibas en fresco y otros microorganismos

	Inicio	Final
Amiba en fresco	trofozoitos de <i>Balamuthia mandrilaris</i> +	flagelados de <i>Naegleria fowleri</i> +
Otros	<i>Vorticella</i> spp. y Paramecios	<i>Euglena</i> sp.

En este estudio las amibas de vida libre patógenas tuvieron condiciones similares para su desarrollo como lo mencionan Bonilla *et al.* (2004), que son más frecuentes en cuerpos de agua con temperatura por arriba de los 25 °C, niveles óptimos de oxígeno, pH cercano a la neutralidad y alimento suficiente (bacterias y materia orgánica) aunque pueden soportar variaciones amplias. De acuerdo a la norma NOM-001-ECOL-1996, las directrices no consideran a todos los protozoarios que tienen importancia para la salud pública como es el caso de las amibas (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 nutrientes (Bonilla *et al.*, 2004).

7.1.19. Lodos en el efluente de tilapia

En el análisis único de lodos mostró las siguientes cantidades de nutrientes (Cuadro 27).

Cuadro 27. Análisis único de lodos en el efluente de tilapia

Base seca (%)		Base seca (mg L ⁻¹)							
MO*	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
57.2	0.14	0.98	0.042	1.48	0.029	2321	14	321	302

*MO=Materia orgánica

Rafiee y Saad (2005), reportaron valores de lodo sedimentado en cultivo de tilapia roja de 32.53% de N, 7.16% K, 15.98% P, 26.81% Ca, 20.29% Mg, 11.46% Fe, 3.55% Cu, 3.55% Mn y 13.43% Zn, durante un periodo de cultivo de 20 a 200 g. Asimismo, se ha reportado que de la alimentación alrededor del 75% de N y 80% de P 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 el hecho de que las principales fuentes de residuos se derivan de materiales fecales, de alimentos no consumidos que son fuentes de energía, nutrientes para el crecimiento de organismos biológicos (bacterias, hongos y algas) y la biomasa de 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). En ese sentido, la acumulación de nutrientes se produce en un sistema de recirculación debido a altas tasas de alimentación, bajo cambio de agua y rápida acumulación de sólidos disueltos totales a niveles potencialmente tóxicos, más de 2.000 mg L⁻¹. Un aumento en sólidos disueltos totales a niveles tóxicos sucede cuando se añaden 10 kg de alimentación a 1 m³ de agua en el sistema de cultivo (Rakocy y Hargreaves, 1993).

7.1.20. Nutrientes en la siembra tradicional

Los nutrientes encontrados en el sustrato utilizado en la siembra tradicional se presentan en el Cuadro 28.

Cuadro 28. Contenido de nutrimentos en el sustrato utilizado en siembra tradicional.

Determinación	Contenido
Arena (%)	73.20
Textura Arcilla (%)	9.80
Limo (%)	17.00
pH agua (1:2)	6.17
Materia orgánica (%)	4.17
N inorgánico (%)	6
P (mg L ⁻¹)	81
K (mg L ⁻¹)	129
Ca (mg L ⁻¹)	2105
Mg (mg L ⁻¹)	192
Fe (DTPA) (mg L ⁻¹)	34
Cu (DTPA) (mg L ⁻¹)	4.1
Zn (DTPA) (mg L ⁻¹)	12.1
Mg (DTPA) (mg L ⁻¹)	3.2

La textura encontrada en el suelo fue migajón arenoso (arena, arcilla y limo) de acuerdo a la norma NOM 021 RECNAT 2000 AS-09, pH moderadamente ácido (NOM 021 RECNAT 2000 AS-02), la materia orgánica fue alta (NOM 021 RECNAT 2000 AS-07), en N inorgánico fue bajo (NOM 021 RECNAT 2000 AS-08), en P el valor fue moderado (NOM 021 RECNAT 2000 A-12), en Ca el valor fue alto (NOM 021 RECNAT 2000 AS-12), Mg presentó un valor moderado (NOM 021 RECNAT 2000 AS-12); sin embargo, para Fe, Cu, Zn y Mg fueron adecuados (NOM 021 RECNAT 2000 AS-14).

7.2. Evaluación de siete tipos de vegetales herbáceas en acuaponia

Durante cuatro meses se evaluó el crecimiento mediante la altura y diámetro de tallo y rendimiento en peso fresco y seco en plantas de acuaponia y siembra tradicional.

7.2.1. Temperatura y humedad relativa

La temperatura mínima registrada fue de 16°C (Días 95 y 100) y la temperatura máxima fue 30°C (Día 90) (Cuadro 29).

Cuadro 29. Registro de temperatura mínima y máxima en la entrada y salida del sistema de acuaponia.

Temperatura mínima y máxima °C													
Día	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Mínima	26	23	21	26	24	20	23	23	25	22	22	24	24
Máxima	28	29	23	27	25	21	25	25	29	27	29	28	27

Cuadro 29. Continuación...

Temperatura mínima y máxima °C												
Día	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
Mínima	25	20	23	17	22	28	16	16	23	26	23	17
Máxima	28	29	29	20	27	30	16	16	27	25	23	21

Los valores de temperatura variaron a través del tiempo (Figura 29).

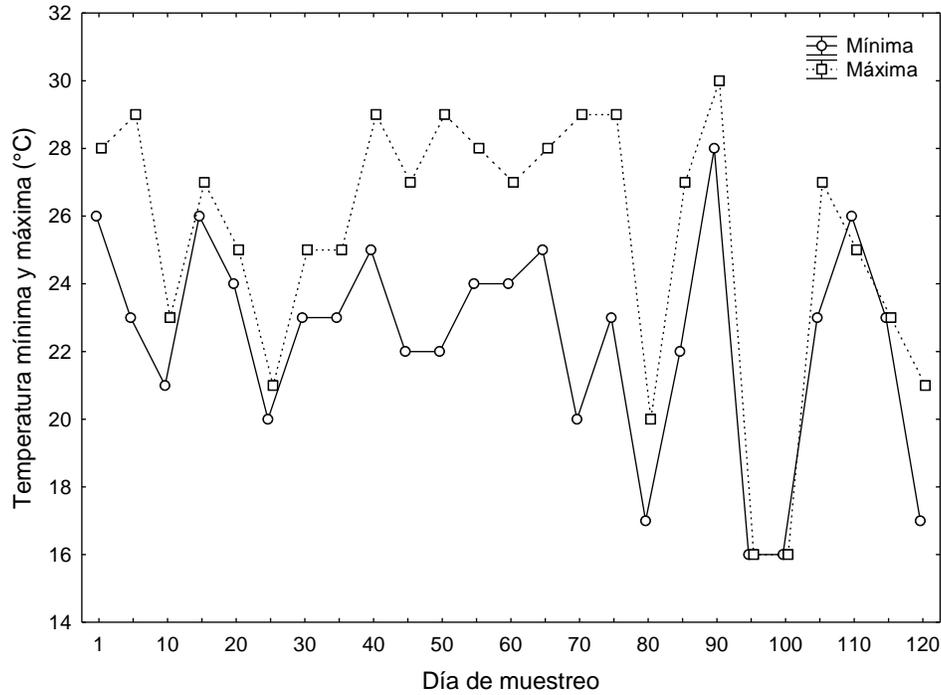


Figura 29. Comparación entre los valores de temperatura mínima y máxima (°C) en el sombreadero durante el periodo experimental.

Con respecto a la humedad relativa, los valores registrados fueron muy variables con una mínima de 50 % (Día 115) y una máxima de 100 % (Día 95) debido a la presencia de lluvias y un promedio de 76.16 ± 12.46 (Cuadro 30).

Cuadro 30. Registro de humedad relativa en la entrada y salida del sistema de acuaponia.

Día	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Humedad relativa (%)	68	80	79	64	70	99	71	76	69	83	62	66	91

Cuadro 30. Continuación...

Día	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
Humedad relativa (%)	60	74	88	82	80	76	100	99	50	72	75	70

Los valores de humedad relativa variaron a través del tiempo (Figura 30).

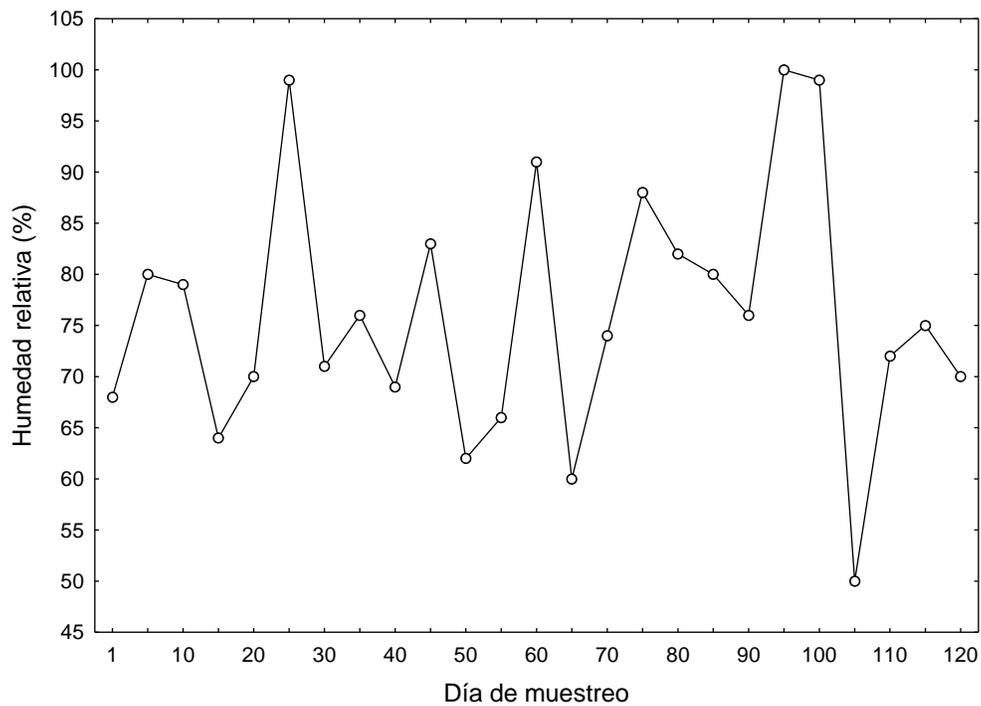


Figura 30. Humedad relativa (%) registrada en el sombreadero durante el experimento que duró 120 días.

7.2.2. Crecimiento y rendimiento en epazote (*Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin y Clemants)

El crecimiento en las plantas de epazote sembradas en acuaponia no mostraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$), la altura máxima fue de 19 cm, mientras que en siembra tradicional presentó diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$), con una altura máxima de 80 cm (Figura 31).

