

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Departamento de Parasitología Agrícola
Maestría en Ciencias en Protección Vegetal

“USO DE INSECTICIDAS BOTÁNICOS Y CONVENCIONALES
PARA EL CONTROL DE *Myzus persicae* EN LECHUGA (*Lactuca
sativa* L.) EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO, Y SU EFECTO SOBRE
EL DESARROLLO DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)”

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Protección Vegetal

Presenta:

Mayra Lorenza Pérez Gómez



Bajo la supervisión de:

M.C. Oscar Morales Galván

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
COORDINACIÓN DE EXÁMENES PROFESIONALES



Chapingo, Edo. de México; Mayo de 2019.

“USO DE INSECTICIDAS BOTÁNICOS Y CONVENCIONALES PARA EL CONTROL DE *Myzus persicae* EN LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO, Y SU EFECTO SOBRE EL DESARROLLO DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)”

Tesis realizada por Mayra Lorenza Pérez Gómez, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

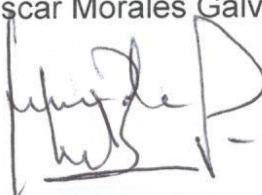
MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCION VEGETAL

Director:



M.C. Óscar Morales Galván

Co-director:



Dr. Joel Pineda Pineda

Asesor:



M.C. Antonio Segura Miranda

Asesor:



Dr. Mateo Vargas Hernández

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
DEDICATORIA	ix
AGRADECIMIENTOS	x
DATOS BIOGRÁFICOS	xi
RESUMEN.....	xii
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. OBJETIVOS.....	16
1.1.1. Objetivo general	16
1.1.2. Objetivos específicos	16
1.2. HIPÓTESIS.....	16
CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
2.1. La acuaponia.....	17
2.2. Tipos de sistemas de acuaponia.....	18
2.2.1. Sistema en balsa flotante	18
2.2.2. Sistema nutrient film technique (NFT)	18
2.2.3. Cama de agregados	19
2.3. Hortalizas cultivadas en acuaponia	19
2.4. La acuaponia en el mundo.....	20
2.5. La acuaponia en México	20
2.6. Cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) en acuaponia.....	21
2.6.1. Importancia.....	21
2.6.2. Generalidades del cultivo de lechuga.....	23
2.6.2.1. Descripción botánica.....	23
2.6.2.2. Crecimiento y desarrollo	23
2.6.2.3. Requerimientos generales para el cultivo de lechuga.....	24

2.6.2.4.	Principales plagas y enfermedades de la lechuga.....	24
2.6.2.5.	Pulgón verde del duraznero <i>Myzus persicae</i>	25
2.6.2.6.	Biología y hábitos de <i>Myzus persicae</i>	26
2.6.2.7.	Principales daños que ocasiona	28
2.7.	Cultivo de Tilapia en acuaponia	28
2.7.1.	Importancia de la tilapia en México	29
2.7.2.	Clasificación taxonómica	30
2.7.3.	Características	30
2.7.4.	Ciclo de vida.....	30
2.7.5.	Requerimientos nutricionales.....	31
2.7.6.	Parámetros fisicoquímicos del agua.....	32
2.7.7.	Factores que causan estrés en Tilapia	33
2.8.	Productos evaluados para el control de <i>Myzus persicae</i>	34
2.8.1.	Mustang Max®.....	34
2.8.2.	Beleaf	35
2.8.3.	Neemix 4.5	35
2.8.4.	Ultralux S	36
2.8.5.	Progranic Gamma	37
	Bibliografía	38
CAPITULO III. USO DE INSECTICIDAS BOTÁNICOS Y CONVENCIONALES PARA EL CONTROL DE <i>Myzus persicae</i> EN LECHUGA (<i>Lactuca sativa</i> L.) EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO, Y SU EFECTO SOBRE EL DESARROLLO DE TILAPIA (<i>Oreochromis niloticus</i>).....		44
3.1.	INTRODUCCIÓN	46
3.2.	MATERIALES Y MÉTODOS	47
3.2.1.	Ubicación del experimento	47
3.2.2.	Unidad experimental.....	47
3.2.3.	Especie vegetal cultivada.....	48

3.2.4.	Especie animal cultivada.....	48
3.2.5.	Diseño experimental	49
3.2.6.	Tratamientos aplicados	49
3.2.7.	Variables evaluadas.....	50
3.2.7.1.	Biometría de peces	50
3.2.7.2.	Efectividad biológica de los productos	51
3.2.8.	Establecimiento y manejo del experimento.....	51
3.2.8.1.	Limpieza y desinfección del sistema	51
3.2.8.2.	Siembra y manejo de peces	52
3.2.8.3.	Trasplante y riego	53
3.2.8.4.	Registro de parámetros en la solución	54
3.2.8.5.	Infestación de plantas	54
3.2.8.6.	Aplicación de tratamientos	54
3.2.9.	Toma de muestras	55
3.2.10.	Análisis de datos.....	55
3.3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
3.3.1.	Efectividad biológica para el control de <i>Myzus persicae</i>	56
3.3.2.	Variables biométricas de Tilapia <i>Oreochromis niloticus</i>	57
3.3.2.1.	Peso	57
3.3.2.2.	Longitud total	58
3.3.2.3.	Alto del cuerpo.....	59
3.3.3.	Concentración de insecticidas en la solución acuapónica.....	60
3.3.4.	Correlación entre parámetros físicos y biométricos de tilapia.	61
3.3.5.	Correlación entre parámetros químicos de la solución acuapónica y biométricos de tilapia.....	63
3.3.5.1.	Compuestos nitrogenados y Fósforo	63
3.3.5.2.	Concentración de Oxígeno disuelto.....	64
3.3.5.3.	Potencial de hidrógeno (pH)	65

3.3.5.4.	Temperatura de la solución	66
3.3.5.5.	Conductividad eléctrica.....	67
3.4.	CONCLUSIONES	68
	Bibliografía	69

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Principales variedades de lechuga <i>Lactuca sativa</i> y fechas de cultivo en México (SAGARPA, 2015).	22
Cuadro 2.	Características biométricas más representativas de la tilapia <i>Oreochromis</i> spp. (Salazar, 2013).	31
Cuadro 3.	Niveles de proteína bruta en raciones completas para tilapias, recomendados para un crecimiento máximo (Llanes et al., 2006).	31
Cuadro 4.	Requerimientos necesarios para la alimentación de la tilapia (Morales, 2003).	32
Cuadro 5.	Parámetros fisicoquímicos del agua óptimos para el cultivo de tilapia (SEDAP, 2006).	32
Cuadro 6.	Tratamientos empleados para evaluar la eficacia en el control del pulgón <i>Myzus persicae</i> y su efecto en el desarrollo de tilapia <i>Oreochromis niloticus</i> . Chapingo, Estado de México.	49
Cuadro 7.	Relación del peso y la cantidad de alimento proporcionada diariamente a cada unidad experimental.	53
Cuadro 8.	Número y fecha de aplicación de cada uno de los tratamientos a cada una de las unidades experimentales para evaluar la efectividad biológica en el control de <i>Myzus persicae</i> y su efecto en el desarrollo de tilapia. Chapingo, Texcoco, Estado de México.	55
Cuadro 9.	Promedio de pulgones <i>Myzus persicae</i> en una muestra aleatoria de 12 hojas de lechuga. Chapingo, Texcoco, Estado de México.	57
Cuadro 10.	Peso promedio por tilapia <i>Oreochromis niloticus</i> expuestos a insecticidas botánicos y convencionales. Chapingo, Texcoco, Estado de México.	58
Cuadro 11.	Longitud promedio por tilapia <i>Oreochromis niloticus</i> expuesta a insecticidas botánicos y convencionales. Chapingo, Texcoco, Estado de México.	59

Cuadro 12. Altura promedio por tilapia <i>Oreochromis niloticus</i> expuestas a insecticidas botánicos y convencionales. Chapingo, Texcoco, Estado de México.	60
Cuadro 13. Correlación de Pearson entre la biometría de <i>Oreochromis niloticus</i> y los parámetros evaluados de la solución acuapónica durante el desarrollo del experimento.	62
Cuadro 14. Correlación de Pearson entre la biometría de peces y los parámetros evaluados de la solución acuapónica durante el desarrollo del experimento (Continuación Cuadro 13).	62
Cuadro 15. Correlación de Pearson (r) entre la biometría de peces y los parámetros evaluados de la solución acuapónica durante el desarrollo del experimento.	63
Cuadro 16. Concentración promedio de Fósforo y Nitrógeno (N-NH_4^+ y NO_3^-) en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en la solución acuapónica de las unidades experimentales.	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de un sistema de acuaponia (Bevilacqua, 2017)	17
Figura 2. Sistema de acuaponia en balsa flotante a pequeña escala (FAO, 2014).....	18
Figura 3. Sistema de acuaponia con NFT a pequeña escala (FAO, 2014).....	19
Figura 4. Sistema de acuaponia con cama de agregados a pequeña escala (FAO, 2014).	19
Figura 5. Principales países productores de lechuga <i>Lactuca sativa</i> a nivel mundial, cultivada en diferentes sistemas (FAOSTAT, 2016).....	21
Figura 6. Principales entidades de México, productoras de lechuga <i>Lactuca sativa</i> , cultivada bajo diferentes sistemas (SIAP, 2018).	22
Figura 7. Ciclo de vida del pulgón del durazno <i>Myzus persicae</i> (Field y Blackman, 2003).....	27
Figura 8. Principales entidades productoras de mojarra en México (incluye tilapia) durante 2017 (SAGARPA, 2017).....	29
Figura 9. Componentes de cada unidad de acuaponia; a) unidad ensamblada, b) tanque para la cría de Tilapia, c) tina con tezontle y sistema de riego. Chapingo, Texcoco, Estado de México.....	48

Figura 10. Distribución de los tratamientos conforme a un diseño experimental completamente al azar dentro del invernadero. T= tratamiento y R= repetición. Chapingo, Texcoco, Estado de México.....	49
Figura 11. Muestreo de peces a) y b) Toma de la talla (largo y alto) de tilapia con ayuda de un vernier, b) medición del peso de tilapia <i>Oreochromis niloticus</i> , Chapingo, Texcoco, Estado de México.....	50
Figura 12. Planta y hoja de lechuga de la variedad Starfighter infestada con <i>Myzus persicae</i> ; Chapingo, Texcoco, Estado de México.....	51
Figura 13. a) Sistema de riego sobre la cama de cultivo, b) Tinas para el cultivo de peces, c) Llenado de tinas para la siembra de tilapia. Chapingo, Texcoco, Estado de México.	52
Figura 14. Aspectos relacionados con el establecimiento de la cría de tilapia. a) Bolsas con tilapia en la Granja Acuícola Zacatepec, Morelos, b) conteo y siembra de alevines, y c) Tina con alevines establecidos. Chapingo, Texcoco, Estado de México.	52
Figura 15. a) Lechuga Var. Parris, b) Cama de cultivo con la distribución de plantas y sistema de riego y c) distribución general de las unidades experimentales dentro del invernadero. Chapingo, Texcoco, Estado de México.	53
Figura 16. Aspersión de los productos para evaluar su efectividad biológica en el control de <i>Myzus persicae</i> . a) Dosificación del tratamiento de Sales potásicas, b) aplicación de tratamientos a las unidades experimentales. Chapingo, Texcoco, Estado de México.....	55
Figura 17. Comportamiento de la concentración del Oxígeno disuelto (OD) en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, en la solución de cada uno de los tratamientos durante el desarrollo del experimento.	65
Figura 18. Comportamiento del pH en la solución de cada uno de los tratamientos durante el desarrollo del experimento. Chapingo, Texcoco, Estado de México.	66
Figura 19. Comportamiento de la temperatura en el agua de cada uno de los tratamientos, durante el desarrollo del experimento. Chapingo, Texcoco, Estado de México.	67
Figura 20. Conductividad Eléctrica (mS/cm) en la solución acuapónica de cada uno de los tratamientos durante el desarrollo del experimento. Chapingo, Texcoco, Estado de México.....	67

DEDICATORIA

A Dios

Por mi vida, mi familia, amigos y por todo el aprendizaje acumulado de mis experiencias.

A mis padres

Juan Pérez Pérez y Hermelinda Gómez Sántiz, quienes con su amor, cariño y apoyo incondicional me han ayudado en todos los aspectos de mi vida y por ser mi ejemplo a seguir.

A mis hermanos

Elmar, quien me ha brindado su cariño y apoyo incondicional en todo momento y de quien tengo muchas cosas que admirar y aprender; Silvia Guadalupe, a quien debo agradecer el ejemplo de persona que es; Juan Nayver, Nelson Abistrain y Hilda Patricia, por estar conmigo en los momentos más difíciles y felices de mi vida.

A mis Abuelas y tías

María y Julia, quienes han sido un ejemplo de trabajo y fortaleza en mi vida; Candelaria, Dominga, María y Virginia, por su apoyo y por estar conmigo en todo momento.

A mi familia

Por ser la base de mi formación.

A mis amigos y compañeros

Mayra

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por brindarme la oportunidad y el apoyo de concluir una parte más de mi formación.

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Parasitología Agrícola y al Posgrado en Protección Vegetal por el apoyo necesario para la conclusión de esta etapa en mi formación académica.

A cada uno de mis Profesores que me brindaron parte de sus conocimientos para mi formación académica y personal

Al M. C. Oscar Morales Galván y al Dr. Joel Pineda Pineda por brindarme su valioso apoyo, fundamental para la realización del proyecto de tesis.

Al M.C. Antonio Segura Miranda y al Dr. Mateo Vargas Hernández por su apoyo para la realización del presente trabajo.

A la Ing. Ingrid Naarai Sánchez Sánchez, Ing. Elmar A. Pérez Gómez, Ing. Dagoberto, Ing. Gloria Luna Alejandro, Agr. Gloria Sánchez Jiménez, Ing. José A. Schlickmann Tank, Sra. Maribel, Ing. Adriana Requena, Sra. Regina, Ing. Gustavo R. Rodríguez, Ing. Jalil Méndez Estrada, Ing. Gerardo Abundez, por su valiosa participación en la realización del presente trabajo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

- Nombre: Mayra L. Pérez Gómez
- Fecha de nacimiento: 10 de Agosto de 1992
- Lugar de nacimiento: Chamula, Chiapas, México
- CURP: PEGM920810MCSRMY01
- Profesión: Agr. En Horticultura Protegida
- Cédula profesional: 9996571



Desarrollo Académico

- Preparatoria del Estado No. 1
- Agronomía en Horticultura protegida, en la Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN

“USO DE INSECTICIDAS BOTÁNICOS Y CONVENCIONALES PARA EL CONTROL DE *Myzus persicae* EN LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO Y SU EFECTO SOBRE EL DESARROLLO DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)”

"USE OF BOTANICAL AND CONVENTIONAL INSECTICIDES FOR THE CONTROL OF *Myzus persicae* IN LETTUCE (*Lactuca sativa* L.) IN AN AQUAPONIC SYSTEM AND ITS EFFECT ON THE DEVELOPMENT OF TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)"

Mayra **Pérez-Gómez**¹; Óscar **Morales-Galván**²

En un sistema acuapónico se cultivan conjuntamente plantas y peces, y al igual que en otros agroecosistemas, se presentan plagas que afectan la producción, para los cuales el uso de agroquímicos se limita a aquellos que sean seguros para los peces. En esta investigación se evaluó el uso de insecticidas botánicos y convencionales para el control de *Myzus persicae* en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema acuapónico, y se determinó el efecto en el crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus*). Para lo anterior, se realizaron aspersiones de los insecticidas al cultivo a intervalos de dos semanas, como parámetros se consideraron la densidad de áfidos por planta y las mediciones biométricas a los peces. Otras variables que se evaluaron fueron temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica, concentración de Nitrógeno (NO_3^- y NH_4^+) y de fósforo, así como, concentración de cipermetrina y flonicamid en la solución nutritiva. Los resultados indican diferencias significativas entre los tratamientos, con respecto al control de *Myzus persicae*, siendo flonicamid el producto más efectivo, mientras que el menor control se obtuvo con la mezcla de extracto de ajo, chile y canela. Por otra parte, con relación al efecto de los tratamientos en el desarrollo de los peces, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos con respecto a la biometría de peces, a pesar de que se detectaron 0.009 ppm de flonicamid en la solución nutritiva.

Palabras clave: biometría, toxicidad, plaguicidas, efectividad biológica

ABSTRACT

In an aquaponic system plants and fish are grown together, and as in other agroecosystems, there are pests that affect production, for which the use of agrochemicals is limited to those that are safe for fish. In this research the use of botanical and conventional insecticides was evaluated for the control of *Myzus persicae* in the lettuce crop (*Lactuca sativa* L.) in an aquaponic system, and the effect on the growth of tilapia (*Oreochromis niloticus*) was determined. Four applications of insecticides were made to the crop at intervals of two weeks, as parameters the density of aphids per plant and the biometric measurements to the fish were considered. Other variables that were evaluated were temperature, dissolved oxygen, pH and electrical conductivity, concentration of Nitrogen (NO_3^- and NH_4^+) and of phosphorus, as well as a concentration of cypermethrin and flonicamid in the nutrient solution. The results indicate significant differences between the treatments, regarding the control of *Myzus persicae*, being flonicamid the most effective product, while the minimum control was obtained with the extract of garlic, pepper and cinnamon. On the other hand, in relation to the effect of treatments on fish development, no significant differences were found between treatments concerning fish biometry, although the fact that 0.009 ppm of flonicamid was detected in the nutrient solution.

