

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

## DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

### POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

#### BALANCE DE NUTRIMENTOS EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO DE TILAPIA-JITOMATE

#### TESIS

Que como requisito parcial  
para obtener el grado de:

#### MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

**ARACELI MORGADO VEGA**

Bajo la supervisión de: MARIANO JESÚS GONZÁLEZ ALCORTA, Ph D.



DIRECCION GENERAL ACADÉMICA  
CENTRO DE SERVICIOS ESCOLARES  
ORIGINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Mayo 2014

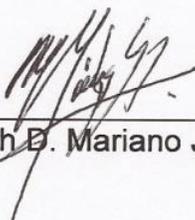
Chapingo, Estado de México

# BALANCE DE NUTRIMENTOS EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO DE TILAPIA-JITOMATE

Tesis realizada por **ARACELI MORGADO VEGA** 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 INNOVACIÓN GANADERA

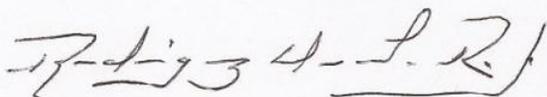
DIRECTOR:



---

Ph.D. Mariano Jesús González Alcorta.

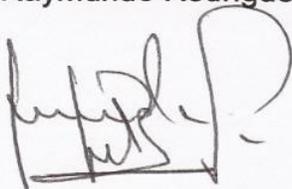
ASESOR:



---

Ph D. Raymundo Rodríguez de Lara.

ASESOR:



---

Dr. Joel Pineda Pineda.

## CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	VI
LISTA DE FIGURAS	VIII
DEDICATORIAS	VIIIVIII
AGRADECIMIENTOS	IX
DATOS BIOGRÁFICOS	X
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Origen de la Acuaponia	4
2.2. Descripción de la Acuaponia	5
2.3. Tipos de sistemas acuapónicos	6
2.3.1. Sistema de raíz flotante	6
2.3.2. Sistema en NFT	7
2.3.3. Sistema en camas con sustrato	8
2.4. Peces en sistemas acuapónicos	9
2.5. Distribución geográfica	9
2.6. Biología de la tilapia	10
2.6.1. Descripción morfológica	11
2.7. Generalidades del cultivo de tilapia	13
2.7.1. Etapas de desarrollo	13
2.7.2. Reproducción	14
2.7.3. Composición y valor nutrimental de la tilapia	15
2.7.4. Requerimientos medioambientales	15
2.7.5. Hábitos alimenticios	20

2.7.6. Requerimientos nutrimentales en la dieta	20
2.8. Generalidades del cultivo de jitomate	23
2.8.1. Morfología de la planta	23
2.8.2. Composición y valor nutrimental del jitomate	27
2.8.3. Requerimientos ambientales del jitomate	28
2.8.4. Absorción nutrimental activa y pasiva en plantas	29
2.8.5. Función de los macronutrientes en la planta	30
2.9. Literatura citada	36
<b>3. BALANCE DE NUTRIMENTOS EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO DE TILAPIA-JITOMATE</b>	<b>41</b>
3.1. Resumen	41
3.2. Abstract	41
3.3. Introducción	42
3.4. Materiales y métodos	43
3.4.1. Localización	43
3.4.2. Instalaciones y sistema acuapónico	43
3.4.3. Tratamientos y diseño experimental	44
3.4.4. Cultivo del jitomate y prácticas agrícolas	45
3.4.5. Cultivo y manejo de peces	46
3.4.6. Variables medidas en la planta y rendimiento	47
3.4.7. Variables medidas en el pez	48
3.4.8. Análisis estadísticos	48
3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
3.5.1. Rendimiento de peces	49
3.5.2. Concentración de minerales en la solución	52
3.5.3. Rendimiento de Jitomate	52
3.5.4. Contenido nutrimental en jitomate	54
3.5.5. Nitrógeno	55
3.5.6. Fosforo	55
3.5.7. Potasio	56

3.5.8. Calcio	56
3.5.9. Magnesio	57
3.5.10. Sodio	57
3.6. CONCLUSIONES	57
3.7. LITERATURA CITADA	58

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción taxonómica de la tilapia. ....	10
Cuadro 2. Tallas y pesos estimados para cada etapa de vida de tilapia. ....	14
Cuadro 3. Valor nutrimental por 100 g de tilapia cocida. ....	15
Cuadro 4. Parámetros ideales de cultivo para tilapia. ....	16
Cuadro 5. Niveles óptimos de proteína en dieta para tilapia. ....	21
Cuadro 6. Niveles óptimos de vitaminas en dieta para tilapia. ....	22
Cuadro 7. Requerimiento mineral de tilapia en la dieta. ....	23
Cuadro 8. Valor nutrimental por cada 100 g de jitomate rojo crudo. ....	28
Cuadro 9. Solución nutritiva utilizada en tratamiento 1 o Hidropónico, para el crecimiento del jitomate sin la presencia de peces. ....	45
Cuadro 10. Composición del alimento comercial API TILAPIA 1 (Alevinaje). ....	46
Cuadro 11. Composición del alimento comercial API TILAPIA 3 (Engorda). ....	47
Cuadro 12. Ración (g) ofrecida a los peces dos veces al día. ....	47
Cuadro 13. Efecto del tratamiento y día del ciclo productivo en el peso y longitud de los peces. ....	50
Cuadro 14. Longitud y peso promedio de peces en el periodo completo de producción en 230 días. ....	52
Cuadro 15. Concentración de minerales en la solución a los 175 días de experimentación. ....	52
Cuadro 16. Comparación de medias para número y peso de frutos por planta de jitomate cultivado en hidroponia y acuaponia con diferentes cantidades de alimento para tilapia. ....	53
Cuadro 17. Comparación de medias para rendimiento de jitomate cultivado en hidroponia y acuaponia con diferentes cantidades de alimento para tilapia. ....	54
Cuadro 18. Comparación de medias para contenido de macronutrientes obtenido del análisis de fruto (F) y hoja (H) en base seca, de jitomate cultivado en hidroponia y acuaponia con diferentes cantidades de alimento para tilapia a los 175 días de experimentación. ....	55