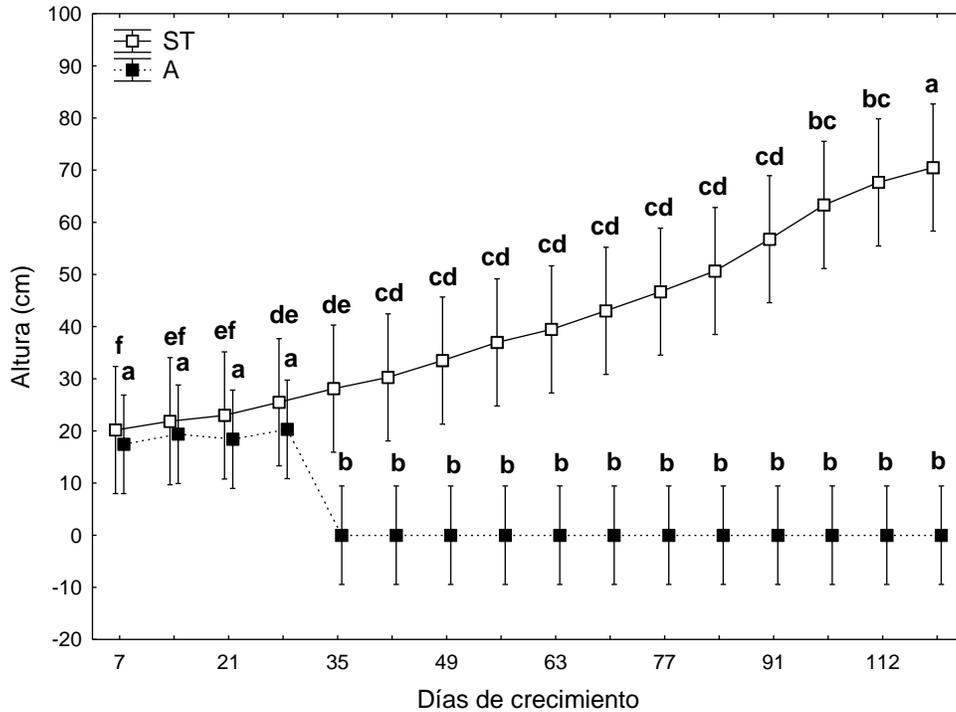


Figura 31. Crecimiento del epazote en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST). Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre el mismo lugar de muestreo.

En el sistema de acuaponia las plantas se murieron a los 27 días a diferencia de la siembra tradicional que crecieron constantemente hasta finalizar el experimento. Con respecto al diámetro del tallo, en el sistema de acuaponia no presentó diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$), aunque tuvo un mayor diámetro con respecto a la siembra tradicional; sin embargo, el diámetro fue incrementando a través de los días aunque estadísticamente no fue significativo ($P > 0.05$; Figura 32).

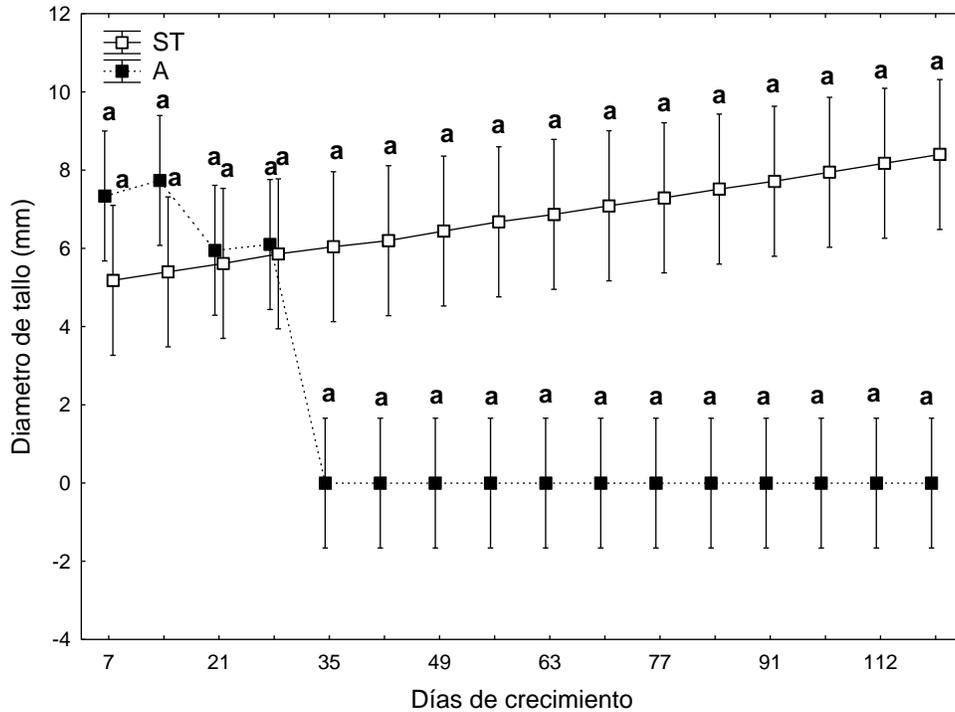


Figura 32. Diámetro del tallo del epazote en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST). Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre el mismo lugar de muestreo.

En ese sentido, las plantas en acuaponia no crecieron probablemente por el exceso de acumulación de lodos el cual tiene un efecto perjudicial sobre crecimiento de las plantas, ya que bloquea el flujo de agua y crea zonas sin oxígeno provocando la muerte. De acuerdo a Rakocy (2003), quien evaluó un sistema acuapónico de escala comercial (0.05 ha) ubicado en el trópico, la producción proyectada anual de tilapia fue de 4.37 t; y la producción de albahaca fue de 2.0, 1.8 y 0.6 kg m⁻² usando los sistemas de producción en lotes, escalonadas y en campo, respectivamente. La producción anual proyectada del sistema fue de 5.0 t de albahaca con la producción escalonada. Los síntomas de la deficiencia de nutrientes sólo aparecieron en el cultivo de albahaca en lotes completos.

7.2.3. Crecimiento y rendimiento en orégano orejón (*Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng)

Con respecto a la variable altura, las plantas sembradas en acuaponia y tradicionalmente mostraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) a través del tiempo. Las plantas que mostraron una mayor altura fueron mediante siembra tradicional (Figura 33).

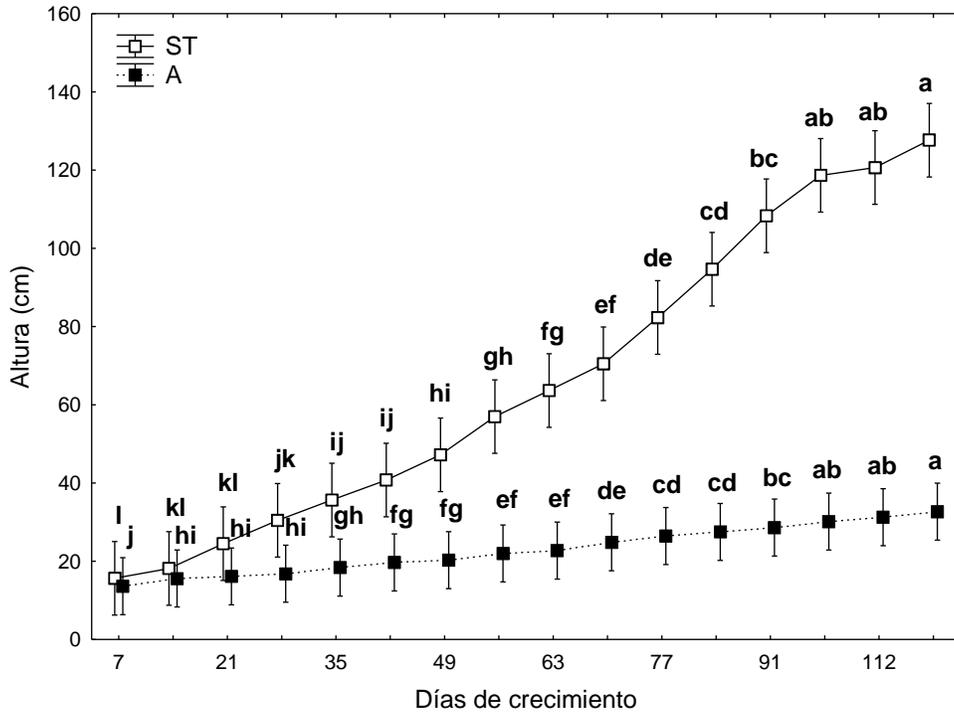


Figura 33. Crecimiento del orégano orejón en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST). Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre el mismo lugar de muestreo.

La diferencia puede deberse a que la concentración de sales disminuye la disponibilidad de agua para que sea absorbida por las raíces hacia la planta por lo tanto reduce su crecimiento y desarrollo (Murtaza *et al.*, 2006). Por otra parte, el diámetro del tallo en ambos sistemas mostró diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$), aunque se observó que por siembra tradicional tuvo mayor diámetro y se incrementó más del día 42 al 91 (Figura 34).

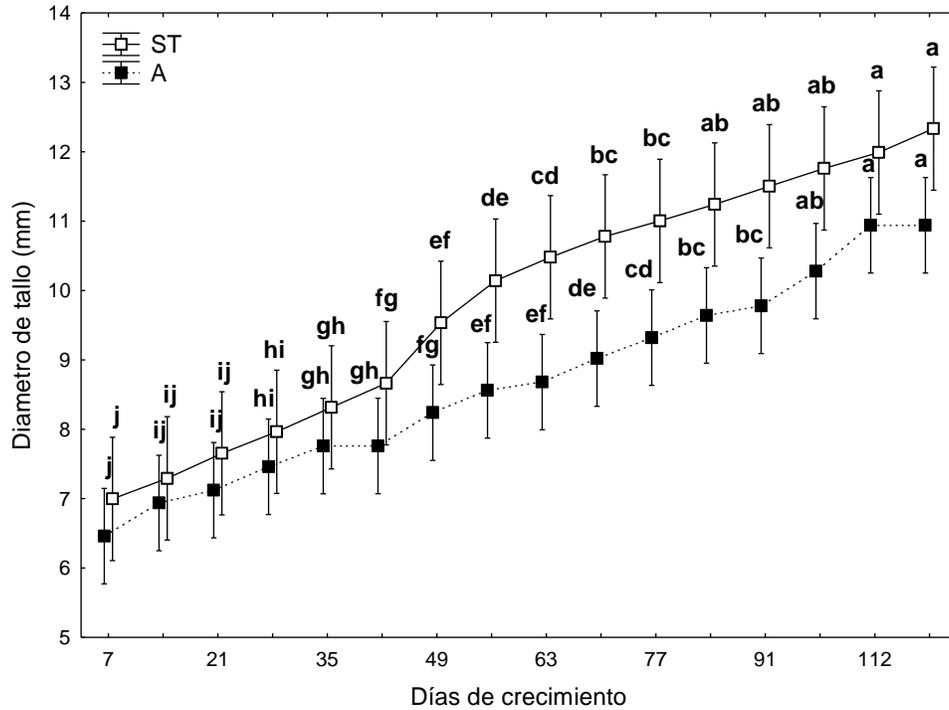


Figura 34. Diámetro del tallo del orégano orejón en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST). Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre el mismo lugar de muestreo.

En la figura 35 y 36 se pudo observar que bajo condiciones de riego con agua dulce se obtuvieron mayores relaciones raíz/vástago sembradas tradicionalmente. Contrariamente bajo condiciones de riego con agua salobre esta tendencia se revirtió.

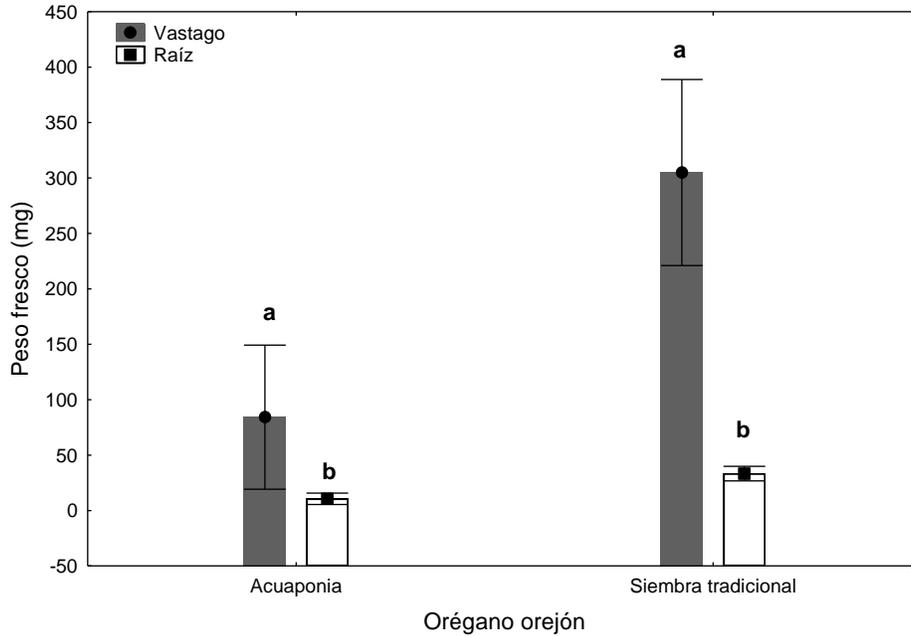


Figura 35. Peso fresco de la raíz y el vástago del orégano orejón en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST). Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre el mismo lugar de muestreo.