Keywords: Biometry, toxicity, pesticides, biological effectivity.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

El continuo aumento de la población humana hace que sea necesaria la expansión e intensificación de actuales sistemas de producción de alimentos (Munguia *et al.*, 2015). También el desarrollo de nuevos sistemas de producción está ganando cada vez mayor importancia, dentro de estos, los sistemas acuapónicos, en los cuales se cultivan plantas y peces en un sistema de recirculación, donde existe una mínima pérdida de agua producto de la evaporación y transpiración de las plantas; los desechos metabólicos generados por los peces y los restos de alimentos son utilizados por las plantas para transformarlos en materia orgánica (Rakocy, 1999).

En estos sistemas se mantiene un ecosistema independiente, por ello es normal la presencia de microorganismos que ayudan al funcionamiento del sistema, sin embargo, también existen organismos que pueden ocasionar enfermedades a las plantas, peces y al hombre. Entre estos, los insectos y microorganismos plaga pueden limitar el rendimiento y calidad de las cosechas, por lo que una práctica común es el uso de plaguicidas químicos, sin embargo, en sistemas acuapónicos existen fuertes restricciones, ya que el uso de químicos para el control de plagas podría ser perjudicial para el desarrollo de los peces y de algunas bacterias benéficas. Así también, existen otros métodos que podrían ser efectivos para el control de plagas, no obstante, éstos pueden no estar justificados económicamente, ya que muchos de estos son a pequeña escala.

Por lo anterior uno de los desafíos es determinar estrategias de protección y métodos de control de plagas y enfermedades adecuados a estos sistemas, ya que la aplicación de productos químicos para el control de patógenos en los cultivos podría afectar el desarrollo óptimo de los peces u otros organismos benéficos del sistema.

En ese sentido, la lechuga es una de las principales hortalizas cultivadas en estos sistemas a nivel nacional y mundial, ya que se ha adaptado a estos sistemas, sin embargo se tienen problemas fitosanitarios entre los que destacan áfidos (*Myzus persicae* y *Macrosiphum euphorbiae*), trozadores (*Spodoptera frugiperda*), trips (*Frankliniella occidentalis*), mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), mildiu vellosa (*Bremia lactucae*), fusarium (*Fusarium oxysporum*), moho gris (*Botrytis cinérea*), pudrición blanda (*Sclerotinia sclerotiorum*), pudrición suave (*Erwinia carotovora*), entre otras (Michael, 2002). Por otro lado la Tilapia es una de las especies acuícolas de mayor importancia en México para el consumo humano (SAGARPA, 2015); por lo que la posible presencia de residuos de plaguicidas es un factor de preocupación de inocuidad por los riesgos que pudieran presentar los residuos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Evaluar el control de *Myzus persicae* mediante el uso de insecticidas botánicos y convencionales en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.), cultivada en un sistema acuapónico, y medir el efecto de éstos en el crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus*).

1.1.2. Objetivos específicos

Determinar el porcentaje de eficacia de los insecticidas en la reducción de las poblaciones de *Myzus persicae*, considerando sus densidades poblacionales, para diferenciar el mejor producto para el control de esta plaga.

Identificar si la aplicación de insecticidas botánicos y convencionales, así como las características físicas del agua, tienen algún efecto en el crecimiento y desarrollo de tilapia cultivada en un sistema de acuaponia con cama de agregados.

Analizar la solución acuapónica de los tratamientos con zeta-cipermetrina y flonicamid para determinar la concentración de estos en el agua y si están en concentraciones tóxicas para los peces.

1.2. HIPÓTESIS

Los productos orgánicos y convencionales tienen el mismo porcentaje de eficacia en el control de *Myzus persicae*.

El uso de neem (*Azadirachta indica*), ajo (*Allium sativum*), sales potásicas y flonicamid para el control de *Myzus persicae* en el cultivo de lechuga, no afectan el crecimiento de los peces.

La presencia de residuos de insecticidas en la solución acuapónica causa efectos negativos en el crecimiento de peces.

CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. La acuaponia

La acuaponia puede definirse como la bio-integración de la acuicultura y la hidroponía (Rakocy, 2006; David, 2015), generando dos productos a la vez, peces y plantas; los desechos generados por los peces son transformados por bacterias en nutrientes que son aprovechados por las plantas (Figura 1) (Diver, 2006).

En una unidad de acuaponia, el agua pasa primero a través de un filtro mecánico que captura los residuos sólidos, y luego por un biofiltro que oxida el amoníaco a nitrato. Posteriormente, el agua viaja a través de las camas de cultivo, en donde estas, absorben los nutrientes, y finalmente el agua retorna al estanque de los peces. Este proceso de eliminación de nutrientes evita que en el agua se acumule Nitrógeno en sus formas tóxicas (amoníaco y nitrito) y permite que los peces, las plantas y las bacterias prosperen en simbiosis. Por lo tanto, todos los organismos trabajan juntos para crear un bio-sistema integrado (FAO, 2014).

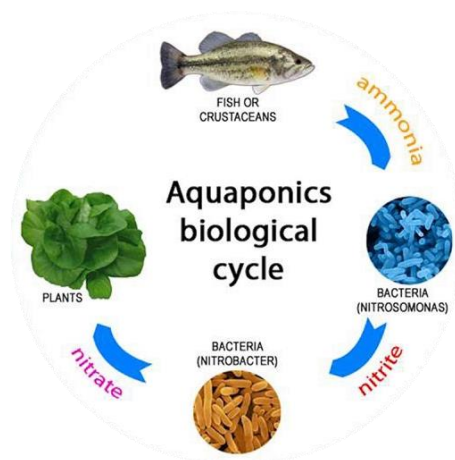


Figura 1. Componentes de un sistema de acuaponia (Bevilacqua, 2017)

2.2. Tipos de sistemas de acuaponia

2.2.1. Sistema en balsa flotante

En general, los tanques tienen 30 cm de profundidad y están llenos de agua, y las plantas flotan en láminas de plástico que acceden al agua a través de las aberturas (Figura 2). Las raíces de la planta crecen directamente en el agua que fluye continuamente desde y hacia los tanques de peces, con una tasa de cambio volumétrico de aproximadamente el 30% por hora; por el manejo y uso eficiente de espacios es ideal para sistemas a gran escala (Thorarinsdottir, 2015).

Este sistema es muy estable ya que las plantas pueden soportar cortes de energía temporales debido al volumen constante de agua disponible que contiene tanto oxígeno como nutrientes (Thorarinsdottir, 2015).

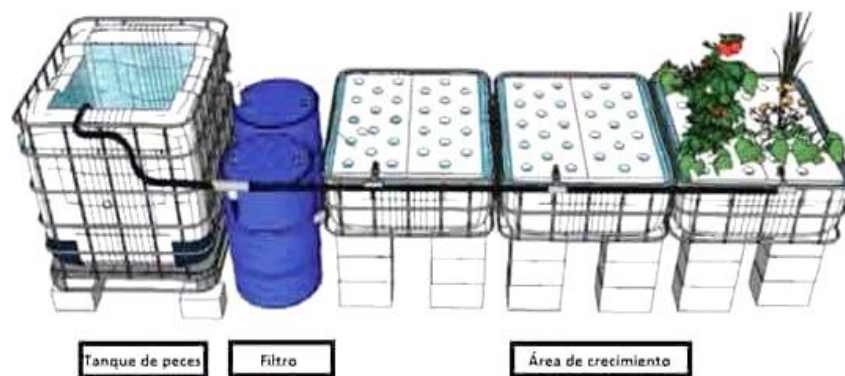


Figura 2. Sistema de acuaponia en balsa flotante a pequeña escala (FAO, 2014)

2.2.2. Sistema nutrient film technique (NFT)

Es un método en el que las plantas se cultivan en canales largos y estrechos (Caló, 2011), una delgada capa de agua fluye continuamente por cada canal, proporcionando a las raíces de las plantas agua, nutrientes y oxígeno (Figura 3). Al igual que con el sistema de balsas, el agua fluye continuamente desde el tanque de peces, a través de los componentes de filtración, a través de los canales NFT donde las plantas crecen y luego regresa al tanque de peces. Sin embargo, en NFT, se requiere un biofiltro separado porque no hay una gran cantidad de agua o superficie para que vivan las bacterias benéficas (Ramírez *et al.*, 2008).

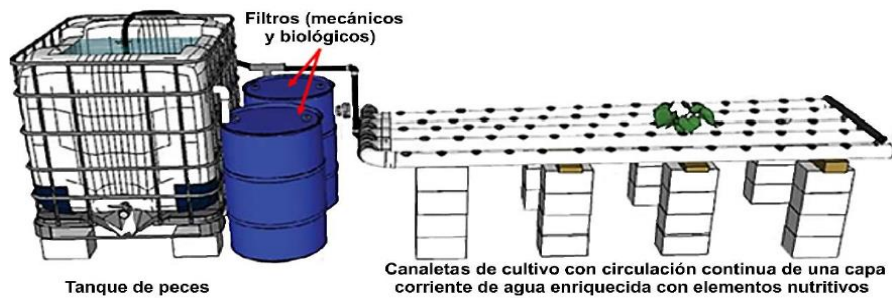


Figura 3. Sistema de acuaponía con NFT a pequeña escala (FAO, 2014).

2.2.3. Cama de agregados

Los sistemas de acuaponía con camas de agregados, se usan muy frecuentemente para sistemas de traspatio y son quizás la técnica más simple y más utilizada para sistemas a pequeña escala. Es un sistema con camas llenas de material sólido (grava, arcilla expandida o piedra pómez) que proporcionan una superficie adicional para la biofiltración/nitrificación, la mineralización y, el crecimiento eficiente de las plantas (Figura 4) (Thorarinsdottir, 2015).

Las camas de cultivo se riegan periódicamente con el agua de los estanques de los peces, recirculando y oxigenando así el agua, así también la cama se usa para la eliminación de desechos sólidos a densidades bajas de población de peces (Thorarinsdottir, 2015).

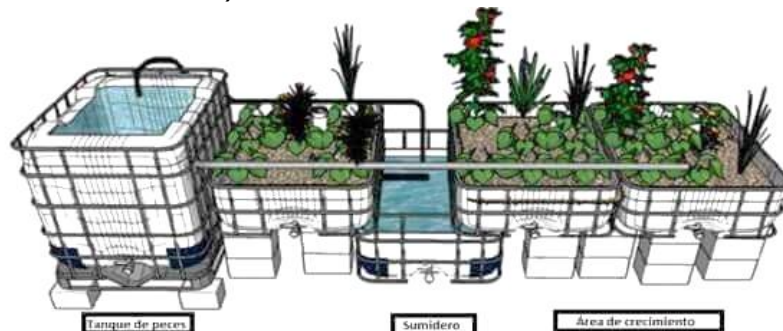


Figura 4. Sistema de acuaponía con cama de agregados a pequeña escala (FAO, 2014).

2.3. Hortalizas cultivadas en acuaponía

Más de 150 especies de hortalizas, aromáticas, ornamentales y árboles pequeños han sido cultivados en sistemas de acuaponía, así como hortalizas con

baja demanda nutrimental como lechuga, acelga, albahaca, menta, perejil, cilantro, cebollín, berros, entre otros. Así también, están las plantas con alta demanda de nutrientes, tales como jitomate, berenjena, pepino, calabacita, fresa y pimiento. Otras plantas con demandas medias de nutrientes son: coles, coliflor y brócoli, remolacha, cebolla y zanahoria, mismas que también pueden ser cultivadas en un sistema acuapónico (Caló, 2011; Diver, 2006; FAO, 2014)

2.4. La acuaponia en el mundo

Actualmente, en diversos países la acuaponia se encuentra en vías de crecimiento y experimentación, aunque cada vez son más los que se suman a su implementación debido a problemas de limitación del agua, así como, a las regulaciones por la disposición de la misma cuando se encuentra contaminada por desechos. La tecnología se ha venido mejorando y adaptando a distintas condiciones relacionadas con el clima, las especies de cultivo, regulaciones legales, costos de producción, entre otras (Gómez *et al.*, 2015).

En América, países como Canadá, Estados Unidos, México, Brasil, Chile, Colombia y Perú han desarrollado sistemas acuapónicos de forma comercial, mientras que, en Europa y Asia, la acuaponia está presente en España, Israel, Alemania, India, China, Suiza, Inglaterra, Islandia, Corea del Sur y Australia (Thorilex, 2019).

2.5. La acuaponia en México

En México desde hace varios años se establecieron sistemas experimentales y granjas comerciales de acuaponia, debido a que muestra alto potencial para el desarrollo de esta actividad (Gómez *et al.*, 2015), por ejemplo, por cada tonelada de pescado que se produce en acuaponia por año, se pueden producir alrededor de siete toneladas de algún cultivo vegetal (CICESE, 2008). Los sistemas acuapónicos comerciales se pueden encontrar en Jalisco, Baja California Sur, Durango, Sonora, Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Estado de México, Oaxaca,

Ciudad de México, Guanajuato y Querétaro, aunados a los módulos acuapónicos destinados a la investigación (Bofish, 2019).

2.6. Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) en acuaponia

2.6.1. Importancia

Dado que pimientos y jitomate requieren un nivel de nutrición mucho más alto, este sistema es mayormente aplicado a hortalizas de hojas, tal es el caso de lechugas, espinacas y acelgas (Stover, 2015). La lechuga es una de las especies más cultivadas en sistemas de acuaponia por sus bajos requerimientos nutricionales (Ramirez *et al.*, 2008), esta especie presenta una gran diversidad, derivada de los diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento de las plantas. Por lo anterior, es una especie que se puede cultivar durante todo el año, tan sólo en 2016, se obtuvo una producción aproximada de 25 millones de toneladas a nivel mundial; de las cuales China y Estados Unidos aportan casi el 80 % del total, seguidos por India, España e Italia con el 10 %; México ocupa el 9º lugar mundial en producción (Figura 5).

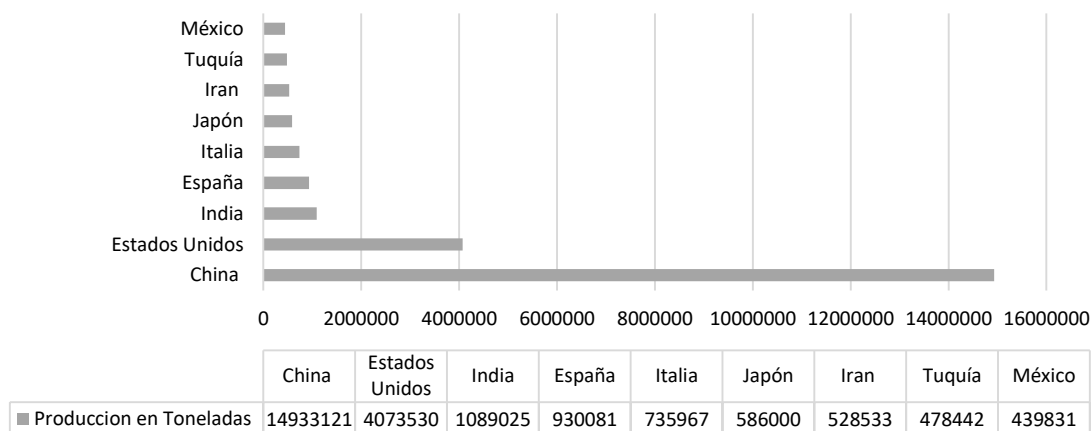


Figura 5. Principales países productores de lechuga *Lactuca sativa* a nivel mundial, cultivada en diferentes sistemas (FAOSTAT, 2016).

Conforme a la información del SIAP (2017) en México durante 2016 se cultivaron 20,559 ha con un rendimiento promedio de 21.94 t/ha, resultando un valor de la producción de 1, 479,562 pesos. La producción de lechuga se concentra en los meses de agosto y septiembre, con más de 400 mil toneladas anuales, y es

Estados Unidos el principal mercado de exportación, así como algunos países de Centroamérica como Belice y Nicaragua

Las entidades de México que destacan en la producción de lechuga son Guanajuato, Zacatecas, Puebla y Aguascalientes, los cuales cubren la mayor parte del consumo per cápita de 2.5 kg (Figura 6) (SIAP, 2018).

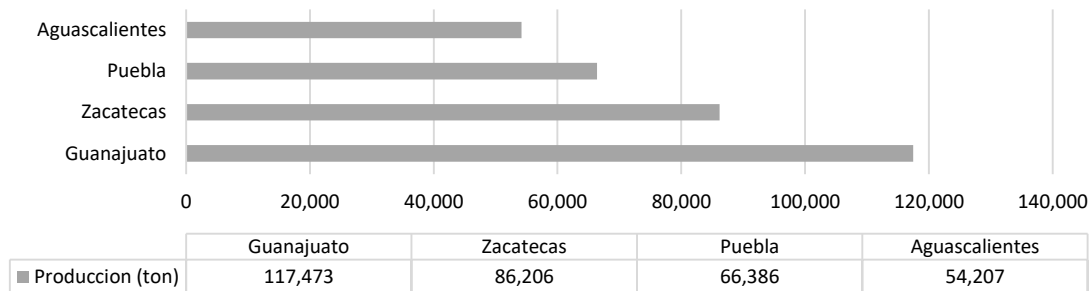


Figura 6. Principales entidades de México, productoras de lechuga *Lactuca sativa*, cultivada bajo diferentes sistemas (SIAP, 2018).