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes del sistema acuapónico (Cabello, 2009).....	6
Figura 2. Morfología externa de la tilapia nilótica (Elaboración propia).....	12
Figura 3. Morfología interna de la tilapia (Cantor, 2007).....	13
Figura 4. Flor, fruto y planta de jitomate (Elaboración propia). ....	27
Figura 5. Componentes del sistema acuapónico en el área experimental (Elaboración propia). ....	44
Figura 6. Efecto del tratamiento y del día sobre el peso de los peces. ....	51
Figura 7. Efecto del tratamiento y del día sobre la longitud de los peces. ....	51

## **DEDICATORIAS**

A mi hijo, por compartir esta experiencia hombro a hombro conmigo, por donar parte del tiempo que te correspondía a éste proyecto, por tu amor y comprensión, por ser mi motor y mi motivación. Te amo, muchas gracias.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por otorgarme la beca para la realización de mis estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por convertirse en mí casa de estudios y ayudarme en mi formación profesional.

Al Dr. Mariano Jesús González Alcorta, por su participación en la realización del presente trabajo.

Al Dr. Raymundo Rodríguez de Lara, por su colaboración en la realización del presente trabajo.

Al Dr. Joel Pineda Pineda, por compartir sus conocimientos, por las aportaciones y tiempo dedicado a éste proyecto, por su paciencia, apoyo, interés y confianza.

Al Dr. Maximino Huerta Bravo, por sus sabios consejos, apoyo y amistad.

Al M.C. José Beltrán y a la empresa maltaCleyton, por su contribución e interés en la realización del presente trabajo.

A la C. Regina Espinoza del Laboratorio de Nutrición Vegetal del Departamento de Suelos de la UACH, por colaborar en la realización del presente trabajo.

## **DATOS BIOGRÁFICOS**



## **DATOS PERSONALES**

Nombre: Araceli Morgado Vega.  
Fecha de nacimiento: 21 de septiembre de 1976.  
Lugar de nacimiento: Distrito Federal.  
CURP: MOVA760921MDFRGR08  
Profesión: Médico Veterinario Zootecnista.  
Cédula profesional: 3955890

## **DESARROLLO ACADÉMICO**

Preparatoria: Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur,  
UNAM.  
Licenciatura: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia,  
UNAM.  
Maestría: Universidad Autónoma Chapingo

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Acuaponía es el nombre que se da a la integración de la acuicultura y la hidroponía. Es el cultivo de peces y plantas en un sistema de recirculación cerrada. Es decir, es un sistema de producción sustentable de peces y plantas, en el que ambos se benefician en un mismo sistema de recirculación de agua y nutrientes; los peces son alimentados y proporcionan los nutrientes a las plantas a través del agua de desecho, éstas filtran los desechos de los peces, obteniendo así, productos saludables de alto valor comercial (Rakocy *et al.*, 2003).

El sistema acuapónico surge como una respuesta a la necesidad del ahorro de agua, la disminución en el uso de agroquímicos para la producción de alimentos, así como la búsqueda de sistemas productivos que generen menor contaminación al ambiente, siendo una alternativa ideal para solucionar el problema de los acuicultores, de cómo deshacerse del agua cargada de nitrógeno y otros nutrientes, a la vez que resuelve el problema de los agricultores de cómo conseguir nutrientes baratos para las plantas (Nelson, 2008).

Energéticamente, un sistema que combina los procesos derivados de un organismo vivo con los aspectos físicos o del medio, se caracteriza por presentar un alto flujo de nutrientes, las formas típicas de entrada de éstos nutrientes las observamos en la práctica mediante el enriquecimiento con el uso de fertilizantes, mientras que la salida se observa en la producción del vegetal o acuícola (Van Noordwijk, 1999). Los estudios sobre balance de energía hasta ahora se han centrado sobre aspectos ambientales dejando de

lado algunos sistemas productivos a pequeña escala, como en el caso de los sistemas acuapónicos, en los que se ha determinado el funcionamiento pero no se ha determinado el balance de energía que ocurre entre plantas y animales.

La fuente de nutrimentos en los sistemas de acuaponía son los desechos metabólicos generados por los peces al alimentarse, ya que solo un 35 a 40 % del alimento consumido es asimilado y transformado en carne, mientras que el resto (60-65 %) se excreta hacia el agua (Chapell, 2008). Estos desechos a su vez son transformados por las bacterias presentes en los filtros biológicos. Así la cantidad de nutrimentos que un sistema genera, está directamente relacionada con la cantidad de alimento que ingieran los peces. En general, la cantidad de plantas que pueda sostener un sistema acuapónico, estará supeditada a la cantidad de alimento que los peces ingieran. Por su parte, cada sistema tendrá una capacidad determinada para filtrar biológicamente los desechos metabólicos y esta capacidad de filtración será la que impondrá la cantidad de alimento que pueda ofrecerse como máximo a los peces (Caló, 2011).

El objetivo de éste estudio fue el de evaluar el efecto del nivel de ofrecimiento de la dieta comercial, sobre el desarrollo de los peces, la concentración de nutrimentos en el agua, en los frutos y en la hoja, así como el efecto en la producción de frutos del jitomate.

En el capítulo 2 del presente documento se presenta una revisión de literatura, enfocada al conocimiento del sistema acuapónico, haciendo un recuento desde sus orígenes, descripción y tipos de sistemas acuapónicos; así como la importancia de la biología, requerimientos ambientales y nutrimentales de las especies animal y vegetal utilizadas en éste caso específico, Tilapia (*Oreochromys niloticus sp.* Rocky mountain) y Jitomate (*Solanum lycopersicum*).