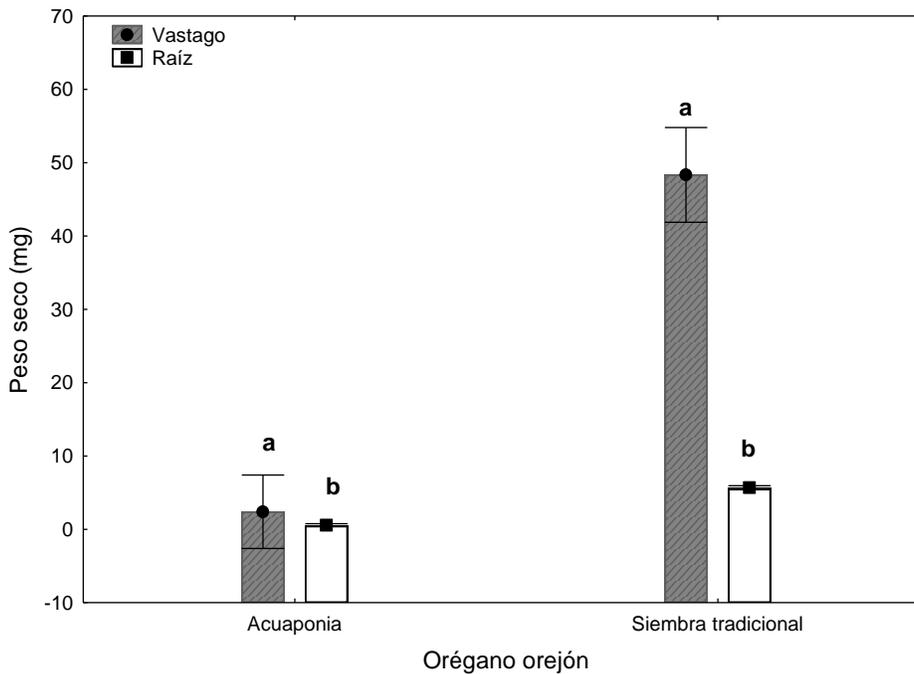


Figura 36. Peso seco de la raíz y el vástago de orégano orejón en acuaponia y siembra tradicional. Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre el mismo lugar de muestreo.

Ramírez (2008), consideró que el cultivo de orégano es importante a nivel mundial debido a su producción alta, además se presenta como un cultivo promisorio para ser explotado con sistemas conservadores del agua y que ocupan poco terreno, como el acuapónico.

7.2.4. Crecimiento y rendimiento en vaporub® (*Plectranthus purpuratus* Harv.)

Bajo el sistema de acuaponia, la altura en las plantas no mostraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$), en contraste con la siembra tradicional mostraron mayor altura encontrándose diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) a través del tiempo, esta se incrementó a partir del día 35 mientras que en acuaponia fue constante (Figura 37).

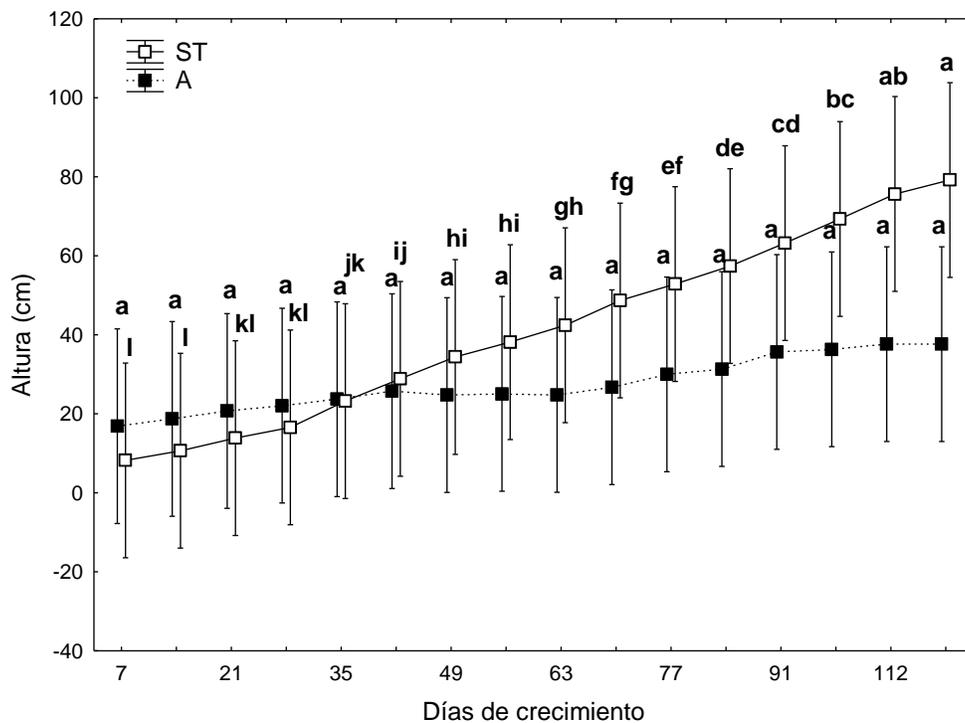


Figura 37. Crecimiento del vaporub® en el sistema de acuaponia (A) y siembra tradicional (ST). Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre el mismo lugar de muestreo.

Con respecto al diámetro de tallo el comportamiento fue similar, en acuaponia no hubo diferencias estadísticas ($P > 0.05$) a diferencia de la siembra tradicional donde hubo un incremento constante de diámetro presentando diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) a través del tiempo (Figura 38).

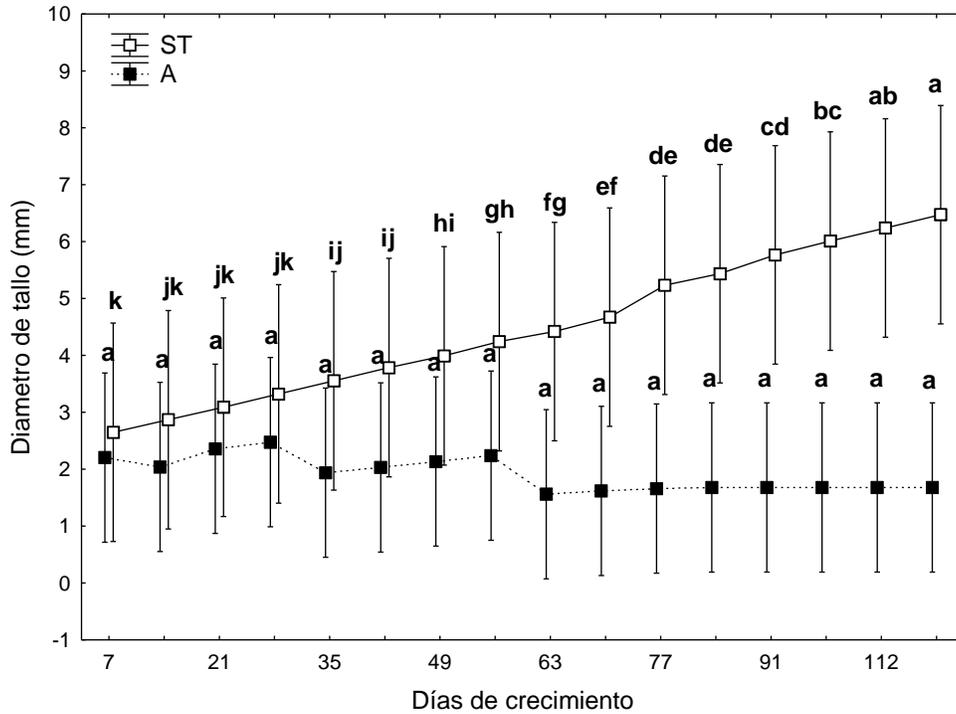


Figura 38. Diámetro del tallo del vaporub® en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST). Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre los dos diferentes lugares de muestreo.

Con respecto a la relación raíz/vástago en ambos sistemas hubo diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$), en siembra tradicional tuvieron un mayor incremento mientras que en peso fresco y seco de raíz los valores fueron similares y no hubo diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) (Figura 39 y 40), esto pudo deberse a la salinidad del efluente la cual reduce el crecimiento y desarrollo de las plantas.

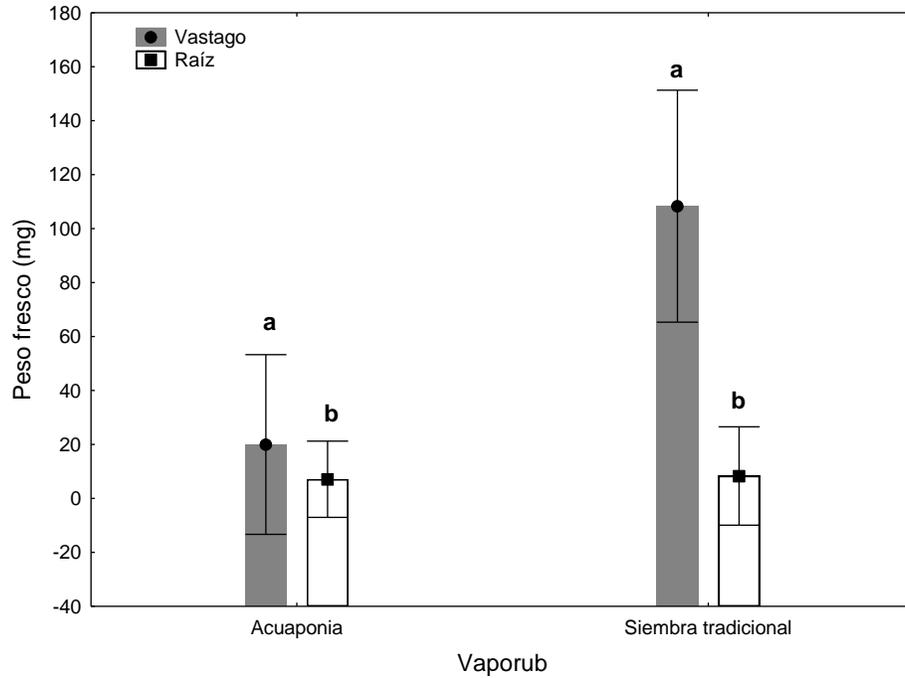


Figura 39. Peso fresco de la raíz y el vástago de vaporub® en acuaponia y siembra tradicional. Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre los dos diferentes lugares de muestreo.