Debido a que el principal uso de la lechuga es para la elaboración de ensaladas, el mejoramiento genético ha buscado generar variedades con diferentes características morfológicas, como es la forma de hoja, color, tamaño, entre otros. En ese sentido, existe una gran cantidad de variedades con requerimientos climáticos y características agronómicas particulares (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales variedades de lechuga *Lactuca sativa* y fechas de cultivo en México (SAGARPA, 2015).

Variedad	Trasplante	Cosecha
Annie	Noviembre	Enero
Annie, TopGun	Diciembre /Enero	Febrero/Marzo
Salinas	Febrero	Abril
Fallgreen	Marzo	Mayo
Fallgreen,Express	Abril/Mayo/Junio	Junio/Julio/Agosto
Annie, Impact	Agosto	15 de Octubre
Annie,Warrior	Septiembre	Noviembre
Honcho,Annie,Warrior	Octubre	Diciembre

2.6.2. Generalidades del cultivo de lechuga

2.6.2.1. Descripción botánica

Taxonómicamente, la lechuga es una planta anual autógama que se encuentra dentro de la familia Compositae, cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa* L. (Maroto *et al.*, 2000). La lechuga posee un sistema radicular pivotante y muy ramificado, que en riego por goteo sobrepasa los 35 cm de profundidad (Rincón, 2001). Las hojas lisas y sin peciolo emergen alternamente en forma de roseta de un tallo corto que no se ramifica, con el borde de forma redondeada, risada o aserrada, formando, según la variedad un brote más o menos apretado; en fases vegetativas avanzadas el color puede variar de verde amarillo hasta el morado claro. Cuando existen altas temperaturas y días largos el tallo se alarga y ramifica finalizando el extremo en una inflorescencia con capítulos florales amarillos dispuestos en racimos o corimbos. Las flores y las semillas están provistas de un papus plumoso (Rincón, 2008).

2.6.2.2. Crecimiento y desarrollo

Durante la fase de la imbibición, el agua hidrata las paredes y membranas celulares lo cual activa el crecimiento radicular, el cual posteriormente rompe la testa y comienza la elongación y aparición de los cotiledones, todo este proceso es dependiente de las reservas de las semillas y de la humedad presente. Una vez que la plántula emerge y recibe luz, se convierte en autótrofa, la germinación de semillas ocurre en un rango óptimo de 18 a 21 °C (Saavedra, 2017).

Saavedra (2017) señala que el crecimiento de la lechuga puede ser dividida en cuatro etapas:

Plántula: la radícula emerge y se convierte en raíz pivotante, los cotiledones emergen y se expanden, se forman las dos primeras hojas verdaderas; lo que ocurre a las dos semanas posteriores a la emergencia.

Roseta: la plántula continúa generando hojas verdaderas, siendo cada hoja nueva más ancha que la precedente; estas hojas son producidas en un tallo corto y forman una roseta plana.

Encabezamiento: las plantas forman hojas individuales en una sucesión, pero la tasa de formación incrementa con aumentos de la intensidad de luz recibida a una temperatura constante y también aumenta cuando la luz es constante y la temperatura incrementa.

Reproductivo: los órganos reproductivos de la planta son formados en su desarrollo temprano, aunque su crecimiento se genera después del término del ciclo vegetativo. El tallo floral se alarga, emergiendo del centro de la cabeza o roseta, produciendo una flor terminal, la cual limita la altura final de la planta. El tallo floral genera ramificaciones, formando las floraciones secundaria y terciaria. La inflorescencia de la lechuga es llamada capítulo, conteniendo aproximadamente 24 floretes.

2.6.2.3. Requerimientos generales para el cultivo de lechuga

De manera general, la lechuga requiere de las siguientes condiciones ambientales y edáficas (Rincón, 2008; Jaramillo *et al.*, 2016):

Temperatura: la temperatura de germinación oscila entre 20 y 26 °C, con óptimas de 24 °C. Bajo estas condiciones las plántulas emergen en dos a cuatro días. Para los materiales de clima frío y frío moderado, durante la fase de crecimiento del cultivo se requieren temperaturas entre 14 y 18 °C con máximas de 24 °C y mínimas de 7 °C, pues para la formación de cabezas la lechuga exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche.

Humedad Relativa: La humedad relativa óptima para la lechuga es del 60 al 80 %, aunque, la alta humedad favorece el desarrollo de enfermedades

Luz: 12- 15 horas al día.

Suelos: Ligeros, arenoso-limosos, con buen drenaje, situando el pH óptimo entre 6.8 – 7.4, conductividad menor a 3.5 dS/m.

2.6.2.4. Principales plagas y enfermedades de la lechuga

El cultivo de lechuga es afectado por 75 enfermedades conocidas, entre las que destacan mildiu (*Bremia lactucae*), esclerotinia (*Sclerotinia sclerotiorum* y

Sclerotinia minor), *Rhizoctonia solani*, fusariosis (*Fusarium oxysporum*), moho gris (*Botrytis cinerea*), cenicilla (*Erysiphe cichoracearum* DC.), pudrición blanda de la lechuga (*Erwinia carotovora*), Virus Mosaico de la alfalfa (AMV) y Amarillamiento Western de la remolacha (BWYV) (Blancard *et al.*, 2005).

En cuanto a plagas insectiles, las especies que pueden ocasionar pérdidas económicas son los áfidos *Nasonovia ribisnigri* (Mosley), *Myzus persicae* (Sulzer) y *Macrosiphum euphorbiae*; trips de las flores *Frankliniella occidentalis*; minadores de hoja *Liriomyza* spp; moscas blancas *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) y *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Michael *et al.*, 2002).

2.6.2.5. Pulgón verde del duraznero *Myzus persicae*

Los pulgones son insectos pertenecientes al orden Hemiptera, suborden Auchenorrhyncha y familia Aphididae.

Huevos: no obstante su reproducción en México es casi exclusivamente asexual, por partenogénesis, en las regiones frías se producen huevos, mismos que miden aproximadamente 0.6 mm de largo y 0.3 mm de ancho, tienen forma elíptica, son de color verde amarillento pero conforme a las condiciones ambientales pueden adquirir coloraciones oscuras (Capinera, 2001).

Ninfas: las ninfas inicialmente son verdosas, pero pronto se vuelven amarillentas, se parecen mucho a los adultos vivíparos (Capinera, 2001).

Áptera vivípara: de color muy variable, lo más frecuente es de un color verde claro uniforme, también los hay amarillos, pardos e incluso rojizos (aparte de la variación de color determinada genéticamente, cualquier genotipo será más pigmentado en condiciones de frío (Helmut y Harrington, 2017). Una característica del género *Myzus* es la presencia en la cabeza de tubérculos, en el lado interno de la base de las antenas, por lo que la frente presenta un perfil excavado. Los sifones son largos y cilíndricos; a veces presentan un ligero hinchamiento en la porción distal, que es muy oscura. La longitud de las antenas

es inferior a la del cuerpo del pulgón; la longitud del cuerpo va de 1.2 a 2.3 mm (Barabagallo *et al.*, 2002; Peña,1992).

Alada vivípara: la cabeza y el tórax son marrones o negros; el abdomen presenta una amplia placa dorsal sobre los terguitos 4º, 5º y 6º. Longitud del cuerpo de 1.2 a 2.2 mm (Barbagallo *et al.*, 2002).

2.6.2.6. Biología y hábitos de *Myzus persicae*

Se ha determinado que en climas templados a cálidos esta especie puede llegar a producir entre 17 a 20 generaciones por partenogénesis. En climas fríos, *M. persicae* pasa el invierno como huevo en el duraznero *Prunus* sp., en primavera, cuando la planta hospedera rompe la dormancia, los huevos eclosionan. Luego las ninfas comienzan a alimentarse de hojas y tallos nuevos. Después de 3-4 generaciones ápteras (sin alas) en el duraznero, se forman adultos alados, que migran hacia hospederos de verano como la papa. En climas fríos, los adultos alados comienzan a regresar al duraznero en otoño, para aparearse y ovipositar sus huevos. Estos huevos de forma elíptica, miden en promedio 4 a 5 mm y son de color amarillo, luego verde hasta llegar a color negro (Navarro, 2017).

Myzus persicae tiende a formar grandes colonias que incluyen todos los grupos de edad, sobre el envés de las hojas tiernas, brotes y a veces en hojas senescentes amarillentas. Sólo hay reproducción partenogenética y no se producen machos en climas cálidos (Saunders *et al.*, 1988; Trabanino, 1998).

En regiones con inviernos fríos hay una migración de otoño para el huésped primario, leñoso, donde las formas sexuales se aparean y ponen huevos de hibernación resistentes al frío (Figura 7). (1) Las fundadoras que emergen de este huevo (2) dan lugar a una sucesión de generaciones partenogenéticas de hembras hasta la primavera y el verano. Las hembras partenogenéticas son vivíparas y pueden ser aladas o ápteras, la primera generación alada (3) migra a hospedadores secundarios, que generalmente son plantas herbáceas que incluyen muchos cultivos. Las formas aladas se producen en otoño (4) en

respuesta a la disminución del fotoperíodo y la temperatura, y estos migran al hospedante primario para completar el ciclo. En climas cálidos, la parte sexual del ciclo de vida se pierde o se inhibe y la reproducción partenogenética se produce durante todo el año, tal es el caso de México. (5) La pérdida de la fase sexual (anholocíclica) también puede ser debido a un cambio genético. Los clones anholocíclicos (6) ya no tienen la capacidad de producir una generación sexual, pero pueden producir machos, por lo que todavía existe un vínculo genético potencial (7) entre los dos rasgos del ciclo de vida. Cualquier clon de áfido, ya sea holocíclico o anholocíclico, se puede mantener indefinidamente en el laboratorio al privarlo de los estímulos necesarios para producir las formas sexuales (Barbagallo *et al.*, 2002; Blackman y Eastop, 2000).

En condiciones de laboratorio se ha determinado que *M. persicae* necesita pocos días para alcanzar el estado adulto, requiriendo 24 h más para comenzar su fase reproductiva que oscila entre 13 y 14 días, periodo donde es capaz de multiplicarse. A las 48 horas después de terminar su fase reproductiva, el insecto muere. La longevidad de *M. persicae* oscila entre 16 - 17 días y su ciclo de vida es menor de un mes (Duarte, 2011). Horsfall, (1924) menciona que la duración promedio de vida es de 23 días, su tasa de reproducción es de 1.6 ninfas por hembra/día. Se determinó que el número máximo de generaciones observadas anualmente durante estos estudios es de 20 a 21.

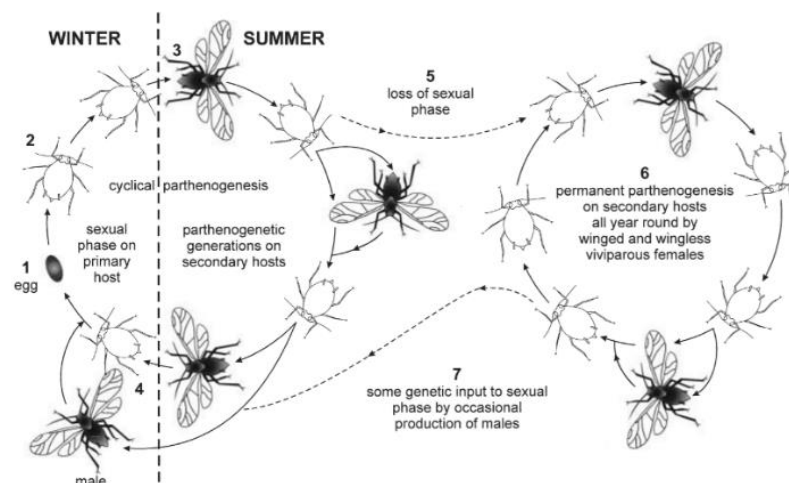


Figura 7. Ciclo de vida del pulgón del durazno *Myzus persicae* (Field y Blackman, 2003).

2.6.2.7. Principales daños que ocasiona

Los áfidos verdes del durazno pueden alcanzar densidades muy altas en el tejido de las plantas jóvenes, causando estrés hídrico, marchitamiento y una tasa de crecimiento reducida de la planta. Así también, la infestación prolongada del áfido puede causar una reducción apreciable en el rendimiento de los cultivos de raíces y los cultivos de follaje (Capinera, 2001). Los adultos y ninfas succionan savia de las hojas, brotes, tallos y flores, al mismo tiempo inyecta saliva tóxica, que produce deformación de las hojas, las cuales se enrollan y encrespan debido a la acción de la saliva. Los ataques severos causan marchitez de brotes jóvenes, las hojas se decoloran y pueden caerse prematuramente, el crecimiento se retarda (Barbagallo *et al.*, 2002).

Por otra parte, los áfidos excretan un líquido azucarado que cubre el follaje y sirve como sustrato para el desarrollo del hongo conocido como fumagina (*Capnodium* sp), el cual interfiere con la fotosíntesis y disminuye la calidad de la cosecha. Además, los áfidos son vectores de virus del tipo no persistentes, tal es el caso de los virus CMV (Cucumber Mosaic Virus), PRSV (Papaya Ring Spot Virus) y TMV (Virus Mosaico del Tabaco) los cuales se han convertido en una gran limitante en la producción de hortalizas (Trabanino, 1997; Saunders *et al.*, 1998; Bolaños, 2001; Laguna *et al.*, 2004; Peña, 1992).

2.7. Cultivo de Tilapia en acuaponia

Varias especies acuícolas han registrado excelentes tasas de crecimiento en unidades de acuaponia, entre las que destacan: tilapia (*Tilapia* sp. y *Oreochromis* sp.), carpa común (*Cyprinus carpio*), carpa plateada (*Hypophthalmichthys molitrix*), carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*), la perca gigante (*Lates niloticus*), bagre (*Bagre* sp.), trucha (*Oncorhynchus mykiss*), salmón (*Salmo* sp.), pez gato (*Ictalurus punctatus*) y langostino (*Macrobrachium rosenbergii*). Caló (2011) señala que un principio básico, en términos de sostenibilidad y hablando de peces para el consumo humano, es tratar de usar especies herbívoras u omnívoras y evitar las carnívoras.

Diver (2006) menciona que la mayoría de los sistemas de acuaponía comerciales en América del Norte se basan en la tilapia, ya que este pez tiene muchas características que lo hacen muy adecuado para estos sistemas, entre ellas, tolera fluctuaciones drásticas en las condiciones del agua (pH, temperatura, oxígeno y sólidos disueltos), así como también tienen un rápido crecimiento y buen nivel de desechos.

2.7.1. Importancia de la tilapia en México

La producción de tilapia en México, aumentó significativamente en los últimos años, debido al impulso de las políticas públicas y el esfuerzo de los productores, por lo que el país genera 25% del total en América Latina, y hoy se cultiva en 30 estados de la República Mexicana (FAO, 2018; Herbey, 2015).

La mojarra por su volumen se encuentra posicionada en el lugar 3 de la producción pesquera en México, sin embargo, por su valor, se ubica en segundo lugar. La tasa media de crecimiento anual de la producción en los últimos 10 años es de 10.23% (Figura 8) (SAGARPA, 2017).

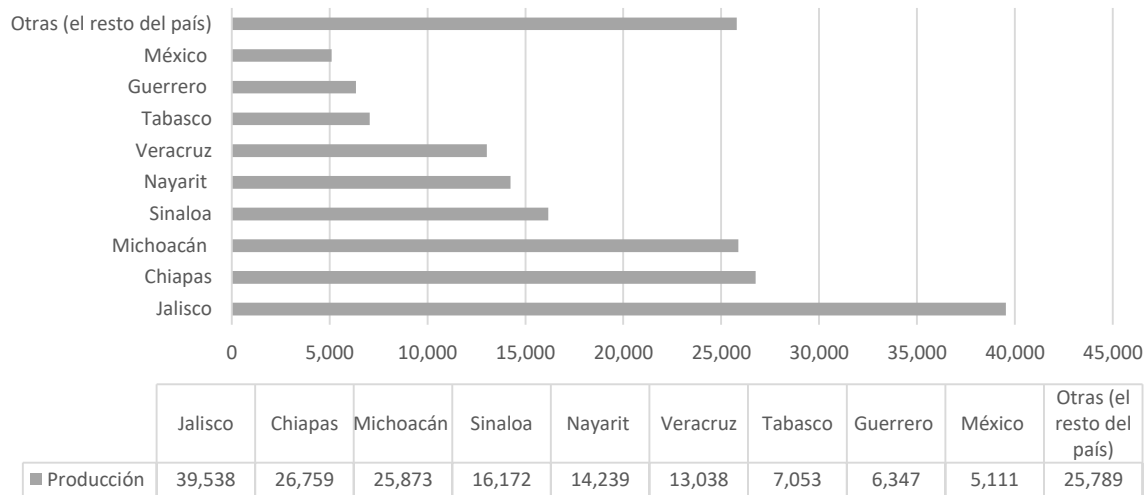


Figura 8. Principales entidades productoras de mojarra en México (incluye tilapia) durante 2017 (SAGARPA, 2017).