En el capítulo 3 se presenta un estudio donde se ejemplifica un sistema Acuapónico de Tilapia-Jitomate, en el que se dieron diferentes niveles de ofrecimiento de una dieta comercial para peces, haciendo énfasis en los

resultados obtenidos en cuanto a producción y valores nutrimentales, con la finalidad de conocer la concentración nutrimental en cada uno de ellos e identificar si existe un efecto del nivel de ofrecimiento de la dieta comercial en éstos.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Origen de la Acuaponia**

Se menciona que, los aztecas practicaron una forma similar a la Acuaponia, mediante la crianza de peces junto a las siembras. Ellos construían islas artificiales conocidas como “chinampas” y plantaban en ellas maíz y otras plantas. Los canales navegables que rodeaban las islas fueron usados para la crianza de peces, los desechos de los peces que caían al fondo de los canales, eran recuperados para fertilizar a las plantas (Boutwell, 2007).

En 1928, William Frederick Gericke de la Universidad de Berkeley, en California fue el primero en sugerir que los cultivos en solución se utilizaran para la producción vegetal agrícola llamando a esta nueva técnica “nutricultura” (Gericke, 1936).

Durante la década de los 60’s Allen Cooper, en Inglaterra, desarrolló una técnica de cultivo a la que llamó Nutrient Film Technique (NFT), que consiste en generar una corriente de solución con los nutrimentos apropiados y que pase de manera continua sobre la raíz de las plantas a cultivar (Cooper, 1979).

John y Nancy Todd junto con William McLearn, en 1969 fundaron el instituto nueva alquimia (New Alchemy Institute), donde construyeron un prototipo adecuado para la producción de los requerimientos de una familia durante un año de tal manera que se obtuvieran provisiones de peces y vegetales (Barnhart, 2006).

Para el año 1971, en éste mismo instituto se decide comenzar la investigación sistemática sobre la irrigación de vegetales con agua proveniente de los sistemas acuícolas (McLearney, 1972).

Lewis *et al.* (1976) implementa los sistemas de recirculación y filtros para mantener las condiciones adecuadas del agua. Para el año 1982 aparece una modificación al sistema donde se observa la productividad de acuerdo a la temperatura (Sutton y Lewis, 1982).

Ya cerca de la década de los 90's se comienza a mencionar la ventaja del cultivo en tanques, se integran la producción de plantas y los sistemas de recirculación (Rakocy, 1989; Rakocy *et al.*, 1992; Losordo *et al.*, 1992).

Los estudios más recientes muestran que los sistemas acuapónicos deben tener una orientación hacia la producción intensiva en pequeña escala y que además sean sustentables (Graber y Junge, 2009).

## **2.2. Descripción de la Acuaponia**

Las técnicas de acuaponia surgen de los avances tecnológicos en la mejora de los sistemas acuícolas y la búsqueda de reducir los efectos o impactos contaminantes de las aguas de desecho de la acuicultura. Adler *et al.* (2000) explican que los tratamientos convencionales de las descargas de la acuicultura, representa un costo adicional significativo y con la acuaponia se utilizan estas aguas de desecho ricas en nutrientes en sistemas de recirculación en una forma más económica y rentable.

Al cultivar peces, el agua que mantiene a estos es rica en nutrientes naturales derivados de las heces fecales, microalgas que se forman naturalmente, y la descomposición de los alimentos no aprovechados, los cuales fertilizan la producción hidropónica (Diver, 2006). De acuerdo con lo que explican Rakocy *et al.* (2004a) el agua que se desecha de los sistemas de producción acuícola contiene nutrientes que por sí solos son altamente tóxicos para los peces, por lo que hay que removerlos para evitar niveles críticos. En un sistema

acuapónico (Figura 1), el agua es bombeada hacia la planta en cultivo que puede estar en un lecho de grava, tanques o en tuberías de PVC; las raíces de las plantas y las bacterias, remueven los nutrientes del agua, transformándose en un fertilizante natural líquido para el crecimiento de ellas, a la vez de limpiar el agua, la cual, es oxigenada por medios sencillos y se reutiliza una y otra vez en los tanques de cría de peces.

Estas prácticas hacen uso eficiente de lo que de otro modo serían considerados residuos orgánicos, además de reutilizar el agua de descarga o efluente del sistema acuícola. Una ventaja adicional es que en esta integración de plantas y peces no es necesario el uso de pesticidas químicos ni medicamentos. De esta forma, los aspectos negativos potenciales de la acuicultura y la hidroponía se tratan en una forma viable y sostenible; es decir, se obtienen mayores beneficios que por separado en cada una (Nelson, 2008).

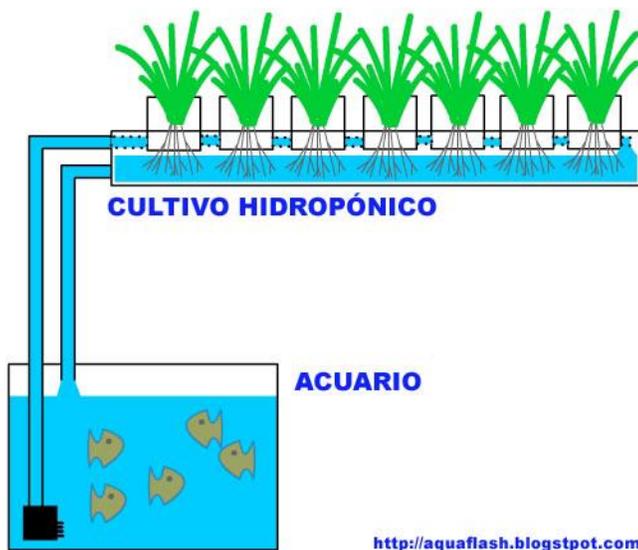


Figura 1. Componentes del sistema acuapónico (Cabello, 2009).