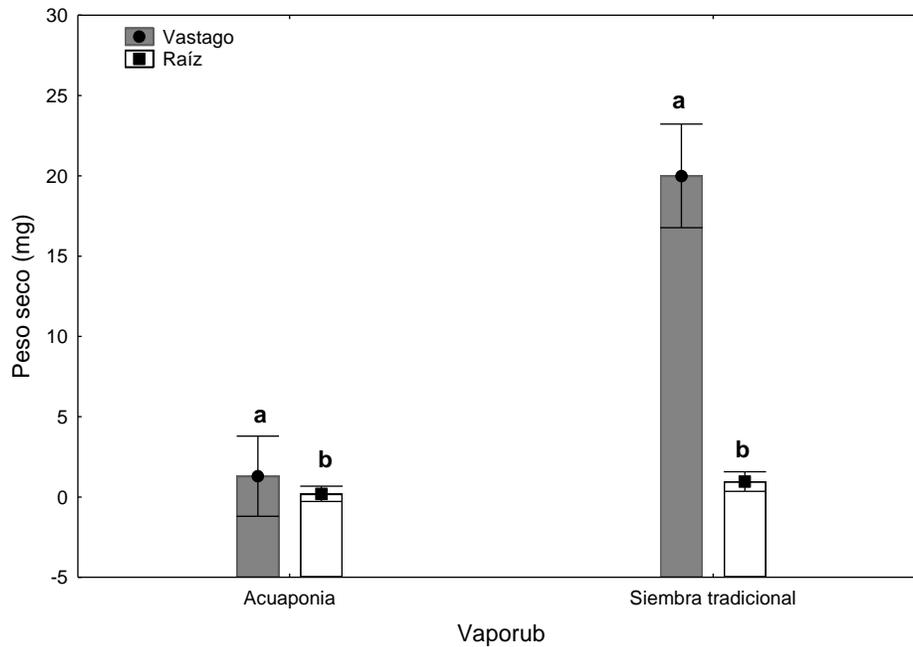


Figura 40. Peso seco de la raíz y el vástago de vaporub® en acuaponia y siembra tradicional. Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre los dos diferentes lugares de muestreo.

7.2.5. Crecimiento y rendimiento en hierbabuena (*Mentha spicata* L.)

Tanto en el sistema de acuaponia como en la siembra tradicional mantuvieron una altura constante a través del tiempo mostrando diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) (Figura 41).

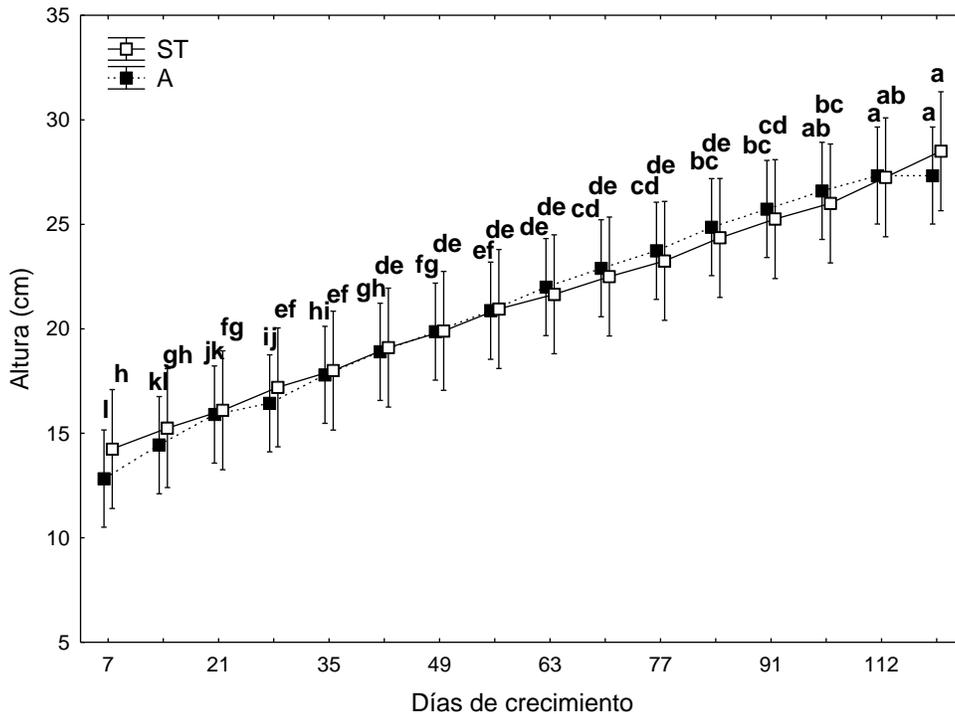


Figura 41. Crecimiento de la hierbabuena en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST). Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre el mismo lugar de muestreo.

Con relación al diámetro del tallo en ambos sistemas hubo diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$); sin embargo, en las plantas en acuaponia hubo mayor diámetro de tallo, el cual fue incrementando constantemente a través del tiempo (Figura 42).

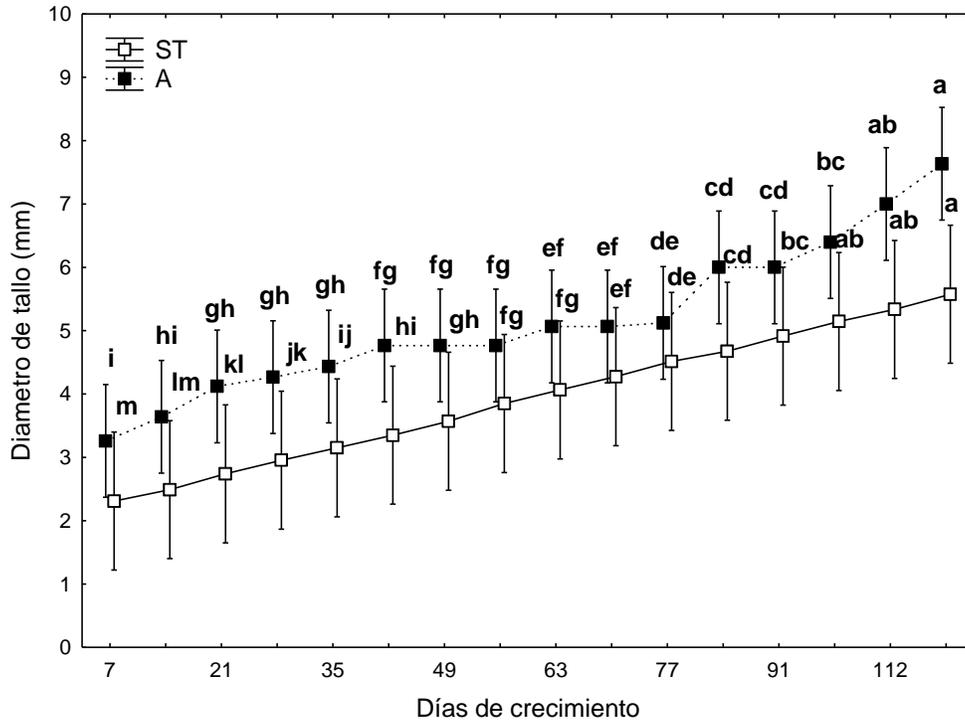


Figura 42. Diámetro del tallo de la hierbabuena en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST). Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre el mismo lugar de muestreo.

El rendimiento se evaluó obteniendo el peso fresco y seco de raíz y vástago. Ambos sistemas no mostraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$). Sin embargo, el peso seco en vástago obtuvo un incremento mayor en acuaponia pero en peso fresco y seco de raíz en siembra tradicional mostraron valores mayores (Figura 43 y 44).

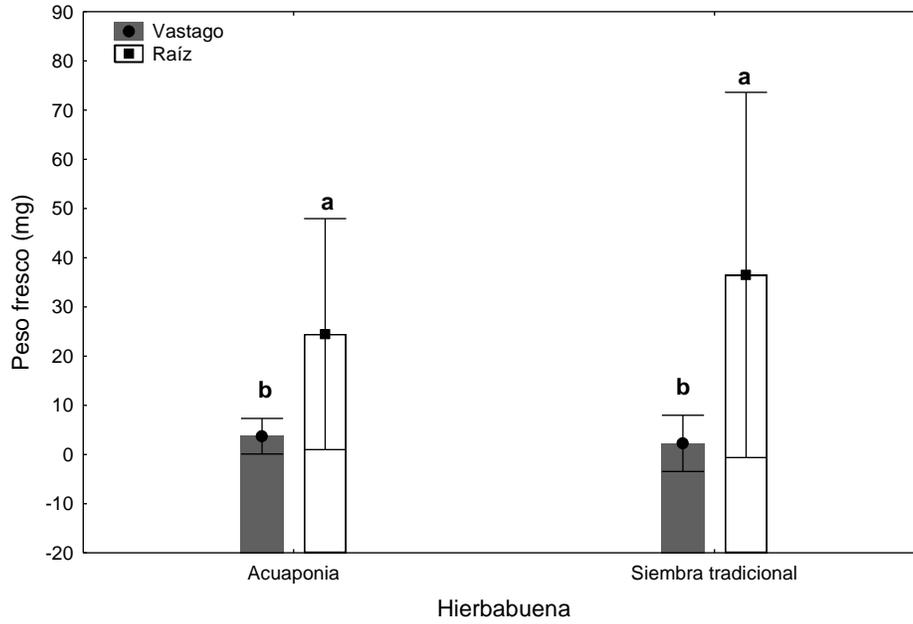


Figura 43. Peso fresco de la raíz y el vástago de hierbabuena en acuaponia y siembra tradicional. Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre el mismo lugar de muestreo.

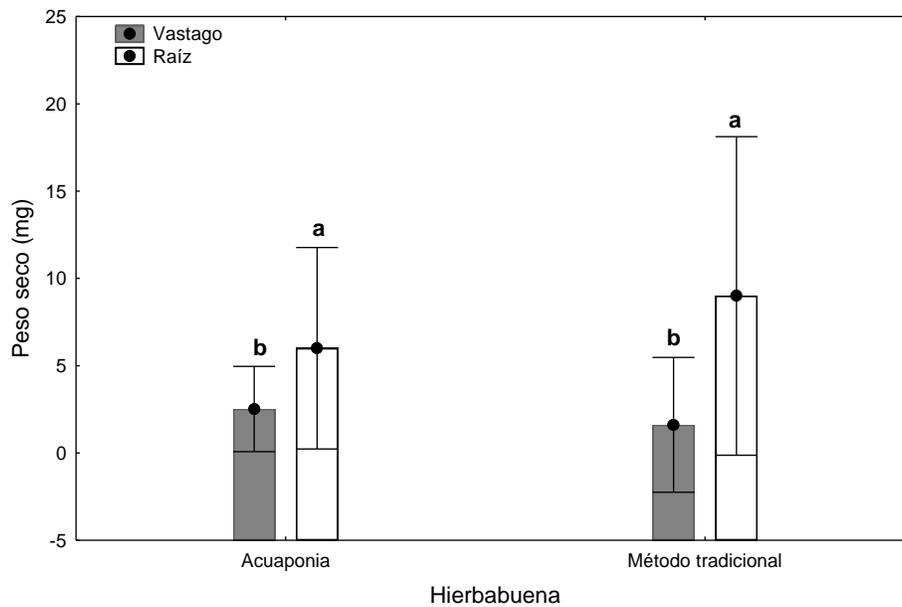


Figura 44. Peso seco de la raíz y el vástago de hierbabuena en acuaponia y siembra tradicional. Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre el mismo lugar de muestreo.

Cuthberg (2008), reportó que el cultivo de menta posee un potencial muy interesante en las condiciones de Colombia, y que la explotación de sus características puede resultar en una actividad económica importante. Asimismo, este cultivo lo consideran ideal para acuaponía. Otro ejemplo es el cultivo de la albahaca debido a su rápido crecimiento, elevada densidad de siembra (24 plantas m⁻²) (Nelson, 2005). Se pueden sembrar plántulas de dos semanas, y aproximadamente a las cinco semanas se puede realizar un corte, y posteriormente cada una o dos semanas, durante dos a tres meses (Ramírez *et al.*, 2008). Cabe mencionar que aunque la raíz de la hierbabuena presentó lodos, se desarrolló adecuadamente (Figura 45).