2.7.2. Clasificación taxonómica

El género *Tilapia* es de origen africano, pertenece a la familia de los cíclidos, está representado por cerca de 100 especies, la mayor parte de ellas se encuentran en África y algunas en Asia menor; con base en lo citado por Morales (2003), su clasificación es la siguiente:

Phylum	Chordata
Subphylum	Vertebrata
Superclase	Gnathostomata
Serie	Pisces
Clase	Actinopterygii
Orden	Perciformes
Suborden	Percioidei
Familia	Cichlidae
Género	<i>Tilapia</i>
	<i>Oreochromis</i> Especies <i>aureus</i> , <i>niloticus</i> , <i>mossambicus</i>

2.7.3. Características

Cuerpo robusto comprimido y discoidal, raramente alargado, boca protráctil con labios gruesos; mandíbulas anchas con dientes cónicos y en ocasiones incisivos; aleta dorsal en forma de cresta con espinas y radios en su parte terminal; aleta caudal redonda y trunca. El macho tiene dos orificios en la papila genital: el ano y el orificio urogenital, mientras que la hembra posee tres: el ano, el poro genital y el orificio urinario (INAPESCA, 2018).

2.7.4. Ciclo de vida

La incubación es bucal y dura de 3-6 días, los machos alcanzan la madurez sexual a los 4 a 6 meses, mientras que, las hembras requieren de 3 a 5 meses (INAPESCA, 2018).

Las etapas de desarrollo de *Oreochromis aureus* según Salazar (2013) son:

Desarrollo embrionario, comprende la fecundación, división celular y eclosión;

Alevín, dura alrededor de tres a cinco días, presenta un tamaño de 0.5 a 1 cm, y posee un saco vitelino en su vientre, el cual es fuente de alimentación durante varios días;

Cría, se denomina de esta manera al pez cuando absorbió por completo el saco vitelino y comienza a alimentarse por sí mismo;

Juvenil, el organismo sigue creciendo, sus necesidades nutritivas se van diferenciando y se asemejan más a las de un organismo adulto, son peces con una talla que varían entre 7 y 10 cm, la cual, alcanza los dos meses de edad;

Adulto, es la última etapa de desarrollo, el pez alcanza su madurez sexual y presenta todas las características distintivas de su especie, los individuos presentan tallas de 10 a 18 cm y pesos entre 70 y 100 gramos, características que obtienen alrededor de los 3.5 meses de edad en su hábitat.

Cuadro 2. Características biométricas más representativas de la tilapia *Oreochromis* spp. (Salazar, 2013).

Estadio	Talla (cm)	Peso (g)	Tiempo (días)
Huevo	0.2 - .03	0.01	3 – 5
Alevín	0.7 - 1.0	0.10 - 0.12	10 – 15
Cría	3 – 5	0.5 - 4.7	15 – 30
Juvenil	7 – 12	10 - 50	45 – 60
Adulto	10 – 18	70 - 100	70 - 90

2.7.5. Requerimientos nutricionales

Los requerimientos de proteína se han reportado en un rango de 26.8 a 41.3 %, según la fase de desarrollo biológico (Cuadro 3). El requerimiento de fósforo ha sido estimado en 0.75 – 0.46 %, sin exceder una relación P/Ca de 1:1.5 para reducir los posibles efectos contaminantes del fósforo (Torres y Hurtado, 2012).

Cuadro 3. Niveles de proteína bruta en raciones completas para tilapias, recomendados para un crecimiento máximo (Llanes et al., 2006).

Rango de peso (g)	% con respecto al peso de la cría
Larvas a 1	40-45
1-10	35-40
10 – 50	35
50 – 250	30
250 a talla comercial	25-30

Además de las proteínas, la alimentación que se proporciona a la tilapia debe incluir otros elementos críticos, tal es el caso de carbohidratos, lípidos y fibra, en el Cuadro 4 se incluyen los requerimientos nutritivos para el cultivo de tilapia.

Cuadro 4. Requerimientos necesarios para la alimentación de la tilapia (Morales, 2003).

Nutriente	Cría 1 0.5 g	Cría 2 0.5 a 10 g	Juvenil 10 a 30 g	Reproductor 30 a 300 g
Proteína cruda ¹	50 %	35.4 %	30.3 %	30 %
Carbohidratos ²	25 %	25 %	25 %	25 %
Lípidos crudos ³	10 %	10 %	6 a 10 %	8 %
Fibra	8 %	8 %	8 a 10 %	8 %

¹ La proteína cruda debe contener aminoácidos esenciales como arginina, lisina y metionina.

² Los carbohidratos digestibles deben ser 25% de la dieta.

³ Los lípidos crudos deben contener ácido linoleico.

2.7.6. Parámetros fisicoquímicos del agua

Estas propiedades influyen en los aspectos productivos y reproductivos de los peces (Cuadro 5), por lo que es importante que los parámetros del agua se mantengan dentro de los rangos óptimos para el buen desarrollo de los peces (SEDAP, 2006).

Cuadro 5. Parámetros fisicoquímicos del agua óptimos para el cultivo de tilapia (SEDAP, 2006).

Características	Requerimientos
Temperatura	Máxima: 36 °C Óptima: 28 a 32 °C Mínima: 14 °C
Oxígeno	Óptimo: 5 ppm - Mínimo: 2 ppm
pH	Óptimo: 6.5 a 7.5
Bióxido de Carbono	50 a 100 ppm
Dureza	100 a 170 ppm
Turbidez	Mínimo de 4 cm
Transparencia	45 cm

2.7.7. Factores que causan estrés en Tilapia

Los agentes más comunes que ocasionan estrés en el cultivo de esta especie son: alimentación deficiente, alta densidad de cultivo, baja oxigenación del agua, condiciones físico-químicas del agua no óptima, fotoperiodo y/o termoperiodo no adecuado, vibraciones y ruidos, entre otros. De este modo, la existencia de una situación de estrés crónico en el cultivo origina respuestas primarias, secundarias y terciarias típicas de una situación de estrés. Al final, los animales mostrarán un retraso o nulo crecimiento por la existencia de un metabolismo alterado, fallos en la reproducción por un mal funcionamiento del sistema reproductor y una alta susceptibilidad a agentes patógenos debido a una disminución en el sistema inmunitario (Auro y Ocampo, 1999).

Estrés físico: cuando se expone a la tilapia, perca, trucha arcoíris, o algunos ciprinodóntidos a temperaturas entre 30 y 45 °C; el epitelio lamelar de las branquias se retrae, las células pilares se colapsan, el hígado muestra una esteatosis y en el páncreas se observan cambios autolíticos, mientras que en las células tubulares hay cambios degenerativos. El estrés por frío también ha sido estudiado en tilapias (*Oreochromis mossambicus*), cuando éstas se exponen a temperaturas de 5 °C se presenta una contracción del epitelio lamelar. La acidez del agua, producida por disminución de oxígeno y aumento de bióxido de carbono o por la presencia de alta cantidad de material orgánico, es también causa importante de estrés en los peces (Auro y Ocampo, 1999).

Estrés químico: los contaminantes químicos producen cambios bioquímicos y estructurales que constituyen una patología muy especial. El efecto de contaminantes endógenos como el amonio está muy bien documentado como tóxico para los peces, en este sentido, muchos investigadores han demostrado que la toxicidad está determinada por la cantidad de amonio no ionizado (NH_3 y NH_4OH) en el agua, más que por la forma ionizada (NH_4^+), y que el grado de disociación está controlado primeramente por el pH y la temperatura del agua. En esos casos se presenta hiperplasia del epitelio branquial, así como cambios degenerativos y hemorragia en hígado (Rodríguez, 2017).

Estrés nutricional: en sistemas de cultivo intensivos, son comunes los problemas de degradación o pérdida de nutrimentos o de vitaminas en el alimento como consecuencia de su mal manejo, que conduce a una patología muy específica: la enfermedad nutricional de las branquias, asociada con alimentos de iniciación (Auro y Ocampo, 1999).

2.8. Productos evaluados para el control de *Myzus persicae*

2.8.1. Mustang Max®

Nombre común: Zeta-Cypermctrina

Nombre químico (IUPAC): Mezcla de los esteroisómeros del (S)- α -ciano-3-fenoxibencil (1RS,3RS;1RS,3SR)-3-(2,2-diclorovinil)-2,2-dimetil ciclopropanecarboxilato.

Grupo toxicológico: Piretroide

Acción biocida: Insecticida y acaricida

Formulación: concentrado emulsionable (CE)

Concentración l. A.: 12 %, equivalente a 109 g·L⁻¹

Uso: agrícola, urbano, industrial, pecuario y doméstico

Modo de acción: contacto, estomacal y residual; actúa sobre el sistema nervioso y disuade la alimentación.

Mecanismo de acción: afecta el equilibrio de los iones de sodio (moduladores de los canales de sodio) y potasio negativamente, alargando los impulsos en la membrana de las células. Esta influencia afecta la transmisión normal de los impulsos nerviosos causando repetidas descargas en los nervios de los insectos, lo cual resulta en parálisis y por último la muerte del insecto.

Solubilidad en agua: baja.

Bioacumulación: alta a mediana.

Persistencia: ligeramente persistente (1 a 4 semanas)

Datos de ecotoxicidad: es extremadamente tóxico para peces e invertebrados acuáticos. En estos organismos el metabolismo es muy lento, lo cual favorece la toxicidad; para la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) la CL₅₀ es de 0.69 µg/L a un periodo de exposición de 96 horas (FMC, 2015).

2.8.2. Beleaf

Nombre común: Flonicamid

Nombre químico: Flonicamid (N-(cianometil) -4- (trifluorometil) -3-piridincarboxamida (CA)

Grupo toxicológico: Piridina

Acción biocida: insecticida

Formulación: gránulo soluble

Concentración I. A: 500 g/kg

Modo de acción: tiene actividad translaminar en aplicación al follaje y actividad sistémica vía acropétala aplicado al suelo. Actúa por contacto e ingestión.

Mecanismo de acción: pertenece al grupo de las piridinocarboxamidas y actúa bloqueando el canal de potasio tipo “A” (Grupo 9 moduladores de canal TRPV de órgano Chordotonal), esto interrumpe la alimentación y otros comportamientos en los insectos objetivo.

Solubilidad en agua: alta

Bioacumulación: no tiene potencial de bioacumulación basado en su valor de log Kow de -0,24 a 20° C.

Persistencia: estudios de simulación en los sistemas de agua-sedimento demostrado flonicamid tiene persistencia moderada en agua y en todo el sistema, con una vida media de 30 – 37 y 36 – 44 días, respectivamente. Flonicamid muestra muy baja a baja persistencia en distintos tipos de suelo (vida media en el rango de 0,7 – 1,8 días).

Datos de ecotoxicidad: este producto es prácticamente no tóxico para los organismos acuáticos; para trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) la CL₅₀ es a una concentración > 100 mg·L⁻¹ durante un periodo de 96 horas (FMC, 2017)

2.8.3. Neemix 4.5

Nombre común: azadiractina

Clasificación: botánico/ limonoides

Acción biocida: insecticida y acaricidas.

Categoría toxicológica: ligeramente tóxico (IV).

Formulación: concentrado emulsionable

Concentración I. A.: 4.5%, equivalente a 47.61 gr·L⁻¹ de Azadiractina

Modo de acción: es un producto multisitio, interrumpe la muda e inhibe el crecimiento y la alimentación.

Mecanismo de acción: La proteína responsable de la actividad biológica es desconocida.

Solubilidad en agua: moderada

Bioacumulación: ligera, no se considera que se acumule en organismos acuáticos como los peces.

Persistencia: azadiractina exhibe una degradación rápida y poca persistencia en el suelo.

Datos ecotoxicológicos: este producto es peligroso para peces y vertebrados acuáticos, en trucha (*Oncorhynchus mykiss*) la CL₅₀ a 96 horas es de 0.48 mg/L y se recomienda no aplicar directamente al agua (SummitAgro, 2016)

2.8.4. Ultralux S

Nombre común: sales potásicas de ácidos grasos

Nombre químico: no aplica

Acción biocida: insecticida y acaricida

Categoría toxicológica: ligeramente toxico (IV)

Formulación: líquido soluble.

Concentración I. A.: 70 % en peso, respectivamente.

Modo de acción: actúa por contacto, destruyendo la membrana celular de insectos, ácaros y ninfas, así como disolviendo la quitina del exoesqueleto del insecto. Debido a su capacidad para disolver la quitina, permite aumentar la sensibilidad de los insectos frente a cualquier agroquímico e incluso llegar a deshidratarlos provocando su muerte.

Mecanismo de acción: disuelve la capa de cera que protegen el integumento, penetra y rompe la matriz de lipoproteínas de la cutícula y membranas celulares, distorsiona la permeabilidad y fisiología celular causando el derrame de líquidos corporales y deshidratación.

Bioacumulación: es un producto biodegradable.

Datos ecotoxicológicos: producto toxico a peces y a otros organismos acuáticos (Ultraquimia, 2011)

2.8.5. Progranic Gamma

Nombre común: Extracto de Ajo, extracto de Chile y extracto de Canela.

Nombre químico: no aplica

Clasificación: botánico,

Acción biocida: insecticida

Formulación: liquido soluble

Concentración I. A.: extracto de ajo (25 %, equivalente a 251.75 g de i.a. $\cdot$ L⁻¹), chile picante (25 %, equivalente a 251.75g de i.a. $\cdot$ L⁻¹) y canela (10 %, equivalente a 100.70 g de i.a. $\cdot$ L⁻¹).

Uso: agrícola

Modo de acción: repelente e irritante.

Mecanismo de acción: los compuestos del producto constituyen una señal inequívoca para el insecto que le dificulta encontrar su fuente de alimento, provoca repelencia y excitación del sistema nervioso que le dificulta el vuelo y la ovoposición, el efecto irritante induce a los insectos a salir de sus refugios, facilitando su control.

Solubilidad en agua: alta (100%).

Bioacumulación: es un producto biodegradable.

Datos ecotoxicologicos: DL₅₀ para peces ND, No es toxico a peces u otros organismos acuáticos, no contamina fuentes de agua (Ultraquimia, 2013)

Bibliografía

- Auro, A., & Ocampo, L. (1999). *Diagnostico del estrés en peces*. México: UNAM. Obtenido de <http://www.medigraphic.com/pdfs/vetmex/vm-1999/vm994k.pdf>
- Barabagallo, S., Cavedi, P., Pascualini, E., & Patti, I. (2002). *Pulgones de los principales cultivos frutales*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Bevilacqua, G. (28 de Noviembre de 2017). Seminario Acuaponia - ingeniería en Acuicultura UNAB. Santiago , Chile: TV Acuario.
- Blackman, R. L., & Eastop, V. F. (2000). *Aphids on the World's Crops an Identification and Information Guide*. London, Uk.: WILEY.
- Blancard, D., Lot, H., & Maisonneuve, B. (2005). *Enfermedades de las lechugas: Identificar, Conocer, Controlar*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Bofish. (2019). *Proyectos-Nuestro portafolio*. Jalisco: BOFISH. Obtenido de <https://www.acuaponia.com/portafolio>
- Bolaños, H. A. (2001). *Introducción a la Olericultura*. San José, Costa Rica: reimpr. de la 1. ed. EUNED.
- Caló, P. (2011). *Introducción a la Acuaponia*. Argentina: Centro Nacional de Desarrollo Acuícola- CENADAC. Obtenido de <http://chilorg.chil.me/download-doc/86262>
- Capinera, J. (2001). Green Peach Aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Insecta: Hemiptera: Aphididae). *IFAS extension, University of Florida*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/237506755_Green_Peach_Aphid_Myzus_persicae_Sulzer_Insecta_Hemiptera_Aphididae1
- CICESE. (2008). *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE)*. . México: Gaceta electrónica, CICESE.
- David, L. J. (2015). *Commercial aquaponics production and profitability: findings from an international survey*. USA: ELSEVIER. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848614004724>