## 2.3. Tipos de sistemas acuapónicos

### 2.3.1. Sistema de raíz flotante

En el sistema de raíz flotante, las raíces están permanentemente en la solución sostenidas por una plancha de poliestireno perforada que actúa como soporte

mecánico. El sistema de balsas flotantes, es el que mejor se adapta para una producción en escala comercial. Ello se debe a la practicidad del manejo del componente hidropónico, permitiendo que tanto las cosechas como las siembras, se realicen de manera ágil y ordenada. A su vez, debido al funcionamiento del mismo, permite utilizar una alta carga de peces, lo que genera mejores rendimientos para el componente acuícola. El sistema de balsas flotantes genera una gran cantidad de superficie de contacto para la fijación de bacterias, de tal forma que no se requiere la utilización de filtros biológicos. La gran masa de agua en el sistema, permite su gran inercia térmica, evitando así grandes fluctuaciones, haciéndolo óptimo para zonas con grandes variaciones de temperatura (Pérez, 2007).

Se considera indispensable, la aplicación de un filtro mecánico que retenga los sólidos en suspensión, evitando que éstos entren al componente hidropónico. Otro requerimiento del sistema es la aplicación de aire. Debe mantenerse siempre el oxígeno por encima de los  $3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , siendo el óptimo, por encima de  $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . En este caso, se deben emplear sopladores, que a través de piedras difusoras colocadas en todo el sistema, generen la cantidad de oxígeno necesaria en el agua (Caló, 2011).

Este sistema ha sido ampliamente estudiado, con sus respectivas modificaciones, para sistemas acuapónicos, y actualmente es el que más se utiliza de manera comercial (Jacho y Rosero, 2010; Arriaza y Martínez, 2009; Rakocy *et al.*, 2004b).

### **2.3.2. Sistema en NFT**

El sistema NFT (del inglés Nutrient Film Technique) es un método comúnmente utilizado en hidroponía. En este sistema las raíces de las plantas se mantienen en contacto con una película muy delgada de agua que contiene los nutrientes. La adaptación de este sistema a la acuaponía implica tener en cuenta el efecto de la utilización de esa delgada capa de agua. Esto lleva a necesitar de un sistema de clarificación mucho más estricto ya que las

partículas pueden taponar los canales y cubrir muy fácilmente las raíces, impidiendo la absorción de los nutrimentos. Esto se logra incluyendo en el sistema un filtro de tambor, que remueva de forma bastante eficiente dichas partículas. Otra diferencia es que las camas de crecimiento ocupan un volumen menor y son más livianas. Finalmente una gran ventaja de este sistema es el hecho de que los productores que trabajan ya en hidroponía utilizando técnica NFT, pueden muy fácilmente pasarse a acuaponía, con una inversión bastante baja (Nelson, 2006).

### **2.3.3. Sistema en camas con sustrato**

Los lechos de sustrato son muy útiles en el sistema acuapónico de baja escala, que no alcanza a ser comercial. Esto es debido a dos principios: a) son de muy fácil uso y mínimo mantenimiento, sin requerir de la aplicación de mayor tecnología, lo que lo hace ideal para instalaciones hogareñas y b) por su funcionamiento, éste no tolera altas cargas de peces, haciéndolo poco viable para una escala comercial (Caló, 2011).

Sin duda, una de las mayores ventajas al utilizar lechos de sustrato, es que se elimina la necesidad de emplear filtros, tanto mecánicos como biológicos; ya que ambas tareas las realiza el propio sustrato. Este retiene los sólidos en suspensión, impidiendo que permanezcan en el flujo de agua y además, el pasaje del agua a través del sustrato, permite que el mismo funcione como filtro biológico; haciendo que todo el sustrato quede disponible para la fijación de las bacterias (Caló, 2011).

Estos sistemas son similares a los de cama flotante, solo que las plantas se siembran en grava. Pueden ser de flujo continuo o discontinuo (Lennard y Leonard, 2004). Es más apropiado llamarlo como cultivo sin suelo o cultivo en sustratos. Se trata de contenedores como cajones, bateas, artesas, etc., llenos de un sustrato inerte que sirve de sostén a las plantas. Dichos contenedores no suelen tener más de 30 cm de profundidad, ingresando el agua por uno de sus extremos y egresando por el opuesto, retornando así al reservorio. Son

utilizados para todo tipo de plantas pero en especial, son muy útiles para aquellas plantas que necesitan buen sostén por su peso, como son los jitomates, pimientos, etc. (Caló, 2011). En el cultivo de hortalizas se han usado un gran número de materiales como sustrato, tales como la perlita, lana de roca, fibra de coco y arenas (Urrestarazu, 2004).

#### **2.4. Peces en sistemas acuapónicos**

Varias especies de peces han sido cultivadas con éxito en los sistemas acuapónicos. La tecnología actual limita las opciones a las especies de agua dulce, aunque investigaciones recientes han demostrado ser prometedoras en medios de agua salada (agua salobre), con especies híbridas y el camarón. La mayor parte de pescado acuapónico del mercado, tanto en kilogramos cosechados y número de operaciones comerciales, es tilapia. Esto se debe a que tiene varias ventajas para la operación comercial: ciclo corto desde el nacimiento hasta la cosecha (6-9 meses), tolera fluctuaciones drásticas en la calidad del agua y son tolerantes a los bajos niveles de oxígeno durante largos tiempos (Scott, 2002).