Figura 45. Hierbabuena con acumulación de lodo en las raíces.

Para este tipo de cultivos se recomienda realizar cortes constantes para evitar se convierta en plaga, además permiten ser cosechados todo el año obteniendo ganancias constantes sin tener que programar la plantación.

7.2.6. Crecimiento y rendimiento en perejil (*Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss)

En el sistema de acuaponía y método tradicional hubo diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$). En siembra tradicional se obtuvieron alturas mayores con respecto a las plantas de acuaponía, las cuales su tallo principal se pudrió al día 14; asimismo, sucedió en los tallos siguientes (Figura 46). Con respecto al diámetro de tallo en acuaponía no hubo diferencias

estadísticas significativas ($P>0.05$); sin embargo, hubo un incremento hasta el día 63, mientras que en siembra tradicional el diámetro incrementó constantemente mostrando diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$) (Figura 47).

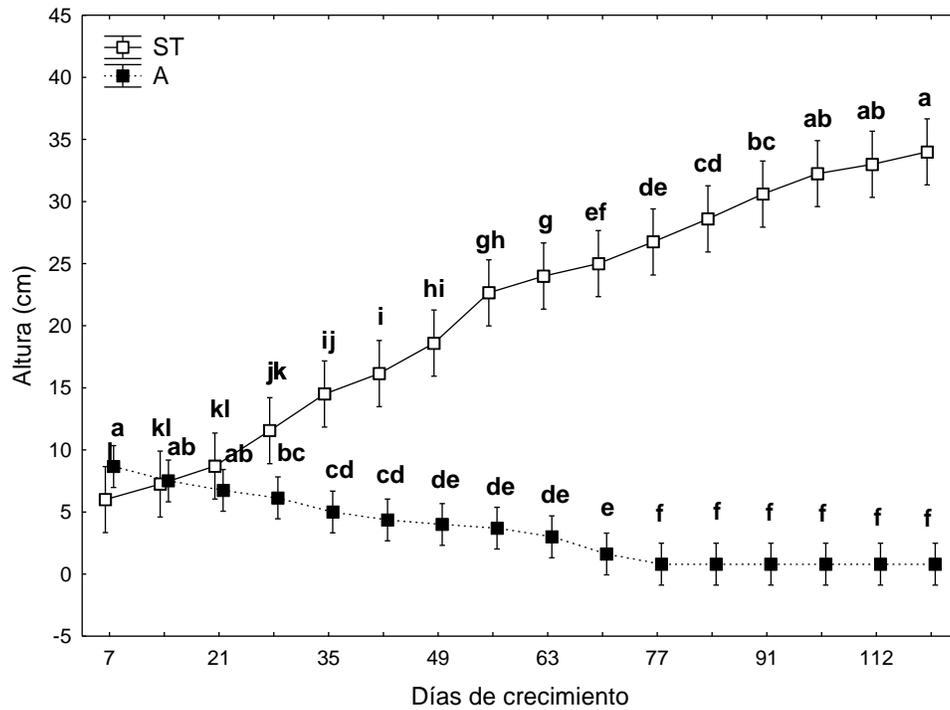


Figura 46. Crecimiento del perejil en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST). Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P\leq 0.05$) entre el mismo lugar de muestreo.

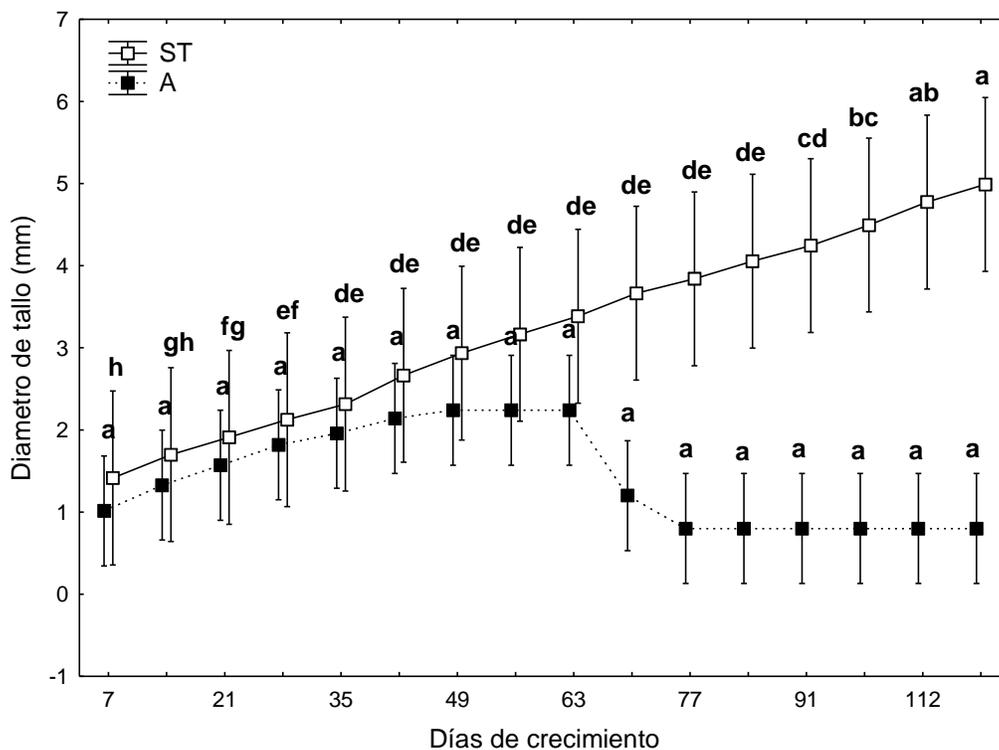


Figura 47. Diámetro del tallo del perejil en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST). Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre el mismo lugar de muestreo.

Con respecto al peso fresco y seco de vástago y raíz, presentaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$). Lo anterior muestra que en siembra tradicional hubo mayores valores en peso fresco de vástago y similar en peso seco, también en peso fresco y seco de la raíz en este sistema presentó el mayor incremento (Figura 48 y 49).

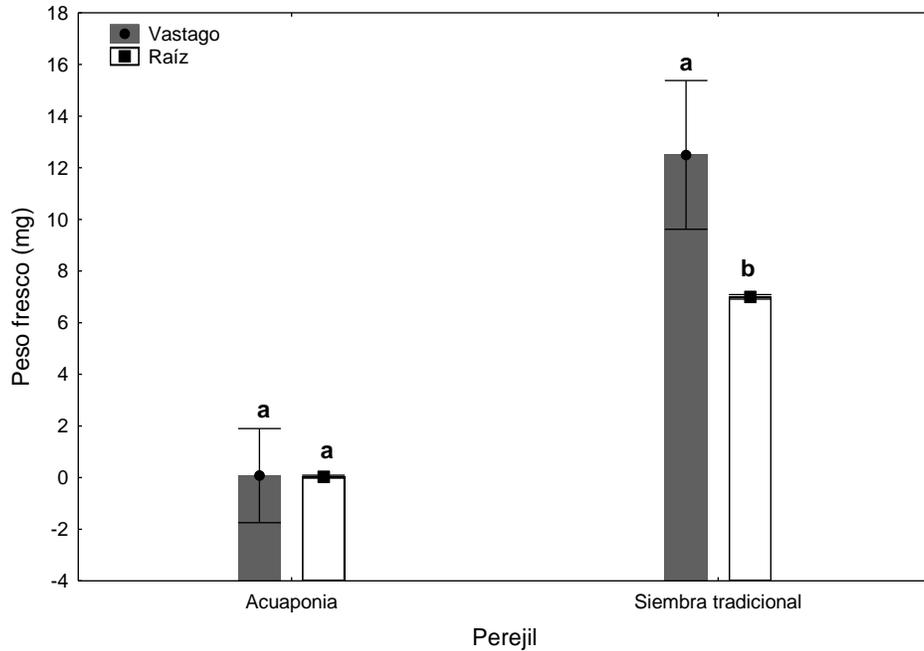


Figura 48. Peso fresco de la raíz y el vástago del perejil en acuaponia y siembra tradicional. Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre el mismo lugar de muestreo.

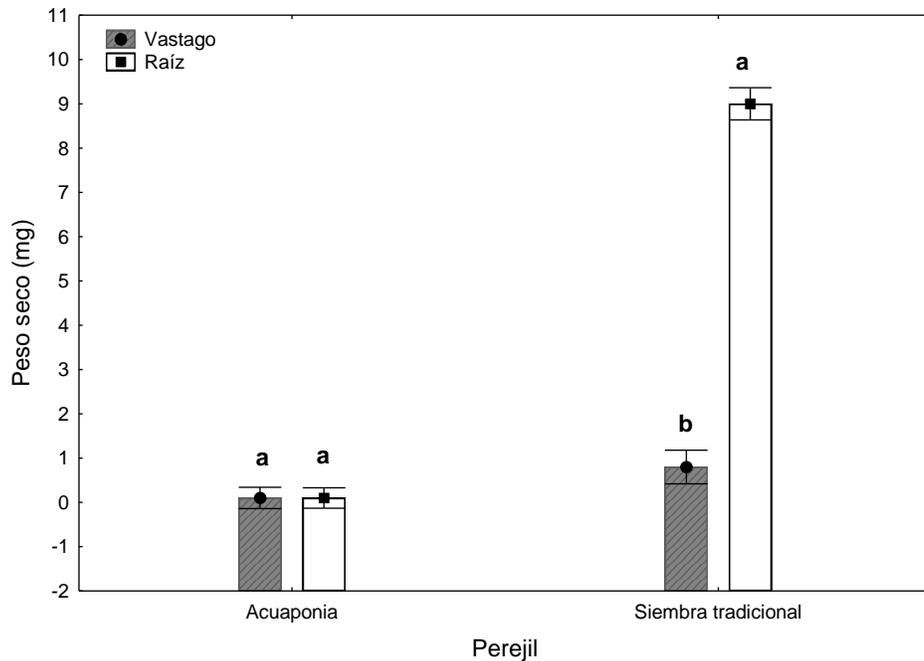


Figura 49. Peso seco de la raíz y el vástago de perejil en acuaponia y siembra tradicional. Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre los dos diferentes lugares de muestreo.

En la figura 50 se presenta una imagen del perejil en donde se observa la altura y escasas de hojas.



Figura 50. Perejil.

7.2.7. Crecimiento y rendimiento en chile serrano (*Capsicum annuum* L.)

En el sistema de acuaponia, el chile serrano mantuvo la misma altura y diámetro de tallo por lo cual no hubo diferencias estadísticamente significativas ($P>0.05$) en comparación con la siembra tradicional el cual tuvo mayores alturas (Figura 51).