- Diver, S. (2006). *Aquaponics—Integration of Hydroponics with Aquaculture*. Estados Unidos: ATTRA. Obtenido de <https://backyardaquaponics.com/Travis/aquaponic.pdf>
- Duarte, L. (2011). *BIOLOGÍA Y TABLA DE VIDA DE Myzus persicae (SULZER) (HEMIPTERA: APHIDIDAE) EN CONDICIONES DE LABORATORIO*. Mayabeque, Cuba: Rev. Protección Veg. v.26 n.1 La Habana. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522011000100001
- FAO. (2014). *Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming*. ROMA: FAO FISHERIES AND AQUACULTURE TECHNICAL PAPER. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i4021e.pdf>
- FAO. (2018). *Actualidad agropecuaria de América Latina y el Caribe-México produce el 25% de tilapia en América Latina*. México: Notimex. Obtenido de <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/1095352/>
- FAOSTAT. (2016). *Cultivos*. Obtenido de Datos: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Field, L., & Blackman, R. (2003). Insecticide resistance in the aphid *Myzus persicae* (Sulzer): chromosome location and epigenetic effects on esterase gene expression in clonal lineages. *Biological Journal of the Linnean Society*, 107–113. With 3 figures. Obtenido de https://watermark.silverchair.com/j.1095-8312.2003.00178.x.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAcwggKDBgkqhkiG9w0BBwagggJ0MIICcAIBADCCAmkGCSqGSIb3DQEHAeBgIghkgBZQMEAS4wEQQMOY1luM2oFKnh82XRAgEQgIIcoj0F64dLfk6O2BLxx5Yjb-YmSPn1qH
- FMC. (2015). *Hoja de datos de Seguridad: MUSTANG MAX*. México: FMC Agroquímica de México, S. de R.L. de C.V.
- FMC. (2017). *Hoja de seguridad: Beleaf*. México: FMC Agroquímica de México, S. de R.L. de C.V.
- Gómez, F., Ortega, N., Trejo, L., Sanchez, R., Salazar, E., & Salazar, J. (2015). *La acuaponia: Alternativa sustentable y potencial para producción de alimentos en México*. Texcoco, México: AP Agro-Productividad. Obtenido de http://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2015/AGROPRODUCTIVIDAD_III_2015.pdf

- Helmut, E., & Harrington, R. (2017). *Aphids as crops pest*. London, UK.: CABI. Obtenido de https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=tH46DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR3&ots=QzV8sPAkzw&sig=hPRaum3jx1Wbyip6YNkjQAHn2ig&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Horsfall, J. L. (1924). *Life history studies of Myzus persicae Sulzer*. State College : Pennsylvania State College Agricultural Experiment Station. 16 pp.
- Herbey, R. E. (2015). *NÁLISIS TÉCNICO DE LA PRODUCCIÓN DE TILAPIA (Oreochromis niloticus) Y LECHUGA (Lactuca sativa) EN DOS SISTEMAS DE ACUAPONÍA*. México: IPN. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/282723374_ANALISIS_TECNICO_DE_LA_PRODUCCION_DE_TILAPIA_Oreochromis_niloticus_Y_LECHUGA_Lactuca_sativa_EN_DOS_SISTEMAS_DE_ACUAPONIATECHNICAL_ANALYSIS_OF_TILAPIA_Oreochromis_niloticus_AND_LETTUCE_Lactuca_sativa_P
- INAPESCA. (2018). *Acuacultura- tilapia: Acuacultura comercial*. Méxco: Instituto nacional de pesca y acuicultura. Obtenido de <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuacultura-tilapia>
- Jaramillo, J., Aguilar, P., Tamayo, P., Arguello, E., & Guzmán, M. (2016). *Modelo Tecnológico para el Cultivo de Lechuga Bajo Buenas Prácticas Agrícolas en el Oriente Antioqueño*. Medellín, Colombia: Fotomontajes S.A.S. Obtenido de <https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/MANUAL%20DEL%20CULTIVO%20DE%20LA%20LECHUGA.pdf>
- Laguna, T., Pavón, J., & Nicaragua, A. K. (2004). *Manejo integrado de plagas: Cultivo de a chiltoma. Guía MIP*. Managua, Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Obtenido de <http://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENH10L181.pdf>
- Llanes, J., Toledo, J., Fernández, A., & Lazo, J. (2006). *NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN DE TILAPIAS. Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA)*, 51. Obtenido de <http://www.actaf.co.cu/revistas/Revista%20ACPA/2006/REVISTA%2004/27%20NUTRICION%20TILAPIAS.pdf>
- Maroto, J. V., Gomez, M., & Soria, B. (2000). *La Lechuga y la Escarola*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.

- Michael, R., Subbarao, K., Raid, R., & Kurtz, E. (2002). *Plagas y enfermedades de la lechuga*. Madrid, España: The American Phytopathological Society, Ediciones Mundi-Prensa.
- Morales, A. (2003). *Biología, cultivo y comercialización de la tilapia*. México: AGT Editor, S. A.
- Munguia, F. e. (2015). *Perspective for aquaponic systems: (Omics) Technologies for Microbial Community Analysis*. Ed. Abd. El-Latif Hesham. Queretaro, México: División de investigación y Posgrado de la Facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Queretaro.
- Navarro, P. (2017). *Entomología - Plaga en cultivos: Pulgón verde del duraznero*. Chile: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS – INIA. Obtenido de <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/FichasTecnicasSanidadVegetal/Ficha%2058%20Pulgon%20verde%20del%20duraznero.pdf>
- Peña, M. R. (1992). *Afidos como vectores de virus en México-Identificación de Afidos de importancia agrícola*. Mexico: Centro de Fitopatología.
- Rakocy, J. E. (1999). *The status of aquaponics Part 1*. USA: Aquaculture Magazine, Julio-Agosto.
- Rakocy, J. E. (2006). *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture*. Estados Unidos de America: AgriLife Extension Texas A&M System. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Michael_Masser/publication/284496499_Recirculating_aquaculture_tank_production_systems_Aquaponics-Integrating_fish_and_plant_culture/links/573c714f08aea45ee841900a/Recirculating-aquaculture-tank-production-systems-Aqua
- Ramirez, D., Daniel, S., Jiménez, P., & Hurtado, H. (2008). *La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible*. Nueva Granada, Colombia: Revista Facultad de Ciencias Basicas, Universidad Militar de Nueva Granada.
- Rincón, S. L. (2001). *Necesidades Hidricas, absorción de nutrientes y respuesta a la fertilización nitrogenada de la lechuga iceberg*. Tesis doctoral.
- Rincón, S. L. (2008). *La Fertirrigación de la Lechuga*. España: IMIDA-Ediciones Mundi-Prensa.

- Rodriguez, d. V. (2017). *RESPUESTAS FISIOLÓGICAS DE PECES SOMETIDOS A ESTRÉS*. Universidad La Laguna.
- Saavedra, G. (2017). *Manual de producción de Lechuga*. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), BOLETÍN INIA / N° 09. Obtenido de <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/09%20Manual%20Lechuga.pdf>
- SAGARPA. (2015). *SAGARAgenda Técnica Agrícola de Guanajuato* (Vols. Volumen: 978-607-7668-55-8). México: ISBN, Segunda edición.
- SAGARPA. (2017). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2017 de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca*. Sinaloa, México: CONAPESCA. Obtenido de https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgppe/2017/ANUARIO_ESTADISTICO_2017.pdf
- Salazar, B. M. (2013). *El cultivo de Tilapia, sistemas de cultivo*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Saunders, J. L., Coto, D., & King, A. (1988). *Plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agrónomo Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Obtenido de <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/3346>
- SEDAP. (2006). *Cultivo de Tilapia en Estanque Rústicos*. México: Secretaria de Desarrollo Agropecuario.
- SIAP. (2017). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Obtenido de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SIAP. (2018). *Avance de Siembras y Cosechas: Resumen nacional por cultivo*. Obtenido de http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do
- Stover, S. (2015). *Lechugas por acuaponia*. Arizona: Centro de Agricultura en ambiente controlado de la Universidad de Arizona. Obtenido de <https://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/lechugas-por-acuaponia/>
- SummitAgro. (2016). *FICHA TÉCNICA, NEEMEX 4.5*. México: SUMMIT AGRO, MEXICO, S.A. DE C.V.

- Thorarinsdottir, R. (2015). *AQUAPONICS GUIDELINES*. Islandia: Haskolaprent, Reykjavik .
- THORILEX. (11 de Febrero de 2019). *THORILEX*. Obtenido de INNOVATIVE FARMS PROFESSIONALLY: <http://thorilex.com/aquaponics-in-the-world/>
- Torres, D., & Hurtado, V. (2012). *Requerimientos nutricionales para Tilapia del Nilo (Oreochromis niloticus)*. Villavicencio, Meta. Colombia: ORINOQUIA - Universidad de los Llanos. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v16n1/v16n1a07.pdf>
- Trabanino, R. (1998). *Guía para el Manejo Integrado de Plagas Invertebradas en Honduras*. Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, Honduras: Zamorano Academic Press. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4004/1/01.pdf>
- Ultraquimia. (2011). Hoja de seguridad: Uxtralux S. Ultraquimia Agrícola S.A. de C. V.
- Ultraquimia. (2013). Hoja de seguridad: Progranic gamma. Ultraquimia Agrícola S.A. de C. V.

CAPITULO III. USO DE INSECTICIDAS BOTÁNICOS Y CONVENCIONALES PARA EL CONTROL DE *Myzus persicae* EN LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO, Y SU EFECTO SOBRE EL DESARROLLO DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)

USE OF BOTANICAL AND CONVENTIONAL INSECTICIDES FOR THE CONTROL OF *Myzus persicae* IN LETTUCE (*Lactuca sativa* L.) IN AN AQUAPONIC SYSTEM AND ITS EFFECT ON THE DEVELOPMENT OF TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)

Mayra Lorenza **Pérez Gómez** y Óscar **Morales Galván**

RESUMEN

En un sistema acuapónico se cultivan conjuntamente plantas y peces, y al igual que en otros agroecosistemas, se presentan plagas que afectan la producción, para los cuales el uso de agroquímicos se limita a aquellos que sean seguros para los peces. En esta investigación se evaluó el uso de insecticidas botánicos y convencionales para el control de *Myzus persicae* en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema acuapónico, y se determinó el efecto en el crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus*). Para lo anterior, se realizaron aspersiones de los insecticidas al cultivo a intervalos de dos semanas, como parámetros se consideraron la densidad de áfidos por planta y las mediciones biométricas a los peces. Otras variables que se evaluaron fueron temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica, concentración de Nitrógeno (NO_3^- y NH_4^+) y de fosforo, así como, concentración de cipermetrina y flonicamid en la solución nutritiva. Los resultados indican diferencias significativas entre los tratamientos, con respecto al control de *Myzus persicae*, siendo flonicamid el producto más efectivo, mientras que el menor control se obtuvo con la mezcla de extracto de ajo, chile y canela. Por otra parte, con relación al efecto de los tratamientos en el desarrollo de los peces, no se encontraron diferencias

significativas entre tratamientos con respecto a la biometría de peces, a pesar de que se detectaron 0.009 ppm de flonicamid en la solución nutritiva.

Palabras clave: biometría, toxicidad, plaguicidas, efectividad biológica

ABSTRACT

In an aquaponic system plants and fish are grown together, and as in other agroecosystems, there are pests that affect production, for which the use of agrochemicals is limited to those that are safe for fish. In this research the use of botanical and conventional insecticides was evaluated for the control of *Myzus persicae* in the lettuce crop (*Lactuca sativa* L.) in an aquaponic system, and the effect on the growth of tilapia (*Oreochromis niloticus*) was determined. Four applications of insecticides were made to the crop at intervals of two weeks, as parameters the density of aphids per plant and the biometric measurements to the fish were considered. Other variables that were evaluated were temperature, dissolved oxygen, pH and electrical conductivity, concentration of Nitrogen (NO_3^- and NH_4^+) and of phosphorus, as well as a concentration of cypermethrin and flonicamid in the nutrient solution. The results indicate significant differences between the treatments, regarding the control of *Myzus persicae*, being flonicamid the most effective product, while the minimum control was obtained with the extract of garlic, pepper and cinnamon. On the other hand, in relation to the effect of treatments on fish development, no significant differences were found between treatments concerning fish biometry, although the fact that 0.009 ppm of flonicamid was detected in the nutrient solution

Keywords: Biometry, toxicity, pesticides, biological effectivity.

3.1. INTRODUCCIÓN

El continuo aumento de la población humana hace que sea necesaria la expansión e intensificación de actuales sistemas de producción de alimentos (Munguia *et al.*, 2015). También el desarrollo de nuevos sistemas de producción está ganando cada vez mayor importancia, dentro de estos, los sistemas acuapónicos, en los cuales se cultivan plantas y peces en un sistema de recirculación, donde existe una mínima pérdida de agua producto de la evaporación y transpiración de las plantas; los desechos metabólicos generados por los peces y los restos de alimentos son utilizados por las plantas para transformarlos en materia orgánica (Rakocy, 1999).

En estos sistemas se mantiene un ecosistema independiente, por ello es normal la presencia de microorganismos que ayudan al funcionamiento del sistema, sin embargo, también existen organismos que pueden ocasionar enfermedades a las plantas, peces y al hombre. Entre estos, los insectos y microorganismos plaga pueden limitar el rendimiento y calidad de las cosechas, por lo que una práctica común es el uso de plaguicidas químicos, sin embargo, en sistemas acuapónicos existen fuertes restricciones, ya que el uso de químicos para el control de plagas podría ser perjudicial para el desarrollo de los peces y de algunas bacterias benéficas. Así también, existen otros métodos que podrían ser efectivos para el control de plagas, no obstante, éstos pueden no estar justificados económicamente, ya que muchos de estos son a pequeña escala.

Por lo anterior uno de los desafíos es determinar estrategias de protección y métodos de control de plagas y enfermedades adecuados a estos sistemas, ya que la aplicación de productos químicos para el control de patógenos en los cultivos podría afectar el desarrollo óptimo de los peces u otros organismos benéficos del sistema.

En ese sentido, la lechuga es una de las principales hortalizas cultivadas en estos sistemas a nivel nacional y mundial, ya que se ha adaptado a estos sistemas, sin embargo se tienen problemas fitosanitarios entre los que destacan áfidos (*Myzus*

persicae y *Macrosiphum euphorbiae*), trozadores (*Spodoptera frugiperda*), trips (*Frankliniella occidentalis*), mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), mildiu vellosa (*Bremia lactucae*), fusarium (*Fusarium oxysporum*), moho gris (*Botrytis cinérea*), pudrición blanda (*Sclerotinia sclerotiorum*), pudrición suave (*Erwinia carotovora*), entre otras (Michael *et al.*, 2002). Por otro lado la Tilapia es una de las especies acuícolas de mayor importancia en México para el consumo humano (SAGARPA, 2015); por lo que la posible presencia de residuos de plaguicidas es un factor de preocupación de inocuidad por los riesgos que pudieran presentar estos residuos.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Ubicación del experimento

El presente experimento fue realizado en un invernadero tipo túnel con ventilación cenital de aproximadamente 150 m², ubicado en el área del campo experimental San Ignacio de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México. El sitio experimental se ubica a una altitud de 2 250 msnm, en las coordenadas geográficas de 19° 29' de latitud norte y 98° 53' longitud oeste.

De acuerdo con la clasificación climática de Köpen, modificada por García (1973), el clima en esta área es C(Wo)(w)b(i') g, que corresponde al más seco de los templados, con lluvias en verano y temperatura media anual de 17.5 °C con temperatura del mes más frío de 11.6 °C y del más caliente de 18.4 °C, en el mes de mayo; con una precipitación media anual de 680 mm, presentando una máxima en julio y mínima en enero.

3.2.2. Unidad experimental

El experimento correspondió a 24 unidades experimentales, que pertenecían a un módulo de acuaponía con 2,160 peces, para su funcionamiento cada unidad contaba con:

- a) Una tina rectangular de plástico de 240 L, con dimensiones de 1 m de largo x 60 cm de ancho x 40 cm de profundidad, lo que representaba 0.6 m², que contenía el sustrato donde se establecieron las plántulas;

- b) Un recipiente cilíndrico con capacidad de 200 L para los peces;
- c) Para la cama de cultivo se utilizó como sustrato tezontle rojo, del cual se utilizaron 3 diferentes granulometrías;
- d) En el sistema de riego se utilizó tubería de PVC de ½ y de 1" y una bomba sumergible de 3 metros de columna de agua, que se utilizó para la recirculación del agua en el sistema;
- e) Los recipientes con el sustrato se colocaron sobre una base rectangular de perfil tubular metálico de 1";
- f) Para la oxigenación de las tinas con peces se empleó un oxigenador tipo blower, con tubos de PVC de 3", desembocando en mangueras oxigenadoras conectadas a piedras difusoras;
- g) En la tina de cría de los peces, se utilizaron calentadores sumergibles de 100 w, con capacidad para 100L de agua, para evitar el descenso de la temperatura.



Figura 9. Componentes de cada unidad de acuaponia; a) unidad ensamblada, b) tanque para la cría de Tilapia, c) tina con tezontle y sistema de riego. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

3.2.3. Especie vegetal cultivada

En cada tina se trasplantaron 16 plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) de las variedades Parris, Starfigther y Sangría, las cuales se obtuvieron de Germiplant, S.A. DE C.V., Texcoco, Estado de México.

3.2.4. Especie animal cultivada

Se utilizaron alevines de tilapia de la especie *Oreochromis niloticus*, con un peso inicial aproximado de 2 g c/u, los cuales se obtuvieron de la Granja Acuícola Zacatepec, en Zacatepec, Morelos.

3.2.5. Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, con seis tratamientos y cuatro repeticiones; la unidad experimental correspondió a un contenedor con sustrato como se observa en la Figura 10.