#### **2.5. Distribución geográfica**

Las tilapias son originarias de África y se encuentran habitando la mayor parte de las regiones tropicales del mundo donde las condiciones son favorables para su reproducción y crecimiento. En 1979 llegaron a México los primeros ejemplares de Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) procedentes de Panamá y fueron depositados en el centro acuícola de Tezontepec de Aldama en Hidalgo, de donde fueron enviados al centro acuícola de Temazcal, Oaxaca (Camacho *et al.*, 2002).

En julio de 1986, se importó un lote de la especie *Oreochromis niloticus* en el que venían algunos organismos de color rojo, que fueron donados a nuestro país por la Universidad de Stirling, Escocia y reclutados en las instalaciones del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV). No obstante, una parte de este lote se donó a la Secretaría de

Pesca, quien se encargó de distribuirla en varios centros de investigación y acuícolas como el de Temazcal, Oaxaca; Varejonal, Sinaloa y Zacatepec, Morelos, siendo esta variedad la que mayormente se ha cultivado en México, y que es conocida comúnmente como Tilapia nilótica Stirling (Camacho *et al.*, 2002).

La tilapia se encuentra en las aguas libres, tanto dulces como salobres; su cultivo está extendido en casi todos los Estados de la República Mexicana, sobre todo en zonas cálidas y semicálidas, aunque también se desarrolla en las regiones norteñas por su gran resistencia. Son peces robustos, con pocas exigencias respiratorias, soportan bien el calor y son fáciles de transportar, su cultivo en México se registra en los siguientes estados: Baja California, Sinaloa, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Aguascalientes, Jalisco, Hidalgo, Morelos, Puebla, Guanajuato, Michoacán, Colima, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Oaxaca. En base a la información anterior se estima que casi el 70% de las entidades federativas cuentan con tilapia en sus cultivos (Cantor, 2007).

## 2.6. Biología de la tilapia

La tilapia es un pez teleósteo, su descripción se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción taxonómica de la tilapia.

Nombre común:	Tilapia	Clase:	<i>Actinopterygii</i>
Reino:	Animal	Orden:	Perciformes
<i>Phylum:</i>	<i>Chordata</i>	Suborden:	<i>Percoidei</i>
<i>Subphylum:</i>	<i>Craneata</i>	Familia:	<i>Cichlidae</i>
Superclase:	<i>Gnathostomata</i>	Género:	<i>Oreochromis</i>
Serie:	<i>Pisces</i>	Especie:	<i>Mossambicus aureus niloticus</i>

Petrovna *et al.*, 2006

La tilapia es un pez de buen sabor y rápido crecimiento, se puede cultivar en estanques y en jaulas, soporta altas densidades, resiste condiciones

ambientales adversas, tolera bajas concentraciones de oxígeno y es capaz de utilizar la productividad primaria de los estanques, y puede ser manipulado genéticamente (Cantor, 2007).

Actualmente se cultivan con éxito unas diez especies. Como grupo las tilapias representan uno de los peces más ampliamente producidos en el mundo. Las especies más cultivadas son *Oreochromis aureus*, *O. niloticus* y *O. mossambicus* así como varios híbridos de éstas, lo que permitió obtener muchas ventajas sobre otras especies, como alto porcentaje de masa muscular, filete grande, ausencia de espinas intramusculares, crecimiento rápido, adaptabilidad al ambiente, resistencia a enfermedades, excelente textura de carne y una coloración de muy buena aceptación en el mercado (Cantor, 2007).

### **2.6.1. Descripción morfológica**

La tilapia presenta, al igual que los demás miembros de la familia de los Ciclidos: orificios nasales simples, uno de cada lado de la cabeza (Cantor, 2007).

El cuerpo de estos peces es robusto, comprimido, a menudo discoidal, raramente alargado; la boca es protractil, posee una mandíbula ancha, a menudo bordeada por labios gruesos; las mandíbulas presentan dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos. Para su locomoción poseen aletas pares e impares. Las aletas pares las constituyen las pectorales y las ventrales; las impares están constituidas por la aleta dorsal, la caudal y la anal. La parte anterior de la aleta dorsal y anal es corta, consta de varias espinas y la parte terminal de radios suaves, disponiendo su aleta dorsal en forma de cresta. La aleta caudal es redonda, trunca y raramente cortada, la cual sirve para mantener el equilibrio del cuerpo durante la natación (Saavedra, 2006).

El color original de esta tilapia es gris aceitunado, variando durante la fase reproductiva, especialmente en el macho. A lo largo de la parte dorsal del cuerpo, presentan una serie de rayas negras verticales que algunas veces se extienden hacia el abdomen en forma difusa; además se presentan dos bandas

horizontales muy tenues a lo largo del cuerpo, ocasionalmente en la parte lateral. Estas bandas, superficialmente formadas por la expansión de melanóforos, aparecen y desaparecen rápidamente. Muestra una clara diferencia o dimorfismo sexual; la hembra presenta tres orificios en el abdomen: el anal, el genital y el urinario; el macho sólo dos: el anal y el genital (Cantor, 2007). En las Figuras 2 y 3 podemos observar la morfología externa e interna de la tilapia.