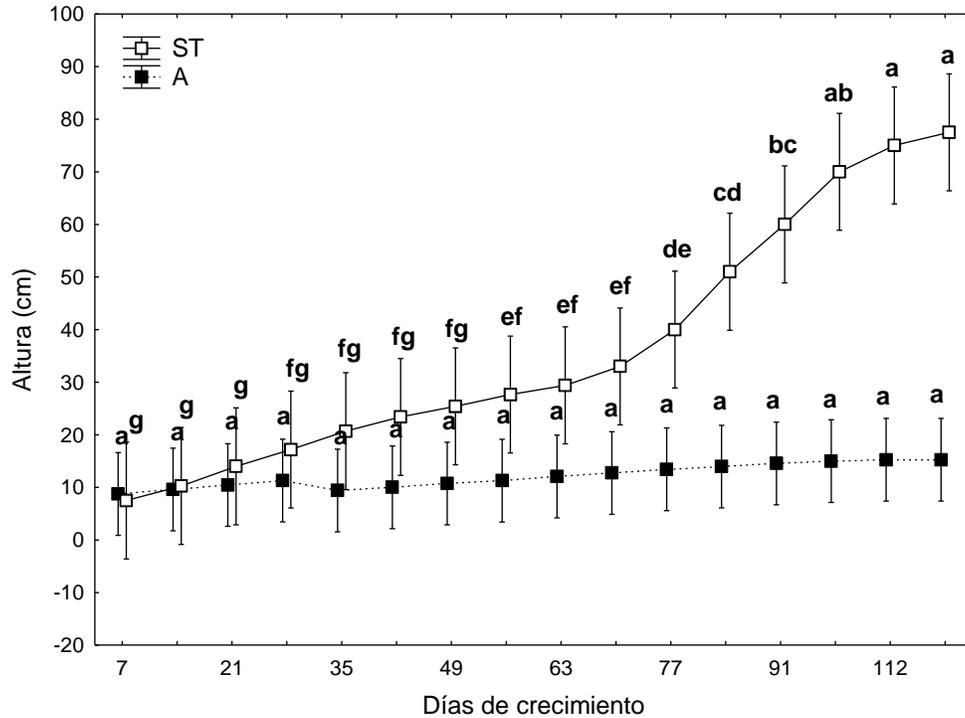


Figura 51. Crecimiento del chile serrano en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST). Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

También, en el diámetro de tallo en acuaponia no hubo diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$), en contraste con la siembra tradicional las cuales hubo diferencias estadísticas ($P < 0.05$) (Figura 52). Con respecto a la relación raíz/vástago en acuaponia hubo diferencias ($P < 0.05$) en peso fresco de vástago en contraste con la siembra tradicional donde se presentaron mayores incrementos, mientras que en peso fresco de raíz no hubo diferencias estadísticas ($P > 0.05$) (Figura 53). Con respecto al peso seco de vástago en ambos sistemas no se encontraron diferencias estadísticas ($P > 0.05$), aunque en siembra tradicional se obtuvieron mayores rendimientos para esta variable (Figura 54). En la figura 55 se observa la altura que presentó el chile serrano.

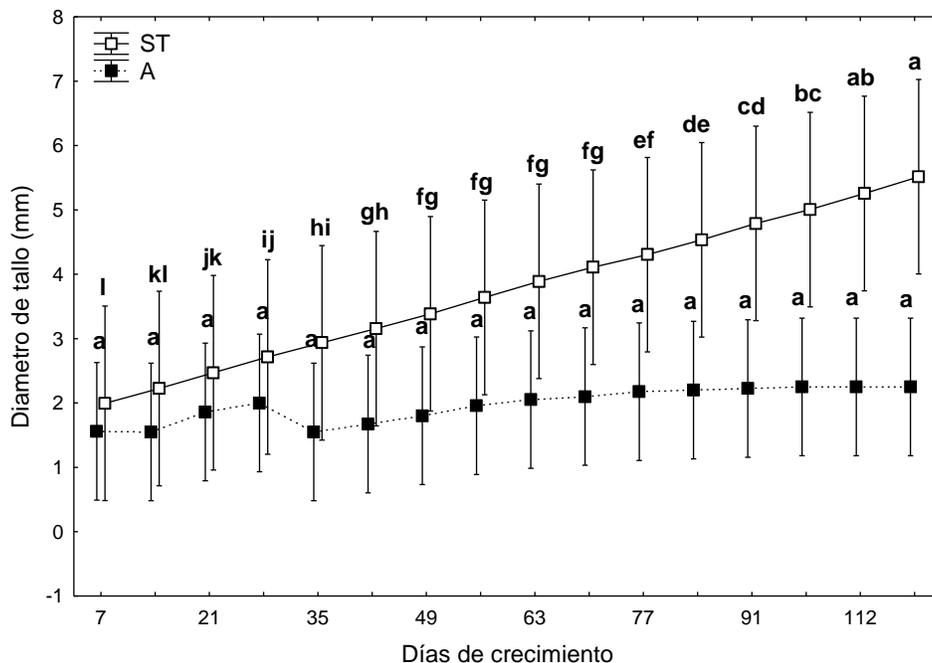


Figura 52. Diámetro del tallo del chile serrano en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST). Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

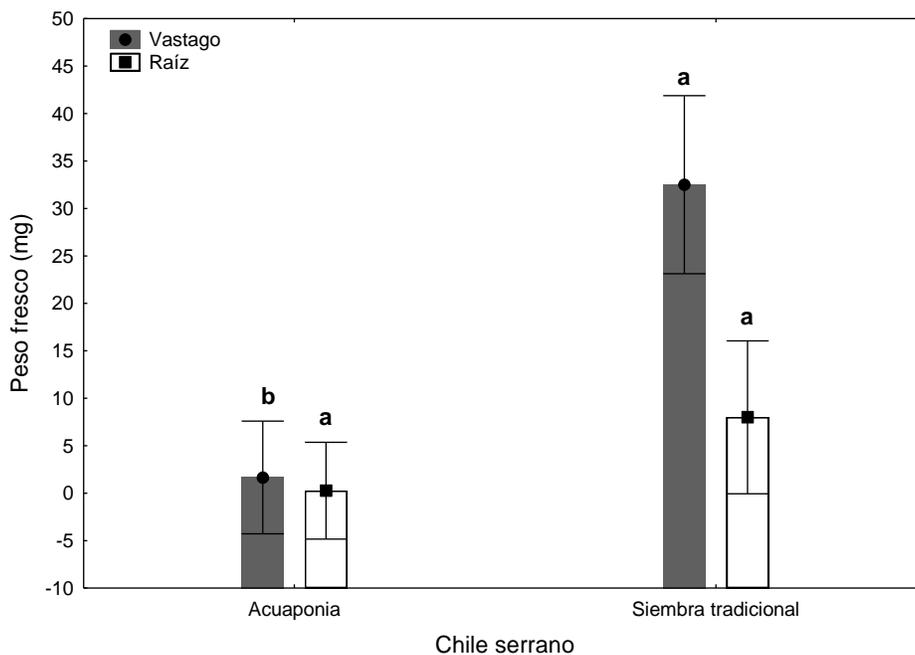


Figura 53. Peso fresco de la raíz y el vástago de chile serrano en acuaponia y siembra tradicional. Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre los dos diferentes lugares de muestreo.

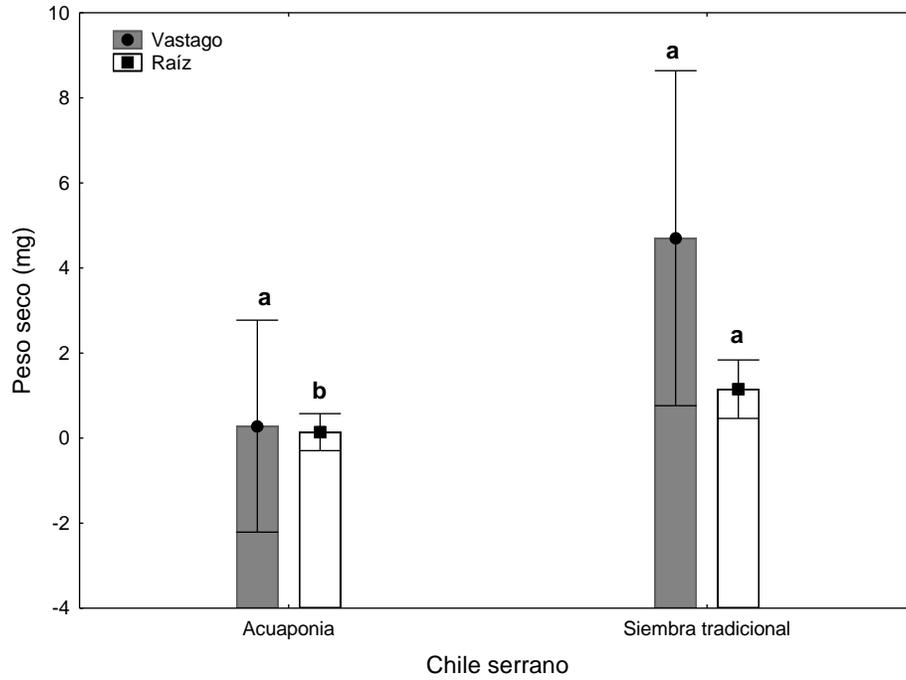


Figura 54. Peso seco la raíz y el vástago de chile serrano en acuaponia y siembra tradicional. Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre los dos diferentes lugares de muestreo.



Figura 55. Chile serrano.

7.2.8. Crecimiento y rendimiento en chile de ornato (*Capsicum* sp.)

Para el sistema de acuaponia, el chile de ornato tuvo diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$), con una altura máxima de 21 cm, promedio de 7.26 ± 7.32 . Sin embargo, no todas se desarrollaron en condiciones de salinidad. Mientras que en siembra tradicional hubo diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$), las cuales crecieron constantemente con un mínimo de 10.5 cm y un máximo de 26 cm con un promedio de 16.16 ± 3.69 (Figura 56). Con respecto al diámetro del tallo en acuaponia y en siembra tradicional hubo diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) (Figura 57). Cabe mencionar que las plantas se secaron debido a la presencia de lodos (Figura 58).

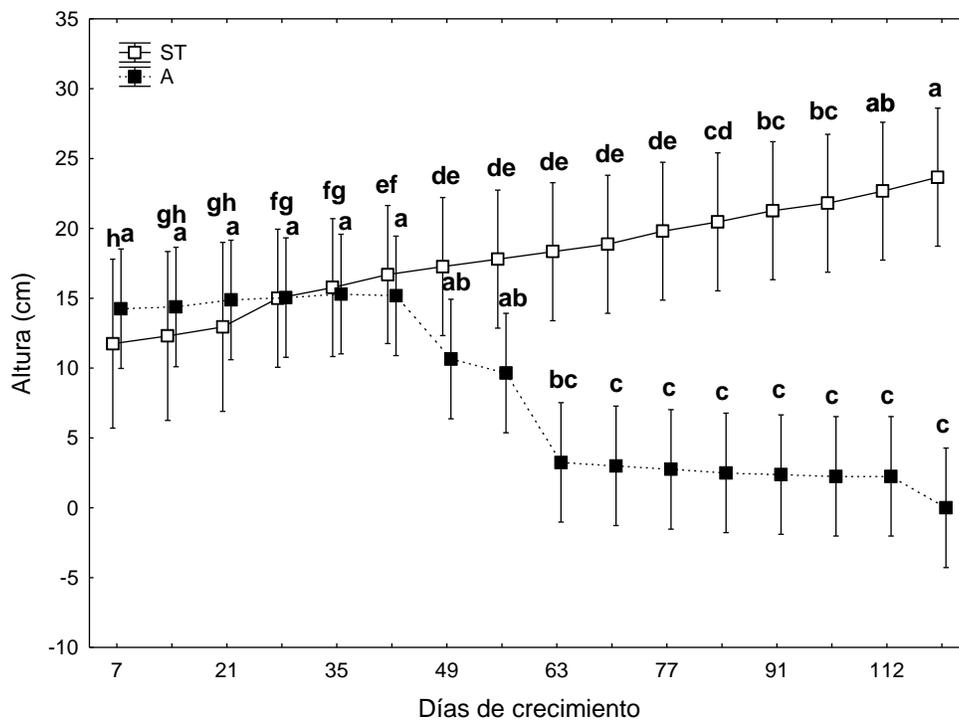


Figura 56. Crecimiento del chile de ornato en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST). Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