Figura 10. Distribución de los tratamientos conforme a un diseño experimental completamente al azar dentro del invernadero. T= tratamiento y R= repetición. Chapingo, Texcoco, Estado de México

3.2.6. Tratamientos aplicados

Los tratamientos correspondieron a la aplicación de dos insecticidas convencionales (Flonicamid y Zeta-cipermetrina), dos insecticidas botánicos (Neemex 4.5 CE y Gamma), un insecticida misceláneo (sales potásicas de ácidos grasos) y el testigo absoluto. Los tratamientos se dosificaron en términos de volumen/volumen, su descripción se anota en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Tratamientos empleados para evaluar la eficacia en el control del pulgón *Myzus persicae* y su efecto en el desarrollo de tilapia *Oreochromis niloticus*. Chapingo, Estado de México.

Tratamiento	Composición	Dosis por L de agua
1.Beleaf®	Flonicamid	1 g
2.Ultralux®	Sales Potásicas de ácidos grasos	30 mL
3.Mustang® Max	Zeta cipermetrina	1 mL
4.Neemex®	Azadiractina	2 mL
5.Gamma®	Extracto de ajo, chile y canela	2 mL
6.Testigo absoluto	-	-

3.2.7. Variables evaluadas

Durante el estudio se estimaron parámetros asociados a las tilapias, a las propiedades fisicoquímicas de la solución y a la población de áfidos, lo anterior, con la finalidad de identificar los efectos de los plaguicidas en el desarrollo de los peces y en la plaga.

3.2.7.1. Biometría de peces

Se realizaron muestreos a intervalos de dos semanas, donde se cuantificaron los parámetros biométricos correspondientes a peso, largo y alto de los peces, con ayuda de una balanza digital y un vernier; se muestrearon 15 tilapias por tina, tal como se observa en la Figura 11, después se devolvían a las tinas.

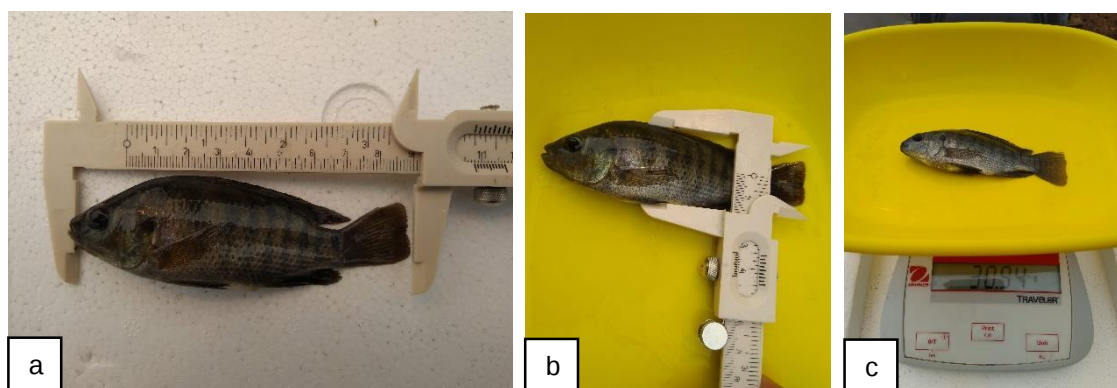


Figura 11. Muestreo de peces a) y b) Toma de la talla (largo y alto) de tilapia con ayuda de un vernier, b) medición del peso de tilapia *Oreochromis niloticus*, Chapingo, Texcoco, Estado de México.

Se realizaron mediciones, cada tercer día, de los parámetros pH, conductividad eléctrica, temperatura (con un medidor portátil Hanna, modelo HI 98130) y Oxígeno disuelto (con un oxímetro Hanna, modelo HI 9142) para identificar si algunos de estos parámetros afectan el desarrollo de las tilapias.

Así también, se realizaron análisis para determinar la concentración de Nitrógeno (en forma de NO_3^- y NH_4^+) y Fosforo, los muestreos se realizaron cada 15 días y fueron analizados en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Departamento de Suelos. Las determinaciones de Amonio y Nitratos, se hicieron por el método

Microkjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999) y el Fósforo se determinó por el método de molibdovanadato, leyendo la absorbancia a 420 nm en un Thermo scientific modelo Genesys 10vw scanning.

2.2.7.2. Efectividad biológica de los productos

Se realizaron conteos de la población de pulgones dos días después de la aplicación de los tratamientos, muestreando tres hojas al azar por planta, con un total de cinco plantas por unidad experimental, el conteo se hizo tanto de la parte del haz y envés de cada hoja muestreada, tomando en cuenta adultos y ninfas (Figura 12).



Figura 12. Planta y hoja de lechuga de la variedad Starfighter infestada con *Myzus persicae*; Chapingo, Texcoco, Estado de México

2.2.8. Establecimiento y manejo del experimento

3.2.8.1. Limpieza y desinfección del sistema

El acondicionamiento se inició con el lavado y desinfección de las unidades experimentales y sistema de riego con cloro al 2 %, posteriormente se procedió a llenar cada una de las tinas de cultivo con tezontle y finalmente se acondicionó el sistema de riego en cada una de las camas de cultivo finalizando con el llenado de tinas, 150 L de agua en cada una de ellas, para la siembra de los peces (Figura 13).

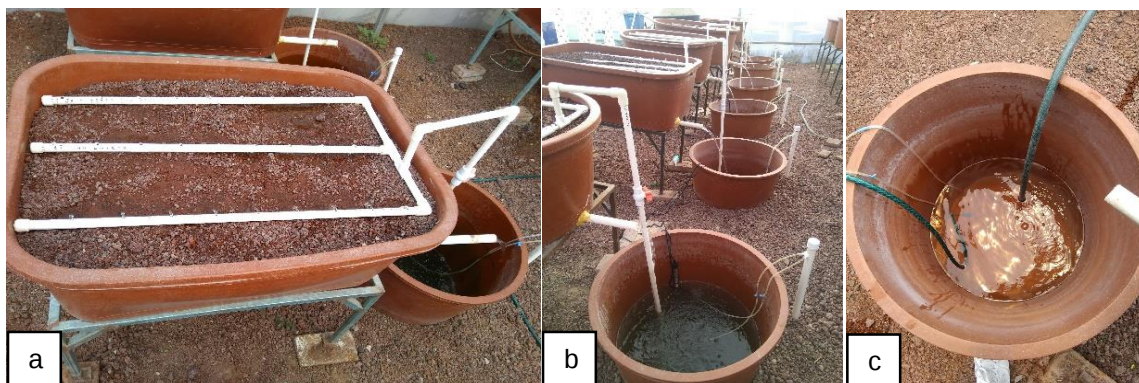


Figura 13. a) Sistema de riego sobre la cama de cultivo, b) Tinas para el cultivo de peces, c) Llenado de tinas para la siembra de tilapia. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

3.2.8.2. Siembra y manejo de peces

Los peces se adquirieron en la Granja Acuícola Zacatepec en Morelos y se transportaron a la Universidad Autónoma Chapingo, para la aclimatación de los alevines, las bolsas se colocaron dentro de las tinas en las cuales se dejaron una hora, posteriormente los peces fueron liberados en 5 tinas. Finalmente, los peces se distribuyeron en las tinas de plástico, depositando 90 peces en 150 L de agua, densidad inicial de $0.6 \text{ Kg} \cdot \text{m}^3$ de agua (Figura 14).



Figura 14. Aspectos relacionados con el establecimiento de la cría de tilapia. a) Bolsas con tilapia en la Granja Acuícola Zacatepec, Morelos, b) conteo y siembra de alevines, y c) Tina con alevines establecidos. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

Los peces se alimentaban tres veces por día, con la dieta de Nutripec Purina® cuyas características se describen en el Cuadro 7, la cantidad de alimento necesario se ajustaba después de cada muestreo, es decir cada dos semanas.

Cuadro 7. Relación del peso y la cantidad de alimento proporcionada diariamente a cada unidad experimental.

Peso de crías (g)	Alimento Nutripec Purina®	Alimento (g/tina/día)
2.09	Iniciación migaja 1.0 mm	15.04
4.15	Iniciación migaja 1.0 mm	29.08
6.21	Desarrollo 1.5 mm	33.53
9.74	Desarrollo 1.5 mm	43.83
14.16	Desarrollo 1.5 mm	50.97
18.71	Desarrollo 1.5 mm	50.51
23.80	Desarrollo 1.5 mm	64.26
31.10	Desarrollo 2.4 mm	55.98
37.80	Desarrollo 2.4 mm	45.36
43.39	Desarrollo 2.4 mm	52.06

Las tinas de peces contaban con inyección de aire constante mediante mangueras y piedras difusoras las 24 horas del día, hasta la conclusión del experimento, así como un calentador que funcionaba de 5:00 a 9:00 am, programado a 26 °C.

3.2.8.3. Trasplante y riego

A los 15 días después del establecimiento de los peces se realizó el trasplante de la lechuga en las camas de cultivo; la densidad fue de 25 plantas·m⁻² y una distancia de 15 cm entre plantas, a una profundidad de 4 cm. El primer y segundo trasplante transcurrieron 35 días, posteriormente, sólo se trasplantó el 50% de la cama de cultivo y 20 días después se realizó el trasplante del otro 50%, esto con la finalidad de alternar dos ciclos de producción y tener una producción continua de lechugas en el sistema (Figura 15)

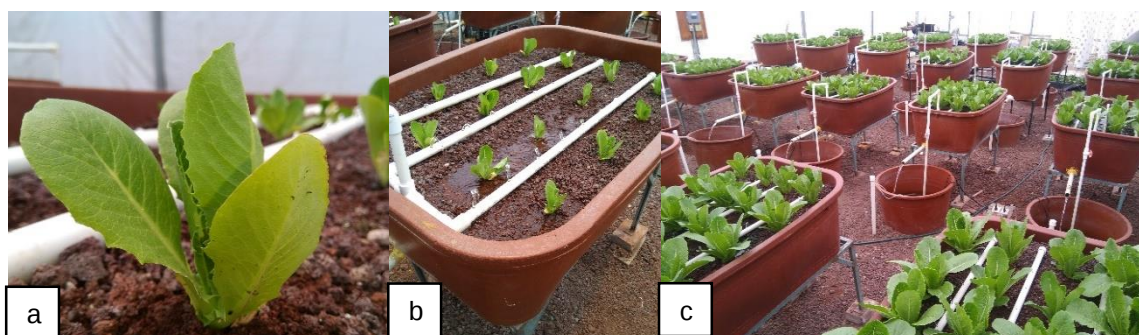


Figura 15. a) Lechuga Var. Parris, b) Cama de cultivo con la distribución de plantas y sistema de riego y c) distribución general de las unidades experimentales dentro del invernadero. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

3.2.8.4. Registro de parámetros en la solución

Después de un mes de trasplante se procedió a la toma de datos de las diferentes variables a medir en la solución, tales como: pH, C.E., Oxígeno Disuelto y temperatura, las lecturas se realizaron cada 48 horas.

3.2.8.5. Infestación de plantas

A los 77 días después de la siembra de los peces, y 10 días después del trasplante, se realizó la infestación de las lechugas con áfidos de la especie *Myzus persicae*, los cuales fueron colectados en un cultivo de brócoli ubicado en el campo experimental “El Ranchito” e identificados en el Laboratorio de Entomología del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Los áfidos se manipularon con ayuda de pinceles, depositando 5 pulgones en cada planta, en total 40 por unidad experimental.

3.2.8.6. Aplicación de tratamientos

En la aplicación de los tratamientos se utilizó una aspersora manual de 10 L, marca Swisssmex, acondicionada con una boquilla X3, y con una presión de trabajo de 40 libras; en la aspersion se procuró una cobertura homogénea del follaje. Para la dosificación de los productos se utilizaron jeringas desechables de 5 ml, una probeta de 250 ml, un vaso de precipitado de 1 L y una balanza digital. Los tratamientos se aplicaron cuatro meses después del establecimiento de los peces en el sistema, y un mes después de haber realizado la infestación en las plantas. Para cada tratamiento, se prepararon 2 L de mezcla conforme a las dosis indicadas en el Cuadro 7 (Figura 16).



Figura 16. Aspersión de los productos para evaluar su efectividad biológica en el control de *Myzus persicae*. a) Dosificación del tratamiento de Sales potásicas, b) aplicación de tratamientos a las unidades experimentales. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

La aplicación se realizó a saturación, por lo que parte del producto se precipitaba en el sustrato y se filtraba a las tinas de cría, debido a la recirculación del agua durante el riego del cultivo. En el Cuadro 8 se indican las fechas de aplicación de los tratamientos en cada una de las unidades experimentales.

Cuadro 8. Número y fecha de aplicación de cada uno de los tratamientos a cada una de las unidades experimentales para evaluar la efectividad biológica en el control de *Myzus persicae* y su efecto en el desarrollo de tilapia. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

Número de Aplicaciones	Fecha
1	04 de Septiembre de 2018
2	24 de Septiembre de 2018
3	11 de Octubre de 2018
4	26 de Octubre de 2018

3.2.9. Toma de muestras

Para ello se hicieron muestreos con frascos de 100 mL los cuales fueron esterilizados y etiquetados previamente al muestreo; el método de muestreo se realizó en base a la metodología propuesta por el INIFAP (2014) “Muestreo de análisis de agua para uso agrícola”.

3.2.10. Análisis de datos

Los análisis estadísticos para los datos obtenidos en el experimento se analizaron considerando un modelo correspondiente a un diseño completamente al azar, se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de

medias Tukey, con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, lo anterior para identificar si existía un tratamiento con una media de áfidos/planta significativamente diferente al resto. Por otra parte, se realizaron correlaciones de Pearson para determinar si alguna propiedad fisicoquímica está relacionada con el desarrollo de la tilapia. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico SAS.

Para los datos de comparación de medias de la efectividad biológica de los tratamientos se realizó una transformación logarítmica de los datos con la siguiente ecuación: $b_{ij} = \text{Log}(x_{ij} + 0.5)$

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Efectividad biológica para el control de *Myzus persicae*

Los productos evaluados presentaron diferentes niveles de control de *Myzus persicae*, de tal forma que, en todas las evaluaciones se presentaron diferencias significativas (Cuadro 9). Flonicamid presentó el comportamiento más constante en el control de áfidos, dado que, a partir de la primera aplicación la densidad se reduce de manera constante hasta que en la cuarta evaluación es nula la presencia de la plaga. Así también, el tratamiento con Azadiractina, zeta-cipermetrina y las sales potásicas de ácidos grasos redujeron las poblaciones de áfidos, a niveles significativamente menores a los que se presentaron en el testigo absoluto. Estos resultados coinciden a lo reportado por Silva *et al.* (2005), quienes encontraron que las sales potásicas son efectivas para el control del áfidos *Macrosiphum rosae* L. y la araña roja *Tetranychus urticae* Koch. Mientras que Esparza *et al.* (2010), encontraron que los bioinsecticidas a base de neem (*Azadirachta indica* A. Juss.), cuyo ingrediente activo es la azadiractina, controlan eficientemente a *Aphis gossypii* Glover, pulgón plaga de cultivos hortícolas y frutales. En ambos casos, los autores indican que estos productos se pueden considerar como bioracionales, dado que tienen un mínimo impacto en los organismos benéficos y son seguros al cultivo. Por otra parte, (Tejeda *et al.* (2017) indican que flonicamid es un producto efectivo para el control del pulgón amarillo *Melanaphis sacchari* (Zehntner) y que tiene un bajo impacto sobre los

enemigos naturales, en contraste zeta-cipermetrina es un producto efectivo para el control de áfidos, pero tiene un alto impacto sobre los enemigos naturales, tal es el caso de las crisopas, las cuales regulan de manera importante las poblaciones de pulgones en los agroecosistemas (Haramboure, 2017)

Cuadro 9. Promedio de pulgones *Myzus persicae* en una muestra aleatoria de 12 hojas de lechuga. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

Tratamiento	1ª evaluación	2ª evaluación	3ª evaluación	4ª evaluación
Flonicamid	4.7 b ¹	3.7 b	0.4 b	0.0 c
Sales potásicas de ácidos grasos	58.8 ab	75.6 a	5.3 ab	3.2 bc
Zeta-cipermetrina	22.6 ab	46.6 ab	17.9 a	15.7 a
Azadiractina	2.9 b	34.4 ab	14.5 a	25.1 a
Extracto de ajo, chile y canela	76.6 ab	105.1 ab	32.3 a	35.0 a
Testigo	252.9 a	163.8 a	13.5 a	19.7 ab
Pr>F ²	0.0025	0.0073	0.0003	<.0001

¹Medias con la misma letra, dentro de cada columna, no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (p=0.05). ²: nivel de significancia.

3.3.2. Variables biométricas de Tilapia *Oreochromis niloticus*

3.3.2.1. Peso

Durante las evaluaciones, no se registraron diferencias significativas con respecto al peso de las crías de tilapia entre los distintos tratamientos, es decir, no se detectó que las aplicaciones de los insecticidas tuvieran un efecto en el peso de las tilapias (Cuadro 10).

Por otra parte, Salazar (2013) indica que de manera general el peso de la tilapia en estado juvenil es de 10 a 50 g, el cual se alcanza en un tiempo de 45 a 60 días, mientras que para los 90 días después de la siembra de los alevines, los peces alcanzan entre 70 y 100 g. En el presente estudio, el desarrollo de los

peces fue menor al indicado, lo cual podría deberse a otros factores dentro del sistema, dado que no se observaron diferencias entre los tratamientos.