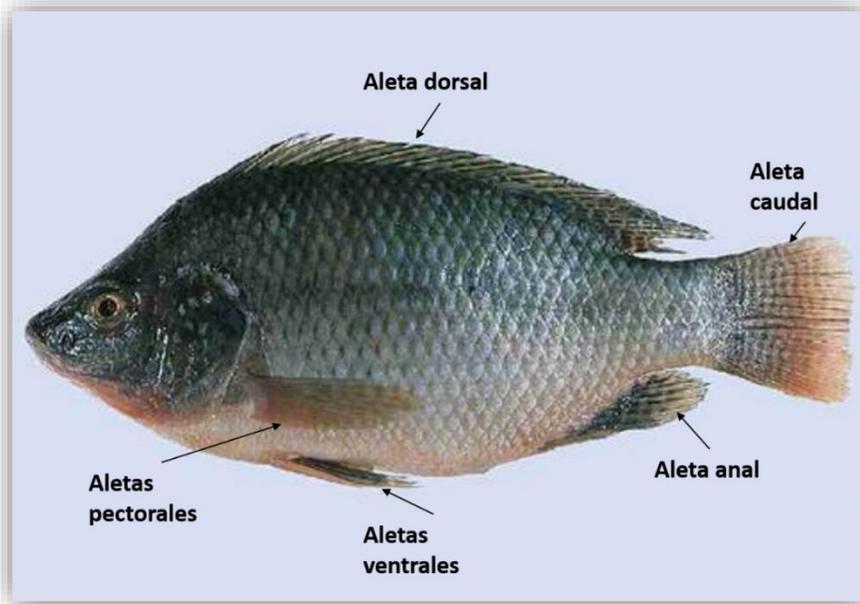


Figura 2. Morfología externa de la tilapia nilótica (Elaboración propia).

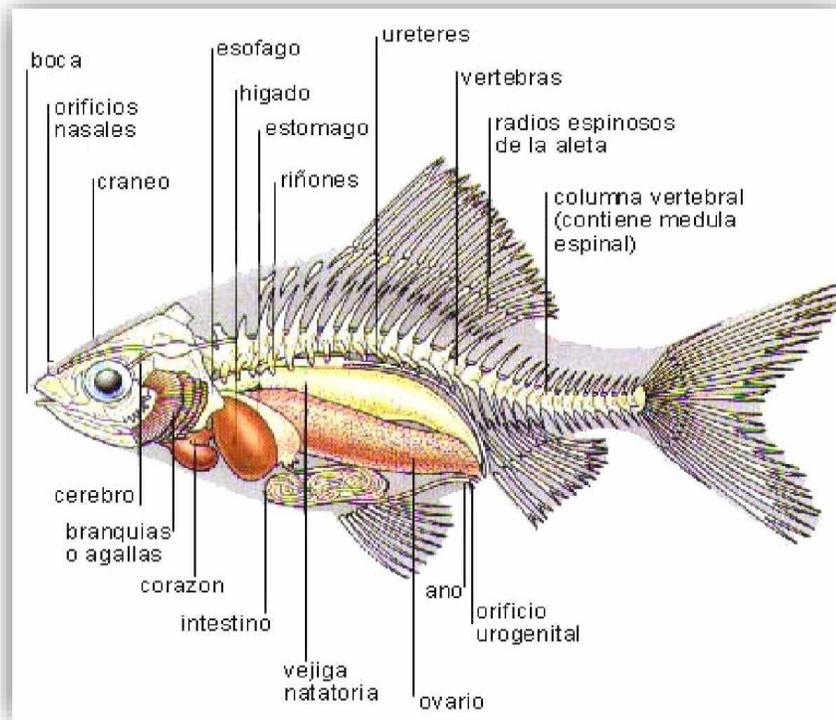


Figura 3. Morfología interna de la tilapia (Cantor, 2007).

## 2.7. Generalidades del cultivo de tilapia

### 2.7.1. Etapas de desarrollo

La tilapia tiene un ciclo de vida bien definido en cuatro etapas: alevín, cría, juvenil y adulto. Al alcanzar su talla comercial su peso puede variar de 250 a 500 g (Cuadro 2; Cantor, 2007).

**Alevín.** Es la etapa del desarrollo subsecuente al embrión y a la eclosión, dura alrededor de 3 a 5 días; en esta fase, el alevín, se caracteriza porque presenta un tamaño de 0.5 a 1 cm y posee un saco vitelino en el vientre que es de donde se alimenta los primeros días de nacido (Cantor, 2007).

**Cría.** Se les llama cría cuando los peces han absorbido el saco vitelino y comienzan a aceptar alimento balanceado, y han alcanzado una talla de 1 a 5 cm de longitud (Cantor, 2007).

**Juvenil.** Son peces con una talla que varía entre 5 y 10 cm, la cual alcanzan a los 2 meses de edad y aceptan alimento balanceado para crecimiento (Cantor, 2007).

**Adulto.** Es la última etapa del desarrollo, los individuos presentan tallas entre 10 y 18 cm y pesos de 70 a 100 gr, características que obtienen alrededor de los 3.5 meses de edad (Cantor, 2007).

Cuadro 2. Tallas y pesos estimados para cada etapa de vida de tilapia.

Estadío	Talla(cm)	Peso(g)	Tiempo(días)
Huevo	0.2-0.3	0.01	3-8
Alevín	0.7-1.0	0.10-0.12	10-15
Cría	1-5	0.5-4.7	15-30
Juvenil	5-10	10-50	45-60
Adulto	10-18	70-100	70-90

Cantor, 2007.

### 2.7.2. Reproducción

Se reproducen a temprana edad, alrededor de las 8 o 10 semanas, teniendo una talla entre 7 a 16 cm., por lo que se dificulta el control de la población en los estanques donde se cultiva. Al nadar las hembras cerca del nido estimulan a los machos, si están maduras entran al nido y después de una serie de cortejos rituales que realizan los machos (los cuales presentan coloración acentuada y vistosa), depositan los huevos en el piso del nido donde son fertilizados. Una vez que esto ocurre, las hembras toman los huevos en la boca y se retiran del nido. El período de incubación tarda de 60 a 72 horas, después de los cuales avivan los pequeños alevines que la hembra ha llevado en su boca durante 5 a 8 días. Posteriormente y al cabo de este período, las crías hacen cortas incursiones durante los cuales abandonan su refugio bucal, retornando a él en algún momento de peligro (Cantor, 2007).

### 2.7.3. Composición y valor nutrimental de la tilapia

En el Cuadro 3, podemos observar el valor nutrimental de la tilapia.