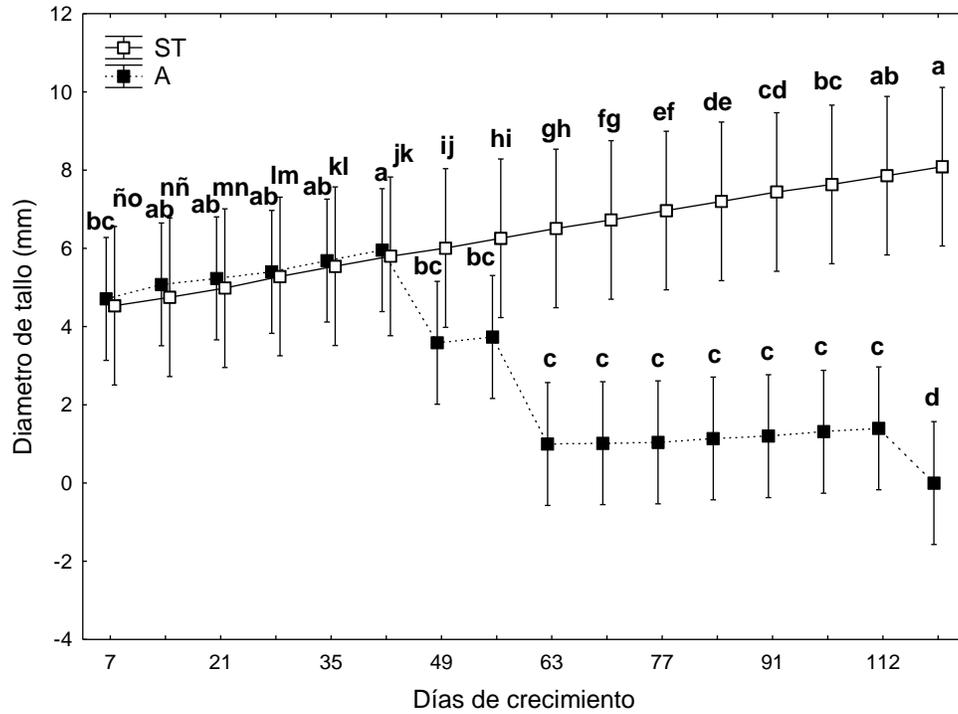


Figura 57. Diámetro del tallo del chile de ornato en acuaponia (A) y siembra tradicional (ST). Literales minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre los dos diferentes lugares de muestreo.

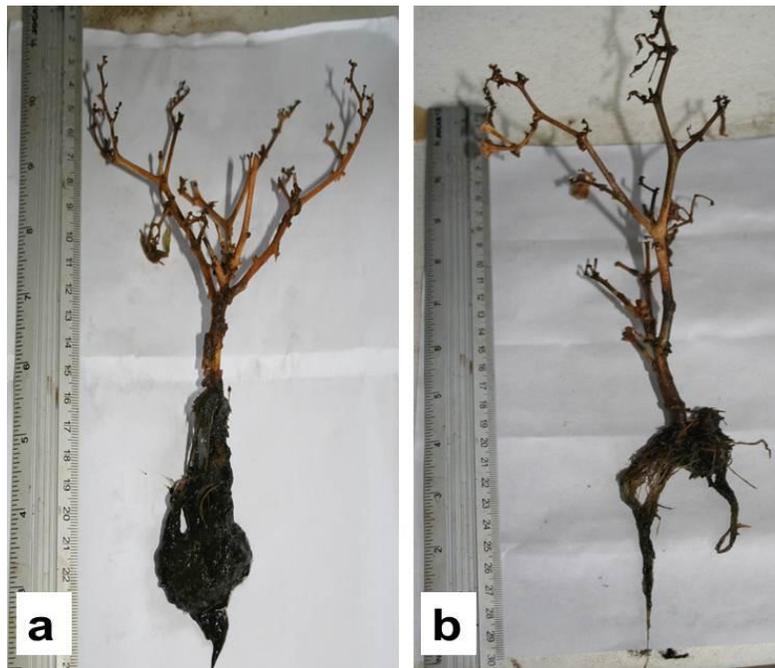


Figura 58. Chile de ornato, raíz con lodo (a) y sin lodo (b).

7.3. Producción de tilapia en acuaponia

De acuerdo a las biometrías realizadas, hubo una ganancia de peso promedio de 206.01 kg del día 1 al 120 (Figura 59), con una tasa de crecimiento de 0.72 g mínimo y 1.9 g como máximo. El peso inicial total de las crías fue un promedio de 0.71 g y final de 206.72 g. La densidad inicial fue de 0.012 y al final de 3.307 kg m⁻³. El factor de conversión alimenticia total de 1.27 y una sobrevivencia de 91.10%. Rakocy *et al.* (2004), encontraron una tasa de crecimiento de 1.7 g y una densidad total de 61.5 kg m⁻³, después de 164 días de cultivo. Asimismo, Shnel *et al.* (2002), reportaron 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.

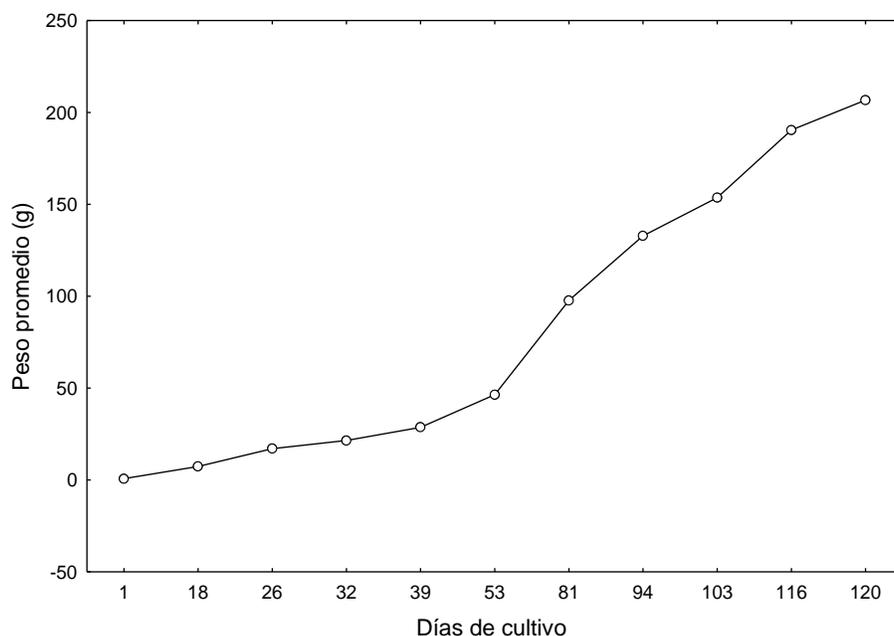


Figura 59. Peso promedio de la tilapia a través del tiempo.

7.4. Criterios para seleccionar plantas de acuerdo a las características del efluente

Los criterios para seleccionar las plantas de acuerdo a las características del efluente son las siguientes:

1. Seleccionar el cultivo de acuerdo a su objetivo, puede ser para:
 - Alimento para consumo humano
 - Alimento para consumo animal,
 - Plantas de ornato
 - Plantas medicinales

2. Plantas de porte bajo o mediano
3. Tolerancia a la salinidad
4. Tolerante a los excesos de elementos tóxicos como el sodio, cloruros, entre otros.

Diversos autores hacen recomendaciones para el manejo de un sistema de acuaponia debido a la gran complejidad que implica mantener en equilibrio peces, plantas y bacterias en un sistema de recirculación acuícola. Por lo anterior, los parámetros de calidad del agua deben ser favorables para estos tres organismos biológicos y deben reflejarse en el desempeño del sistema de acuaponia (Seawright *et al.*, 1998; Rakocy, 2004 y Tyson, 2004).

8. CONCLUSIONES

De acuerdo a la hipótesis general si el efluente salobre del cultivo de tilapia puede ser aprovechado para el cultivo de plantas herbáceas, se acepta parcialmente ya que crecen menos que en agua dulce.

Con respecto a la hipótesis particular 1: las características fisicoquímicas de un efluente salobre de tilapia permiten que sea utilizado para la producción de plantas herbáceas, se encontró que el pH, oxígeno disuelto, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, calcio, magnesio y nitratos, estuvieron dentro de los intervalos permitidos para el cultivo de plantas. Mientras que la conductividad eléctrica, potasio, sodio, relación de absorción de sodio, dureza total, sólidos disueltos totales, amonio y nitritos, variaron a través del tiempo y no siempre estuvieron en los intervalos óptimos. Con respecto a los coliformes totales y fecales, así como las amibas, estuvieron dentro de los intervalos permitidos para el cultivo de plantas, el efluente se clasificó en clase C4 que es una agua de salinidad alta y en muchos casos no es apta para el riego. Sin embargo, puede ser utilizado en cultivos tolerantes a la salinidad. Los resultados obtenidos nos permiten aportar conocimiento sobre el cultivo de plantas herbáceas en condiciones salobres, ya que la mayoría de las investigaciones se han enfocado al uso de agua dulce en cultivos de hortalizas. Este estudio además aportó a las empresas acuícolas alternativas para el reuso del efluente y disminuir el impacto ambiental.

Con respecto a la hipótesis particular 2: las siete especies vegetales herbáceas se desarrollan adecuadamente en condiciones salobres cultivadas en acuaponia. Se acepta parcialmente la hipótesis ya que únicamente la hierbabuena (*Mentha spicata*) mostró crecimiento comparable entre los dos sistemas de siembra.

Para la hipótesis particular 3: Los criterios para seleccionar plantas dependen de las características fisicoquímicas del efluente. Se acepta la hipótesis debido a que no todas las plantas son tolerantes a la salinidad, ya que influye el crecimiento y desarrollo de las plantas, porque la concentración de sales en la solución de suelos disminuye la disponibilidad de agua para que sea absorbida por las raíces de plantas. Por lo que en condiciones de agua salobre las plantas

herbáceas pueden crecer mejor que las plantas de medio y alto porte. Además de considerar el control de pH y la oxigenación en el sistema de hidroponía.

9. LITERATURA CITADA

- Aceves N. L. A., J. F. Juárez L., D. J. Palma L., R. López L., B. Rivera H., J. A. Rincón R., C. Morales R., y A. Hernández R. 2008. Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo del chile jalapeño (*Capsicum annum* var *annuum*) en el estado de Tabasco. Tomo IV. SAGARPA, INIFAP, Colegio de Postgraduados y Gobierno del estado de Tabasco. 44 p.
- Aceves N. E., y V. Palacios O. 1970. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 38 p.
- Alcantar G. G., y L. I. Trejo-Téllez T. 2009. Nutrición de cultivos. Colegio de Postgraduados. Ed. Mundi-Prensa, México. 454 p.
- Alvarado C. D., C. Cháves F., y K. Anna W. 2001. Lechugas hidropónicas. Seminario de Agro Negocios. Facultad de Administración y Contabilidad. Universidad del Pacifico. 12 p.
- Álvarez T. P., C. Ramírez M., y A. Orbe M. 1999. Desarrollo de la acuicultura en México y perspectivas de la acuicultura rural. Red de Acuicultura Rural en Pequeña Escala. pp: 1-38.
- Asiain-Hoyos A., B. Fernández-Díaz., J. L. Reta-Mendiola., y C. A. Suárez-Santacruz. 2011. Manual de acuicultura para la producción de mojarra tilapia (*oreochromis* spp). Colegio de Postgraduados. México. 36 p.
- Avnimelech, Y., and M. Lacher. 1979. A tentative nutrient budget for intensive fish ponds, bamidgeh. Isr. J. Aquac. 31: 3-8.
- Ayers, R. S., and D. Wescot W. 1985. Water quality for agriculture. FAO, Irrigation and Drainage paper 29 Rev. I. Roma, Italia. 174 p.
- Baixauli, S. C., y J. M. Aguilar O. 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas: Aspectos prácticos y experiencias. Serie divulgación técnica. 12 p.
- Barrera, P. P. 2010. Cultivo de lechuga en hidroponía bajo invernadero. Universidad autónoma chapingo. 44 p.
- Bonilla, L. P., E. Ramírez F., R. Ortiz O., y C. Eslava C. 2004. Ecología de las amibas patógenas de vida libre en ambientes acuáticos. *In*: Rosas I., Cravioto A. y Ezcurra E. (eds.). Microbiología ambiental. México. INE-SEMARNAT. 134 p.
- Cajuste, L. J. 1977. Química de los suelos con un enfoque agrícola. Chapingo Colegio de Postgraduados. México. 278 p.
- Camacho A., M. Giles, A. Ortigón., M. Palao., B. Serrano., y O. Velázquez. 2009. Técnicas para el análisis microbiológico de alimentos. 2ª ed. Facultad de Química, UNAM. México. 10 p.