Cuadro 10. Peso promedio por tilapia *Oreochromis niloticus* expuestos a insecticidas botánicos y convencionales. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

Tratamiento	Peso promedio de una tilapia en gramos ¹						
	61 dds	77 dds	95 dds	112 dds	129 dds	145 dds	16 dds
Flonicamid	9.6a ¹	13.9a	18.93a	23.6a	33.7a	38.9a	43.4a
Sales potásicas de ácidos grasos	9.1a	13.2a	17.9a	23.5a	30.6a	38.2a	42.1a
Zeta-cipermetrina	9.5a	14.3a	18.8a	22.8a	29.0a	36.0a	43.2a
Azadiractina	10.1a	13.8a	18.7a	24.1a	31.0a	37.9a	43.3a
Testigo	9.4a	13.8a	18.3a	23.7a	30.8a	38.5a	43.7a
Extracto de ajo, chile y canela	10.6a	15.8a	19.5a	25.1a	31.5a	37.3a	44.6a
Coefficiente de Variación (%)	7.05	8.90	7.67	8.02	7.36	7.24	5.31
Pr>F	0.09	0.13	0.72	0.68	0.18	0.73	0.78

¹Medias con la misma letra, dentro de cada columna, no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (p=0.05). dds: días después de la siembra.

3.3.2.2. Longitud total

Con relación a esta variable, en ninguna de las siete evaluaciones se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a la longitud de las tilapias (Pr>F= 0.372, 0.205, 0.435, 0.331, 0.994, 0.587, 0.990), de tal forma que los tratamientos no influyeron en el desarrollo de los peces.

Adicionalmente, las longitudes promedio nos muestran que el desarrollo de las tilapias corresponde a lo reportado por Salazar (2013) quién indica que entre 45 y 60 días los peces debieran presentar una longitud de 7 a 12 cm aproximadamente, mientras que en el presente estudio la longitud alcanzó entre 8.4 y 8.8. cm.

Cuadro 11. Longitud promedio por tilapia *Oreochromis niloticus* expuesta a insecticidas botánicos y convencionales. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

Tratamiento	Longitud de una tilapia (cm) ¹						
	61 dds	77 dds	95 dds	112 dds	129 dds	145 dds	161 dds
Flonicamid	8.5 a ¹	9.2 a	12.0 a	11.6 a	12.1 a	12.7 a	13.6 a
Sales potásicas de ácidos grasos	8.5 a	9.5 a	10.6 a	11.3 a	12.0 a	12.9 a	13.6 a
Zeta-cipermetrina	8.7 a	9.4 a	10.6 a	10.9 a	11.9 a	12.2 a	13.5 a
Azadiractina	8.8 a	9.6 a	10.7 a	11.2 a	12.0 a	12.6 a	13.6 a
Testigo	8.4 a	9.7 a	10.7 a	11.3 a	12.0 a	12.9 a	13.7 a
extracto de ajo, chile y canela	8.8 a	9.7 a	10.9 a	11.3 a	12.0 a	12.8 a	13.7 a
Coefficiente de Variación (%)	3.9	3.053	16.521	3.345	3.565	4.547	3.392
Pr>F ³	0.372	0.205	0.435	0.331	0.994	0.587	0.990

¹Medias con la misma letra, dentro de cada columna, no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (p=0.05). dds: días después de la siembra.

3.3.2.3. Alto del cuerpo

Al igual que en el resto de las variables asociadas al desarrollo, no se observaron diferencias significativas con relación al alto del cuerpo, esto se observó durante las siete evaluaciones (Pr>F=0.463, 0.424, 0.506, 0.284, 0.449, 0.847 y 0.987).

A los 61 días después de la siembra, se puede observar que la tilapia tenía una talla promedio de 2.57 cm y para los 161 días después de la siembra estos alcanzaron un promedio 4.37 cm para todos los tratamientos, por lo que no se observa una diferencia significativa de los tratamientos con respecto al testigo, sin embargo, cabe mencionar que en los tratamientos de flonicamid y sales potásicas de ácidos grasos se obtuvieron las menores tallas promedio con 4.33 cm, pero estas no son significativamente diferentes al resto de los tratamientos.

Los resultados en el Cuadro 12, muestran una diferencia significativa con respecto a lo que Ortega (2015) reporta para tilapia *Oreochromis niloticus*, quién indica que a los 150 días la altura las tilapias alcanza una altura de 7.03 cm.

Cuadro 12. Altura promedio por tilapia *Oreochromis niloticus* expuestas a insecticidas botánicos y convencionales. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

Tratamiento	Altura de una tilapia (cm) ¹						
	61dds	77dds	95 dds	112 dds	129 dds	145 dds	161 dds
Flonicamid	2.5 a ¹	3. a	3.3 a	3.7 a	3.8 a	3.9 a	4.3 a
Sales potásicas de ácidos grasos	2.6 a	2.9 a	3.2 a	3.5 a	3.7 a	4.0 a	4.3 a
Zeta-cipermetrina	2.5 a	2.9 a	3.2 a	3.4 a	3.6 a	3.7 a	4.4 a
Azadiractina	2.6 a	3.0 a	3.2 a	3.6 a	3.7 a	3.8 a	4.3 a
Testigo	2.6 a	3.2 a	3.9 a	3.5 a	3.7 a	4.0 a	4.4 a
extracto de ajo, chile y canela	2.6 a	3.1 a	3.3 a	3.5 a	3.8 a	3.9 a	4.4 a
Coefficiente de Variación (%)	4.414	5.122	18.040	5.624	4.119	7.987	4.410
Pr>F ³	0.463	0.424	0.506	0.284	0.449	0.847	0.987

¹Medias con la misma letra, dentro de cada columna, no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (p=0.05). dds: días después de la siembra.

3.3.3. Concentración de insecticidas en la solución acuapónica

Con base en la información de las fichas técnicas de los insecticidas evaluados, no se realizaron análisis de residuos para los extractos vegetales ni para las sales potásicas de ácidos grasos, dado que estos experimental fotólisis e hidrólisis una vez que son aplicados. No obstante, en el caso de los insecticidas flonicamid y zeta-cipermetrina, debido a su naturaleza se tomaron muestras de la solución para la detección de residuos.

Con relación a flonicamid, y después de realizar cuatro aplicaciones a dosis de 1 g de producto comercial por L de agua, el análisis reportó una concentración de 0.009 ppm. Con base en las variables consideradas en el presente estudio, se observa que es factible el uso de flonicamid en sistemas acuapónicos, considerando que la CL₅₀ en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) es d> 100 ppm durante un periodo de 96 horas (FMC, 2017) y para Carpa (*Cyprinus carpio*) la CL₅₀ a 96 horas es de 70.6 mg·L⁻¹ (FMC, 2005). Con base en lo anterior, se

explica que a pesar de que se detectaron ambos insecticidas en la solución acuapónica, la concentración no es suficiente para afectar el desarrollo de tilapia.

En el caso de cipermetrina, los análisis indican que esta molécula no se pudo detectar a una concentración menor a 0.010 ppm en la solución acuapónica ya que ese fue el valor mínimo de análisis, valor que podría afectar el desarrollo de la tilapia, ya que con base en la hoja de seguridad de zeta cipermetrina, esta molécula es extremadamente tóxica para peces e invertebrados acuáticos. Los reportes indican que, para trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) la CL₅₀ para cipermetrina es de 0.69 µg·L⁻¹ (0.69 ppm) en un periodo de exposición de 96 horas (FMC, 2015), no obstante, en el presente estudio no observó que el uso de este producto afectara el desarrollo de tilapia, esto difiere a lo reportado por Stephenson (1982) que indica que la toxicidad aguda para *Tilapia niloticus* es de 2 µg·L⁻¹ (0.002 ppm).

Cipermetrina es un insecticida extremadamente tóxico para los animales acuáticos, se ha postulado que la toxicidad en peces se debe al lento metabolismo que presenta el insecticida en dichos organismos, lo cual favorece la toxicidad, ya que su vida media en ellos es superior a 48 horas, mientras que en las aves y los mamíferos oscila entre 6 y 12 horas (Kamrin, 1997).

Por otra parte, Kamrin (1997) menciona que en estudios de laboratorio utilizando aguas naturales se observó que las concentraciones de cipermetrina disminuyeron rápidamente, debido a la adsorción en sedimentos, partículas en suspensión y plantas, además contribuye la degradación biológica y fotodegradación.

3.3.4. Correlación entre parámetros físicos y biométricos de tilapia

Durante los 95 días posteriores a la siembra se aprecia que no hay un parámetro que esté relacionado directamente con el desarrollo de la tilapia (Cuadro 13), así también, no se observa un comportamiento constante entre los parámetros fisicoquímicos de la solución y las variables biométricas.

Cuadro 13. Correlación de Pearson entre la biometría de *Oreochromis niloticus* y los parámetros evaluados de la solución acuapónica durante el desarrollo del experimento.

Parámetro	61 dds			77 dds			95 dds		
	Peso	Largo	Alto	Peso	Largo	Alto	Peso	Largo	Alto
pH	-0.279	-0.114	-0.133	0.115	-0.228	0.061	0.002	0.413*	-0.278
CE	0.090	0.175	0.017	-0.007	0.175	-0.000	-0.049	-0.644*	-0.046
T °C	0.039	0.270	-0.366	-0.092	-0.419*	-0.301	0.030	0.383	-0.086
O ₂	0.016	-0.188	0.021	-0.083	0.107	0.049	-0.153	0.232	-0.048

r= Coeficiente de correlación de Pearson, * significancia con $\alpha= 0.05$, dds= Días después de la siembra de peces.

Entre los 112 y 161 días después de la siembra de las tilapias, únicamente la temperatura de la solución acuapónica se correlaciona positivamente con el peso y la longitud de las tilapias, aunque no están estrechamente relacionados, si existe cierta influencia de este factor con el desarrollo de la tilapia. Lo anterior coincide con lo reportado por Makori *et al.* (2017) quienes observaron una fuerte correlación positiva entre la temperatura ($r = 0.57488$, $p = 0.0001$) y el oxígeno disuelto ($r = 0.30620$, $p = 0.0243$) con respecto al peso medio de los peces, mientras que el peso de los peces mostró una correlación negativa con la conductividad ($r = -0.37724$, $p = 0.0049$).

Cuadro 14. Correlación de Pearson entre la biometría de peces y los parámetros evaluados de la solución acuapónica durante el desarrollo del experimento (Continuación Cuadro 13).

Parámetro	112 dds			129 dds			145 dds			161 dds		
	Peso	Largo	Alto	Peso	Largo	Alto	Peso	Largo	Alto	Peso	Largo	Alto
pH	0.10	0.40	0.40	0.33	0.36	0.24	0.13	0.05	0.34	0.27	0.59*	0.60*
CE	0.02	-0.35	-0.28	-0.49*	-0.60*	-0.39	-0.43*	-0.29	-0.27	-0.25	-0.10	-0.09
T°C	-0.17	-0.11	-0.02	*0.58	*0.64	*0.49	*0.63	*0.44	0.38	0.06	0.31	0.09
O ₂	0.19	0.15	0.03	-0.23	-0.28	-0.22	-0.13	-0.29	-0.61*	-0.14	-0.22	-0.35

r= Coeficiente de correlación de Pearson, * significancia con $\alpha= 0.05$, dds= Días después de la siembra de Tilapia

3.3.5. Correlación entre parámetros químicos de la solución acuapónica y biométricos de tilapia

3.3.5.1. Compuestos nitrogenados y Fósforo

En cuanto a los resultados de correlación entre la concentración de P y N (NO_3^- y NH_4^+) con respecto a la biometría de la tilapia se presentan en el Cuadro 15, en el cual se observa que el amonio muestra una correlación negativa con el peso y largo de los peces ($r = -0.229$ y $r = -0.239$), a los 112 días después de la siembra de igual forma se observa una correlación negativa en cuanto al largo y alto de los peces ($r = -0.215$ y $r = -0.213$ respectivamente). A los 129 días después de la siembra se observa una correlación positiva entre la concentración de nitrato y el peso de los peces.

Cuadro 15. Correlación de Pearson (r) entre la biometría de peces y los parámetros evaluados de la solución acuapónica durante el desarrollo del experimento.

Elemento	95 dds			112 dds			129 dds			145 dds			161 dds		
	P	L	A	P	L	A	P	L	A	P	L	A	P	L	A
Fosforo	-0.07	0.12	-0.15	0.07	0.13	0.09	-0.33	-0.36	-0.19	-0.02	0.05	0.07	-0.13	0.02	0.10
NH ₄	-0.23	-0.24	-0.16	0.02	-0.21	-0.21	-0.11	-0.06	0.05	0.45	0.30	0.40	-0.29	-0.02	-0.05
NO ₃	0.18	-0.03	0.12	-0.10	0.15	-0.06	0.26	0.07	0.13	-0.24	-0.37	-0.30	-0.24	-0.19	-0.10
N Total	0.15	-0.05	0.09	-0.10	0.14	-0.08	0.24	0.06	0.14	-0.19	-0.34	-0.26	-0.25	-0.18	-0.11

* Significancia con $\alpha = 0.05$, dds= Días después de la siembra de tilapia; P: peso, L: longitud, A: altura.

Faria y Janson (2005) mencionan que el amonio excretado, está en equilibrio en el agua, es decir, entre el amoniaco (NH_3), que es tóxico para los peces, y el amonio (NH_4^+). El Nitrógeno amoniacal total (TAN) está compuesto por amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3), en condiciones de temperaturas y pH altos, ocurre un cambio de NH_4^+ a NH_3 .

La concentración promedio de NH_4^+ en los distintos tratamientos, durante el estudio, fue de $4.81 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (Cuadro 16), concentración mayor al umbral reportado por Hurtado (2003), quién indica que concentraciones mayores a $1.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ es

tóxica para los peces. Lo anterior, explica en gran medida el desarrollo menor de los peces durante la presente investigación, dado que las concentraciones de NH_4^+ ocasionaron estrés en los peces.

Cuadro 16. Concentración promedio de Fósforo y Nitrógeno (N-NH_4^+ y NO_3^-) en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en la solución acuapónica de las unidades experimentales.

Elemento	95 dds	112 dds	129 dds	145 dds	161 dds
	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$				
Amonio	5.15	4.30	5.07	4.51	5.02
Nitrato	32.29	61.74	53.33	37.18	95.16
Fósforo	6.87	3.74	5.70	9.025	10.60

dds= días después de la siembra de tilapia

Con relación a los nitratos, la mayor concentración en la solución se alcanzó a los 161 dds, donde se registraron 95.16 ppm, valores que podrían ser tóxicos a las tilapias, conforme a lo reportado por Bautista y Ruiz (2011) quienes señalan que, niveles de nitrato superiores a 80 ppm pueden ser tóxicos. Aunque no existe un consenso con relación a esto, dado que Candarle (2015) menciona que los nitratos llegan a ser tóxicos a concentraciones mayores a 500 ppm, mientras que otros reportes indican que los peces pueden tolerar niveles de nitrato de hasta $300 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (FAO, 2014).

Por otra parte, la menor concentración promedio de fósforo fue de $3.74 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a los 112 días después de la siembra de peces, y la mayor concentración promedio fue al finalizar el experimento con $10.60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. En ese sentido, García y Pérez (2012) señalan que el nivel adecuado de P para el desarrollo de los peces va de 0.01 a $3.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

3.3.5.2. Concentración de Oxígeno disuelto

En la Figura 18 se muestra el comportamiento de la concentración de Oxígeno disuelto en los diferentes tratamientos, obteniendo una concentración promedio de $6.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a lo largo del experimento; el valor promedio más alto registrado fue de $7.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y el valor más bajo fue de $4.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, de tal forma que durante el estudio, el Oxígeno se mantuvo a niveles adecuados para el desarrollo de los peces, lo anterior considerando los reportes de Cantor (2007), quién señala que

un rango de 3 a 10 mg·L⁻¹ es adecuado para los peces, y por debajo de los 4 mg·L⁻¹ el desarrollo se reduce y por debajo de los 3 mg·L⁻¹ ocurre la mortalidad de peces.

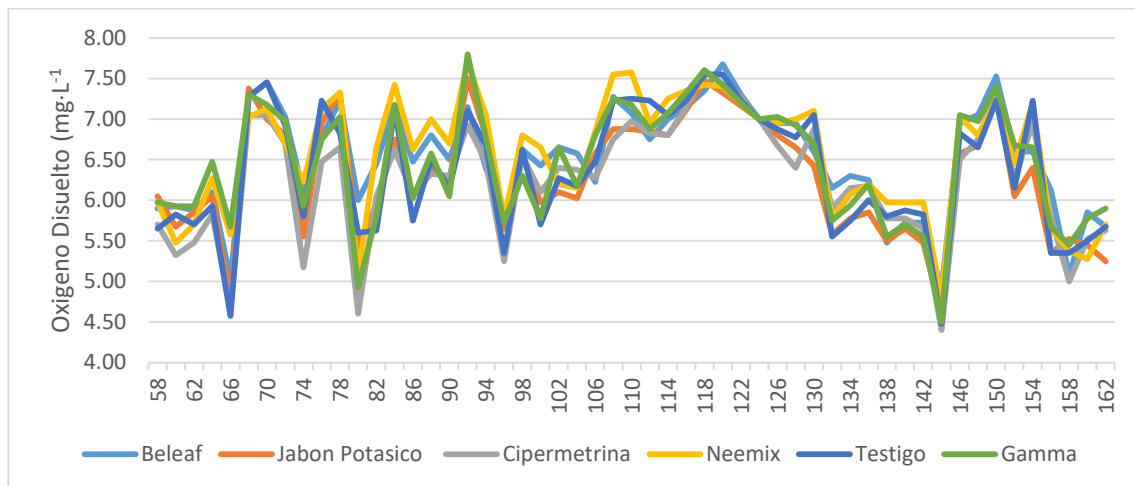


Figura 17. Comportamiento de la concentración del Oxígeno disuelto (OD) en mg·L⁻¹, en la solución de cada uno de los tratamientos durante el desarrollo del experimento.