Cuadro 3. Valor nutrimental por 100 g de tilapia cocida.

<b>Nutrimento</b>	<b>Valor</b>	<b>Nutrimento</b>	<b>Valor</b>
Energía	129 cal	Azúcar	0 g
Lípidos	2.6 g	Proteína	26 g
Ac. Grasos saturados	0.9 g	Vitamina A	0 UI
Ac. Grasos poliinsaturados	0.6 g	Vitamina D	150 UI
Ac. Grasos monoinsaturados	1 g	Vitamina C	0 mg
Colesterol	57 mg	Vitamina B <sub>6</sub>	0.1 mg
Sodio	56 mg	Cianocobalamina	19 µg
Potasio	380 mg	Hierro	0.7 mg
Glúcidos	0 g	Calcio	14 mg
Fibra	0 g	Magnesio	34 mg

USDA, 2002.

### 2.7.4. Requerimientos medioambientales

#### Hábitat

Se les encuentra habitando en aguas lenticas (lentas), principalmente someras o turbias (estancadas o inactivas) como lagos, lagunas, litorales, bordos, estanques, charcos así como también en loticas (aguas corrientes) a orillas de ríos entre piedras y plantas acuáticas e inclusive en aguas marinas. El hábitat que prefieren es de fondo lodoso, toleran altas salinidades, son peces eurihalinos, o sea que pueden vivir en aguas dulces, salobres y marinas, el rango de tolerancia es de 0 a 40 mg·L<sup>-1</sup> y en algunos casos, se ha presentado por arriba de esta salinidad (Cantor, 2007).

## Calidad del agua

Para asegurar una buena producción y sanidad, es necesario que los parámetros físico-químicos de la calidad del agua, se mantengan entre los límites de tolerancia de la especie (Cuadro 4). Por lo que es importante conocer el tipo de agua de la zona como se menciona a continuación:

**Aguas Duras.** Son aquellas con concentraciones de iones de calcio y magnesio superiores a los 150 mg·L<sup>-1</sup>, se caracterizan por su alta productividad.

**Aguas Blandas o Suaves.** Son aquellas con concentraciones de iones de calcio y magnesio inferiores a 150 mg·L<sup>-1</sup>.

Cuadro 4. Parámetros ideales de cultivo para tilapia.

Parámetro	Rangos ideales	Parámetro	Rangos ideales mg·L <sup>-1</sup>
Temperatura	24 a 28 °C	Amonio (NH <sub>3</sub> : no ionizado)	0 a 0.05
pH	6.5 a 9.0	Nitritos (NO <sub>2</sub> )	0 a 0.1
Turbidez (Disco Secchi)	30 a 40 cm	Fosfatos (PO <sub>4</sub> )	0.5 a 1.5
Oxígeno Disuelto (OD)	3 a 10 mg·L <sup>-1</sup>	Fósforo Total	0.01 a 3.0
Ozono	0 a 0.005 mg·L <sup>-1</sup>	Fósforo soluble	0 a 10
Dureza (Alcalinidad CaCO <sub>3</sub> )	10 a 500 mg·L <sup>-1</sup>	Ac. Sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)	0 a 0.003
Magnesio (Mg)	0 a 36 mg·L <sup>-1</sup>	Ácido Cianhídrico (HCN)	0 a 0.1
Manganeso (Mn)	0 a 0.01 mg·L <sup>-1</sup>	Gas Metano (CH <sub>4</sub> )	0 a 0.15
Calcio	5 a 160 mg·L <sup>-1</sup>	Cadmio en aguas duras	0 a 0.003
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	0 a 2.0 mg·L <sup>-1</sup>	Cadmio en aguas blandas	0 a 0.004
Amonio Total	Hasta 2.0 mg·L <sup>-1</sup>	Cloro	0 a 0.003

Cantor, 2007.

## Oxígeno disuelto

Dentro de los parámetros físico-químicos, el más importante en el cultivo de especies acuáticas es el oxígeno disuelto en el agua, influye en los estanques de cultivo afectando el crecimiento del organismo cultivado y eficiencia de conversión alimenticia. En el manejo de la calidad del agua de estanques de peces y/o camarones, el oxígeno disuelto es expresado en términos de

miligramos por litro o partes por millón y generalmente, está presente en cantidades de 4 a 14 mg·L<sup>-1</sup> (Talavera *et al.*, 2001).

La tilapia es capaz de sobrevivir a niveles bajos de oxígeno disuelto (1.0 mg·L<sup>-1</sup>) no obstante, el efecto de estrés al cual se somete es la principal causa de infecciones patológicas. Los niveles mínimos de oxígeno disuelto para mantener un crecimiento normal y baja mortandad deben mantenerse en un nivel superior a los 3.0 mg·L<sup>-1</sup>, valores menores a éste reducen el crecimiento e incrementan la mortandad (Cantor, 2007).

La concentración de oxígeno para un buen crecimiento se encuentra entre 2 a 5 mg·L<sup>-1</sup> de oxígeno disuelto, debido a que el metabolismo y el crecimiento disminuyen cuando los niveles son bajos (Vega *et al.*, 2009). Una ventaja del cultivo de tilapia es su tolerancia a bajas concentraciones, aproximadamente 1 mg·L<sup>-1</sup>, e incluso en períodos cortos valores menores. Aunque teniendo menor concentración de oxígeno el consumo de alimento se reduce y por consiguiente el crecimiento de los peces. Lo más conveniente son valores mayores de 2 o 3 mg·L<sup>-1</sup>, particularmente en ausencia de luz (Saavedra, 2006).