- Castro, L. I. 2011. Caracterización de las aguas y suelos de la red hidrográfica Zumpango-Ixmiquilpan-Zimapán, estado de Hidalgo, México. Hidrociencias Colegio de Postgraduados Montecillo, Texcoco, Estado de México. 207 p.
- Colegio de Postgraduados (COLPOS). S/F. Cultivo de tilapia en estanques rústicos. Manual del participante. Disponible en: http://webmail.radiomaranon.org.pe/redmaranon/archivos/cultivo_de_tilapia_en_estanques_rusticos.pdf. Consultado el 4 de abril del 2012.
- Cortés R. M. L. 2010. Plantas medicinales de mi jardín familiar. Disponible en: http://www.tlahui.com/medic/medic31/herb_xalapa.htm. Consultado el 09 de septiembre del 2012.
- Cuthberg, K. 2008. A south african system. Backyard aquaponics 2: 5-9.
- Department of Water Affairs and Forestry (DWAF).1996. Agricultural Water Use: Aquaculture in South African Water Quality Guidelines. Second edition. Vol. 6. 197 p.
- El-Sayed, A. F. M. 2006. Tilapia culture. Alexandria Univerity. Egypt. 304 p.
- FAO. 1997. Aquaculture development. Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5. Rome, FAO. 40 p.
- Favela E. C., P. Preciado R., y A. Benavides A. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 148 p.
- Gilsanz C. J. 2007. Hidroponía. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. 31 p.
- Gómez C. J. R. 2008. Epazote. Revisión a sus características morfológicas, actividad farmacológica, y biogénesis de su principal principio activo, ascaridol. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas 7: 3-9.
- Google Earth. 2013. US Dept of State Geographer.Data SIO, NOAA. U.S. Navy, NGA. GEBCO.
- Graetz H. A. 1988. Suelos y fertilización. Manuales para educación agropecuaria. Ed. Trillas. México. 80 p.
- Hach Company. 2002. DR/2400 Spectrophotometer Procedure Manual. Loveland, Colorado.
- Hsien-Tsang Su., y M. Quintanilla. 2008. Manual de reproducción del cultivo de tilapia. CENDEPESCA. 68 p.
- Ingle de la Mora G., E. L. Villareal-Delgado., J. L. Arredondo-Figueroa., J. T. Ponce-Palafox., e I. de los A. Barriga-Sosa. 2003. Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura, sometido a diferentes cargas de biomasa de peces. Hidrobiológica 13: 247-253.

- James, J. 2010. Alternative water treatment technologies for an aquaponic system. Disponible en: <Http://water.Usgs.Gov/wrri/09grants/2009vi150b.Html>. Consultado el 30 de junio del 2012.
- Jones, J. W., P. K. Thornton, and J. W. Hansen. 1997. Opportunities for systems approaches at the farm scale. In: P.S. Teng., M. J. Kropff., t. Berge., H.F.M., J. B. Dent., F. P. Lansigan., Van Laar H.H. (eds.). Applications of Systems Approaches at the Farm and Regional Levels. Kluwer Academic Publishers 1: 1-18.
- 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/rep184/vleh/fulltext/acrobat/leon2.pdf>. Consultado el 1 de octubre del 2012.
- López B. O., S. Ramírez G., M. Ramírez G., G. Moreno G., y A. E. Alavarado G. 2006. Agroecología y agricultura orgánica en el trópico. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; Universidad Autónoma de Chiapas, México. 35 p.
- Martinez T. E. 2010. Estudio de factibilidad para ampliar un invernadero dedicado a la producción de nochebuena y otras plantas ornamentales Instituto Politécnico Nacional. México. DF. 137 p.
- Méndez R. 2008. Cultivos orgánicos: Su control biológico en plantas medicinales y aromáticas. 2a ed. Colombia. 183 p.
- 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.
- Moreno I. S/F. Determinación en campos del contenido de bicarbonatos del agua de riego. Disponible en: <Http://www.Horticom.Com/pd/imagenes/66/955/66955.Pdf>. Consultado el 07 de septiembre del 2012.
- Mundo tilapia. 2011. Morfología externa de la tilapia. Disponible en: <Http://www.mundotilapia.es.tl/Morfolog%EDa.htm>. Consultado el 30 de noviembre del 2012.
- Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant Biol. 59: 651-681.
- Murtaza, G., A. Ghafoor, and M. Qadir. 2006. Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cotton-wheat rotation. Agric. Water Manage. 81: 98-114.
- Nelson, L. R. 2005. Aquaranch aquaponic greenhouse project nears completion Aquaponics Journal. 36: 24-25.

- Nicovita. S/F. Manual de crianza tilapia. Disponible en <http://www.Industriaacuicola.Com/biblioteca/tilapia/manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.Pdf>. Consultado en 12 de julio del 2012.
- NOM-001-ECOL-1996. Norma oficial mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México. 35 p.
- 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 Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz. 98 p.
- Parra J. M., G. De Santis., R. Carruyo., N. González, E. J. Montiel R. y A. Alcántara. S/F. Manual de plantas medicinales. Universidad Nacional Experimental Sur del Lago “Jesús María Semprum”. 23 p.
- Payne A. I. 1983. Estuarine and salt tolerant tilapias. En: Hsien-tsang Su y M. Quintanilla. 2008. Manual de reproducción de cultivo de tilapia. CENDEPESCA. 68 p.
- Pérez G. F. y J. B. Martínez L. 1994. Introducción a la fisiología vegetal. Mundi-Prensa ed. Madrid. 217 p.
- Rafiee, G. and C. Saad 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.
- Rafiee, G. R., C. Saad R., M. Kamarudin S., K. Sijam., M. Ismail R. and K. Yusop. 2002. Use of aquaculture wastewaters as nutrient solutions for growth of lettuce (*Lactuca sativa* var longifolia). *Proceeding of Asia-Pacific Conference on marine Science and technology, "Marine Science into the New Millennium"*. Kuala Lumpur, Malaysia. pp: 360.
- Rakocy, J. 2003. Questions and answers. *Aquaponics Journal*. Fourth trimester. 31: 32-34.
- Rakocy, J. E., T. Losordo M. and M. Masser P. 1992. Recirculating aquaculture tank production systems. Southern Regional Aquaculture Center. 1-8.
- Rakocy, J. E. and J. Hargreaves A. 1993. Integration of vegetable hydroponics with fish culture: A review. *In: Wang J. K.s (ed.). Techniques for modern aquaculture. American Society of Agricultural Engineers. Michigan, USA. pp: 112-136.*
- Rakocy, J. E., R.C. Shultz., D.S. Bailey, and E. S. Thoman. 2004. Aquaponic production of tilapia and basil: Comparing a batch and staggered cropping system. *Acta Horticulturae (ISHS)* 648: 63-69.

- Ramírez D., D. Sabogal., P. Jiménez y G. Hurtado 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.
- Resh, H. M. 1991. Hydroponic food production: A definitive guidebook of soilless food growing methods. Fourth ed. Woodbridge Press Publishing Company.Santa Barbara, California. 462 P.
- Resh H. M. 2001. Cultivos hidropónicos.5ª edición. Ediciones Mundi-Presa 558 p.
- Rhoades, J. D. 1972. Quality of water for irrigation. Soil Sci 113 (4): 277-284.
- Rhoades, J. D., F. Chaundi, and S. Lesch. 1999. Soil salinity assessment. Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. Irrig. And drain. Paper 57. FAO. Rome 165 p.
- Richards L. A. 1973. Diagnóstico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos Manual no. 60. Editorial Limusa 172 p.
- Rodríguez D., M. Hoyos., y M. Chang. 2001. Soluciones nutritivas en hidroponía, formulación y preparación. Centro de Investigación de Hidroponía e Investigación Mineral ed. Universidad Agraria La Molina. Lima, Peru. 99 p.
- Saavedra, M. M. A. 2006. Manejo del cultivo de tilapia. Coastal Resources Center. Managua, Nicaragua. 22 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. Disponible en:
[Http://www.funprover.org/formatos/cursos/manual%20buenas%20practicas%20acuicolas.pdf](http://www.funprover.org/formatos/cursos/manual%20buenas%20practicas%20acuicolas.pdf). Consultado el 20 de septiembre del 2012.
- Sánchez-Aldana L. J. A. 2008. Caracterización del flujo de masa de un sistema cerrado, para aprovechamiento de sus efluentes en hidroponía Acuicultura Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada Ensenada, Baja California, México. 129 p.
- Seawrigh, D. E., R. Stickney R. and R. Walker B. 1998. Nutrient dynamics in integrated aquaculture–hydroponics systems. Aquaculture. 160: 215-237.
- Secretaria de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT). 2002. Informe de la situación del medio ambiente en México. Disponible en: <http://www.paot.org.mx/centro/ine->

semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/04_Agua/4.5_Usos/index.htm.
Consultado el 16 de septiembre 2012.

Secretaria de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT). 2010. Compendio de estadísticas ambientales. Calidad del agua conforme a parámetros físicos, químicos y biológicos. Disponible en: http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.58080/ibi_apps/WFServletad33.html Consultado el 06 de noviembre del 2012.

Shnel N., Y. Barak., T. Ezer., Z. Dafni., and J. V. Rijn. 2002. Desing and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system. *Aquacultural Engineering* 26: 191-203.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2010. Un panorama del cultivo del chile. Disponible en: <Http://www.Siap.Gob.Mx/images/stories/infogamas/100705-monogafia-chile.Pdf>. Consultado el 23 de julio del 2012.

Sikawa, D. C. and A. Yakupitiyage 2010. The hydroponic production of lettuce (*lactuca sativa* l) by using hybrid catfish (*clarias macrocephalus* x *c. Gariepinus*) pond water: Potentials and constraints. *Agricultural Water Management*. 97: 1317-1325.

StatSoft I. 2006. Statistica (data analysis software system), version 7.1. East 14th Street Tulsa, OK 74104, USA.

Tacon, A. y I. Forster 2003. Aquafeeds and the environment: Policy implications. *Aquaculture*. 226: 181-189.

Tamames R. 2002. Agricultura de conservación 2002. Un enfoque global. Mundi-Prensa ed. Madrid, España. 207 p.

Timmons, M. B., J. Ebeling M., F. Wheaton W., S. Summerfelt T. and B. Vinci J. 2002. Recirculating aquaculture systems. Northeastern Regional Aquaculture Center. E.U.A. pp: 769.

Tyson, R. V., E. Simone H., J. White M. and E. Lamb M. 2004. Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: The ph levels. *Proceedings of Florida State Horticulture Society*. 117: 79-83.

Vásquez, H. A. 2012. pH. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Campo Cotaxtla. Medellín de bravo, Veracruz. Comentario personal.

Zweig, R. D., J. D. Morton, and M. M. Stewart. 1999. Source water quality for aquaculture, a guide for assessment. *Environmental and social sustainable development, rural development*. 74 p.