3.3.5.3. Potencial de hidrógeno (pH)

En la Figura 19 se observa el comportamiento del pH en cada uno de los tratamientos evaluados, se aprecia que hasta los 150 días después de la siembra de los peces el pH en general se ubicó por encima de 7, es decir, fue alcalino, registrando valores promedio de 7.94, y a partir de los 150 dds, el pH disminuye por debajo de 7, acidificando la solución acuapónica. Al respecto, Popma y Michael (1999) y Cantor (2007) mencionan que en general la tilapia puede sobrevivir en un rango de pH de 5 a 10, pero el rango óptimo es de 6.5 a 9.

Por otra parte, con relación a la influencia del pH en el desarrollo de la tilapia, El-Sherif y El-Feky, (2009) señalan que el crecimiento de *Oreochromis niloticus* es favorecido por agua con pH entre 7 y 8.

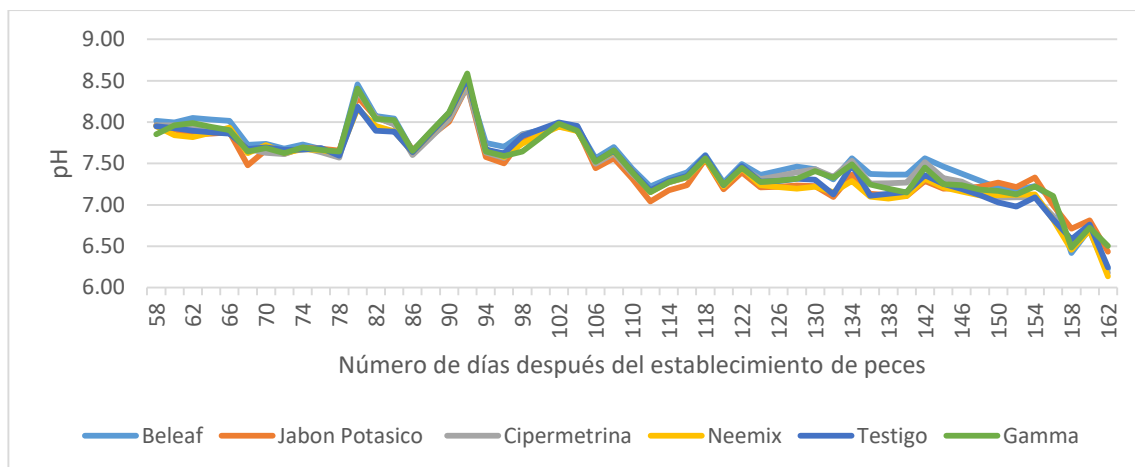


Figura 18. Comportamiento del pH en la solución de cada uno de los tratamientos durante el desarrollo del experimento. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

3.3.5.4. Temperatura de la solución

La FAO (2019) señala que la temperatura del agua influye directamente en el crecimiento y desarrollo de los peces, ya que estos organismos suelen ser ectotermos, es decir mantienen una temperatura similar al del agua y varía con ella. Temperaturas bajas reducen el crecimiento de los peces, afectan la absorción de alimentos, aumentan la vulnerabilidad a infecciones y enfermedades, entre otros efectos (FAO, 2019). Al respecto, Cantor (2007) indica que temperaturas entre 24 y 28°C son adecuadas para el buen desarrollo de la tilapia, en ese sentido, en la Figura 20 se observa el comportamiento de la temperatura a lo largo del experimento, donde la temperatura máxima registrada fue de 26.7 °C y la mínima 16.8 °C.

Es importante destacar que la temperatura del agua registrada a partir de los 118 días después de la siembra de los peces no fue la adecuada para un correcto desarrollo de acuerdo a lo mencionado por Nandlal y Pickering (2004) y la FAO (2019), por lo cual podría atribuirse este factor como uno de los principales causantes del bajo crecimiento de los peces.

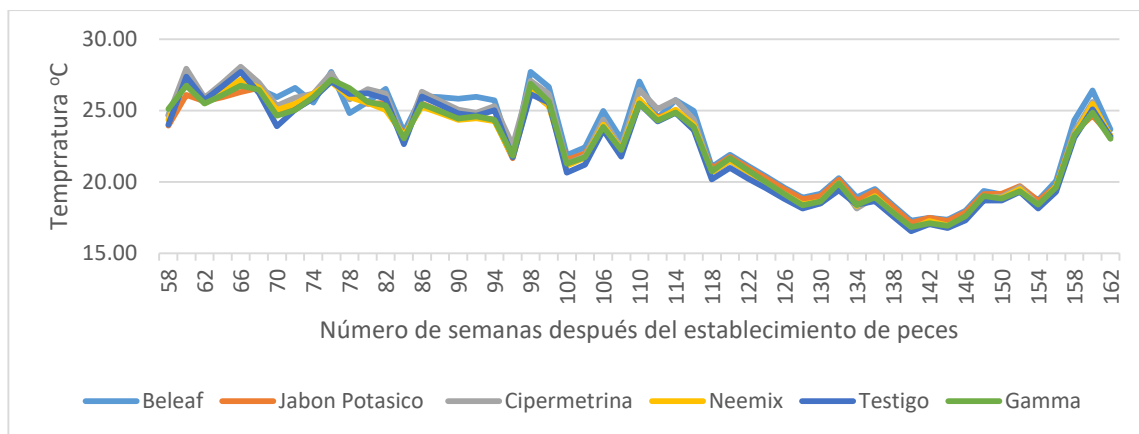


Figura 19. Comportamiento de la temperatura en el agua de cada uno de los tratamientos, durante el desarrollo del experimento. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

3.3.5.5. Conductividad eléctrica

Con relación a la conductividad eléctrica, ésta se incrementó durante el estudio, como se puede observar en la figura 21, a los 58 días después de la siembra de los peces se registró 1.03 mS/cm y al finalizar el experimento el registro fue de 2.83 mS/cm. En ese sentido, Mena *et al.* (2002) reportan que a mayor concentración de sales en el agua el peso de la tilapia disminuye; ya que la presión osmótica de los peces difiere en menor o mayor grado de la del agua que los rodea. En especies de agua dulce, el principal problema que produce el gradiente osmótico entre los fluidos internos y los externos, es la pérdida de sales y la entrada de agua a través de las branquias.

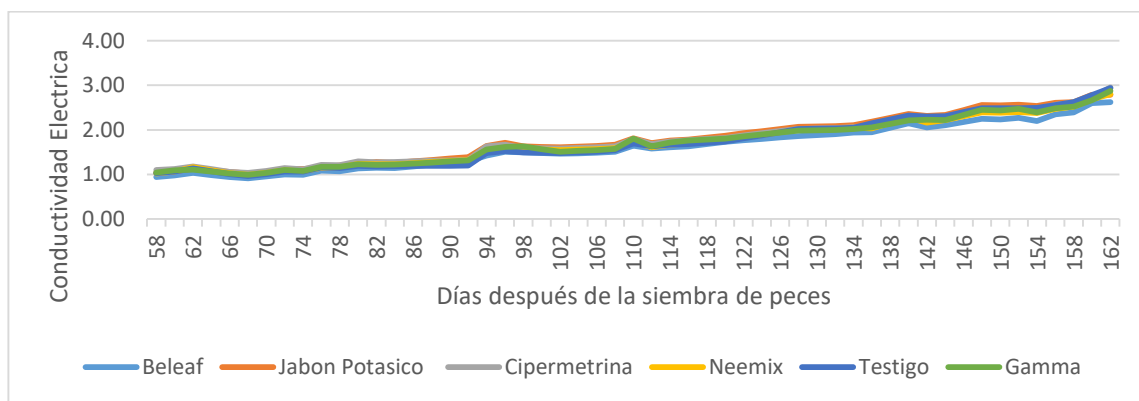


Figura 20. Conductividad Eléctrica (mS/cm) en la solución acuapónica de cada uno de los tratamientos durante el desarrollo del experimento. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

3.4. CONCLUSIONES

Los insecticidas empleados redujeron de manera significativa las poblaciones de pulgones, no obstante, destaca por su eficacia flonicamid, azadiractina y el jabón agrícola, los cuales reducen las poblaciones de *Myzus persicae*. Estos productos, además mostraron ser seguros para las tilapias, conforme al patrón de uso empleado, dado que no afectaron el desarrollo de la tilapia. Debido a la naturaleza de dichos productos, flonicamid puede ser empleado en agricultura convencional, mientras que en el caso de azadiractina y el jabón agrícola (sales potásicas de ácidos grasos) su uso es compatible en un esquema de agricultura orgánica, dado que ambos productos cuentan con certificación OMRI. Adicionalmente, a pesar de que se encontraron residuos de flonicamid en la solución acuapónica, su presencia no afectó significativamente el desarrollo de la tilapia.

Por otra parte, en el presente estudio se observó un menor crecimiento de la tilapia, comparado con lo reportado en la literatura, debido probablemente a las propiedades físico químicas de la solución acuapónica que en lo general no fueron las óptimas para el desarrollo de los peces, así también se señala que, ninguno de los parámetros físico-químicos tuvo una relación directa y constante con el desarrollo de los peces.

Bibliografía

- Alcántar, G. G., & Sandoval, V. (1999). *Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación Especial 10.* . Chapingo, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C.
- Bautista, C. J., & Ruiz, V. (2011). *Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana.* México: Dirección de Fortalecimiento a la Investigación, Universidad Autonoma de Nayarit. Obtenido de <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/2.pdf>
- Candarle, P. (2015). *Técnicas de Acuaponia.* Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Dirección de acuicultura. Obtenido de https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos/000000_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/160831_T%C3%A9cnicas%20de%20Acuaponia.pdf
- Cantor, A. F. (2007). *Manual de produccion de tilapia.* México: Secretaria de Desarrollo Rural del estado de Puebla. Obtenido de <https://es.slideshare.net/JCAMILOMOR/manual-de-produccin-de-tilapia>
- El-Sherif, M., & El-Feky, I. A. (2009). *Performance of Nile Tilapia (Oreochromis niloticus) Fingerlings, I. Effect of pH.* Ismailia, Egypt: INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURE & BIOLOGY. Obtenido de http://www.fspublishers.org/published_papers/51107_..pdf
- Esparza-Díaz, G. L.-C.-J.-A.-C.-D. (2010). *Concentración de azadiractina, efectividad insecticida y fitotoxicidad de cuatro extractos de Azadirachta indica A. Juss.* Agrociencia, 44(7), 821-833. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000700008&lng=es&tlng=es.
- FAO. (2014). *Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming.* ROMA: FAO FISHERIES AND AQUACULTURE TECHNICAL PAPER. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i4021e.pdf>
- FAO. (31 de Marzo de 2019). *PREVENCION Y TRATAMIENTO DE ENFERMEDADES DE LOS PECES.* Obtenido de http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s15.htm#top
- Faria, P. L., & Janson, M. C. (2005). *AMMONIA IN FISH BREEDING SYSTEMS AND ITS EFFECTS ON THE WATER QUALITY – A REVIEW.* Brasil: B.

Inst. Pesca, São Paulo. Obtenido de
https://www.pesca.sp.gov.br/Pereira_31_1.pdf

- FMC. (2005). *Beleaf, Insecticida: Hoja de seguridad de materiales*. México: FMC. Obtenido de
<http://dunemexicali.com.mx/archivos/AGROQUIMICOS/PROTECCION%20DE%20CULTIVOS/CONVENCIONALES/INSECTICIDAS/FMC/BELEAF/BELEAF%20HS.pdf>
- FMC. (2015). *Hoja de datos de Seguridad: MUSTANG MAX*. México: FMC Agroquímica de México, S. de R.L. de C.V.
- FMC. (2017). *Hoja de seguridad: Beleaf*. México: FMC Agroquímica de México, S. de R.L. de C.V.
- García, A. N., & Pérez, G. E. (2012). *Balance nutrimental en un sistema de produccion de lechuga (lactuca sativa L.) acuaponica*. Estado de México, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Köpen*. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de
http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf
- Haramboure, M. (2017). . *Lethal and sublethal effects after treatment with conventional and biorational insecticides on eggs of Chrysoperla externa (Neuroptera: Chrysopidae)*. Revista Colombiana de Entomología. 43 (2): 161-166.
- Hurtado, N. (2003). *Tilapia: La alternativa social y económica del tercer milenio*. Lima, Perú: Universidad Federal Federico Villareal. Obtenido de
http://www.revistaaquatic.com/documentos/docs/nh_tilapia3milenio.pdf
- INIFAP. (2014). *Muestreo de análisis de agua para uso agrícola*. México: INIFAP.
- Kamrin, M. A. (1997). *Pesticides profiles. Toxicity, environmental impact and fate*. Boca Raton, Florida, E.E.U.U.: CRC Lewis publishers.
- Makori, A., Abuom, P., Kapiyo, R., & Dida, D. N. (2017). *Effects of water physico-chemical parameters on tilapia (Oreochromis niloticus) growth in earthen ponds in Teso North Sub-County, Busia County*. Kenya:

Fisheries and Aquatic Sciences. Obtenido de
<https://fas.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s41240-017-0075-7>

- Mena, A., Sumano, H., & Macías, R. (2002). *Efecto de la salinidad en el crecimiento de tilapia híbrida Oreochromis mossambicus(Peters) × Oreochromis niloticus(Linnaeus), cultivadas bajo condiciones de laboratorio*. México: Veterinaria México. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/423/42333104.pdf>
- Munguia, F. e. (2015). *Perspective for aquaponic systems: (Omics) Technologies for Microbial Community Analysis*. Ed. Abd. El-Latif Hesham. Queretaro, México: División de investigación y Posgrado de la Facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Queretaro.
- Nandlal, S., & Pickering, T. P. (2004). *Tilapia fish farming in Pacific Island countries, Volumen I: Tilapia Hatchery Operation*. Noumea, New Caledonia: Secretariat of the Pacific Community. Obtenido de <https://spccfpstore1.blob.core.windows.net/digitallibrary-docs/files/ab/ab6490101d3f28aa53f0c40e35714fdf.pdf?sv=2015-12-11&sr=b&sig=IDdZW088Y%2F%2Bw98CQsRPfsrsbQ1rIP11GRK20d60RFjM%3D&se=2019-09-29T22%3A28%3A08Z&sp=r&rsc=public%2C%20max-age%3D864000%2C%20>
- Ortega, L. N., Trejo, L., Gómez, M. F., Alonso, L. A., & Salazar, O. J. (2015). *CRECIMIENTO DE TILAPIA (Oreochromis niloticus L.) Y TOMATE (Solanum lycopersicum L.) EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO ABIERTO*. México: AP Agro-Productividad. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/279203264_CRECIMIENTO_DE_TILAPIA_Oreochromis_niloticus_L_Y_TOMATE_Solanum_lycopersicum_L_EN_UN_SISTEMA_ACUAPONICO_ABIERTO
- Popma, T., & Michael, M. (1999). *Tilapia Life History and Biology*. United States : United States Department of Agriculture. Obtenido de http://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac_283_tilapia_life_history_and_biology.pdf
- Rakocy, J. E. (1999). *The status of aquaponics Part 1*. USA: Aquaculture Magazine, Julio-Agosto.
- Salazar, B. M. (2013). *El cultivo de Tilapia, sistemas de cultivo*. México: Universidad Autónoma Chapingo.

- Silva, F. M., Rodríguez, M. J., Díaz, G. O., & Bautista, M. N. (2005).
*EFFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE UN DERIVADO DE ÁCIDO GRASO
PARA EL CONTROL DE Macrosiphum rosae L. (HOMOPTERA:
APHIDIDAE) Y Tetranychus urticae Koch (ACARI: TETRANYCHIDAE).*
Agrociencia 39: 319-325.
- Stephenson, R.R. 1982. Aquatic toxicology of cypermethrin. i. acute toxicity to some freshwater fish and invertebrates in laboratory tests. aquat. toxicol. en: aquire (aquatic toxicity information retrieval) database. u.s. environmental protection agency, national health and environmental effects research laboratory, mid-continent ecology division, duluth, minnesota.
- Tejeda, M., Díaz, N. J., Rodriguez, C., Vargas, H. M., Solis, F., Ayvar, S. S., & Flores, Y. J. (2017). *Evaluation in Field of Insecticides on Melanaphis sacchari (Zehntner) in Sorghum.* . Southwestern Entomologist. 42. 545-550. 10.3958/059.042.0223.