### **Temperatura**

La tilapia al igual que todos los peces son animales cuya temperatura corporal depende de la temperatura del medio y por lo tanto son sensibles a los cambios de temperatura. El rango óptimo para su cultivo fluctúa entre 27 y 32 °C. Por encima de los 32 °C o por debajo de los 27 °C su apetito se reduce junto con su crecimiento y por debajo de los 20 °C, prácticamente se detiene. Temperaturas dentro de la franja comprendida entre los 8 y 10 °C son generalmente letales. A temperaturas por encima de 38 °C el estrés térmico también suele causar mortalidades altas (Vega *et al.*, 2009).

Los cambios de temperatura afectan directamente la tasa metabólica, mientras mayor sea la temperatura, mayor tasa metabólica y por ende, mayor consumo de oxígeno. Variaciones grandes de temperatura entre el día y la noche deben

subsanarse con el suministro de alimentos con porcentajes altos de proteína (Cantor, 2007).

También cuando se presentan cambios repentinos de 5 °C en la temperatura del agua, el pez se estresa y algunas veces muere. La reproducción se da con éxito a temperaturas entre 26 y 29 °C. Cuando la temperatura es mayor a 30 °C los peces consumen más oxígeno. Los límites superiores de tolerancia oscilan entre los 37 y 42 °C (Saavedra, 2006).

## **pH**

El pH es la concentración de iones de hidrógeno en el agua. La gran mayoría de los organismos acuáticos sobreviven sin problemas en aguas neutrales (pH = 7.0) o ligeramente alcalinas, en peces el rango normal se encuentra entre 6.5 y 9.0.

El pH para tilapia debe de ser neutro o muy cercano a él, con una dureza normalmente alta para proporcionar una buena condición de mucus en la piel (Cantor, 2007).

Saavedra (2006) menciona que los valores óptimos de pH para la tilapia son entre 7 y 8; sin embargo, Vega *et al.* (2009) consideran como óptimo un rango entre 6.5 y 8.5.

La máxima acidez tolerada por las tilapias es de pH 6.5, a pH 3.0 hay mortalidad masiva, mientras que la máxima alcalinidad que está reportada para un cultivo sano es de pH 8.5, aunque experiencias de Vega *et al.* (2009), trabajando en esta especie, sugieren que incluso a pH de 10 la tilapia se desarrolla sin problemas aparentes.

## **Amoníaco (NH<sub>3</sub>)/Amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)**

El amoníaco/amonio son un producto de la excreción, orina de los peces y descomposición de la materia vegetal y de las proteínas del alimento no consumido. El amoníaco (NH<sub>3</sub>) (forma gaseosa) y primer producto de excreción

de los peces, es un elemento tóxico. La toxicidad aumenta cuando la concentración de oxígeno disuelto es baja, cuando el pH es superior a 7.5 (alcalino) y la temperatura es alta. Cuando los valores de pH son bajos (ácidos), el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) no causa mortalidades. Los niveles de tolerancia para la tilapia se encuentran en el rango de 0.6 a 2.0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Una concentración alta de amonio/amoniaco en el agua causa bloqueo del metabolismo, daño en las branquias, afecta el balance de las sales, produce lesiones en órganos internos, inmunosupresión y susceptibilidad a enfermedades, reducción del crecimiento y la supervivencia, exoftalmia (ojos brotados) y ascitis (acumulación de líquidos en el abdomen) (Cantor, 2007).

### **Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )**

Los nitritos son un parámetro de vital importancia por su gran toxicidad y por ser un poderoso agente contaminante. Se generan en el proceso de transformación del amoniaco a nitratos y su toxicidad depende de la cantidad de cloruros, de la temperatura y de la concentración, del nivel de recambios de agua, de la cantidad de alimento aportado y de las concentraciones de amonio en el agua. Los nitritos son producto de la actividad biológica relacionada con la descomposición de los componentes proteicos de la materia orgánica. Niveles tóxicos de nitritos son comunes en sistemas de recirculación y altas densidades de producción (Cantor, 2007).

Los nitritos interfieren con la habilidad de la sangre de los organismos para absorber oxígeno. En muchos peces niveles de 0.2  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  pueden ocasionar la “Enfermedad de la Sangre Café”, producida por la oxidación del ion ferroso de la hemoglobina a ion férrico metahemoglobina que da el color característico y ocasiona anemia crónica. Son un parámetro de vital importancia por su gran toxicidad y por ser un poderoso agente contaminante (Cantor, 2007).

Para prevenir su aumento por arriba de 0.1  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , se debe mantener un monitoreo permanente sobre los niveles de amonio, al observarse incremento

se debe suspender de inmediato la alimentación y aumentar el recambio de agua, hasta que se normalicen los niveles (Cantor, 2007).

#### **2.7.5. Hábitos alimenticios**

La tilapia es un pez omnívoro que hasta su etapa de cría de 5 cm presenta preferencias fitoplanctofagas, puesto que su alimentación se basa en el consumo de zooplancton, insectos y vegetales acuáticos, y de alimentos artificiales como harinas y granos. La base de la alimentación de la tilapia la constituyen alimentos naturales que se desarrollan en el agua y cuyo contenido proteico es de aproximadamente 55 % de peso seco (Saavedra, 2006; Vega *et al.*, 2009).

La nutrición en las tilapias se basa en el tipo de alimento que se le suministra, una característica de la mayoría de la especie es que acepta fácilmente los alimentos suministrados artificialmente (Saavedra, 2006).

Los juveniles se alimentan preferentemente de fitoplancton y zooplancton, inclusive aceptan alimentos preparados que se utilizan en la crianza de pollos. Los adultos comen plancton, algas filamentosas, algunas plantas superiores y detritus vegetal (Cantor, 2007).

#### **2.7.6. Requerimientos nutrimentales en la dieta**

##### **Proteína**

La producción de *O. niloticus* requiere del suministro de un alimento con un mínimo de 30 % de proteínas, se ha determinado que un valor de proteína entre 25 a 45 % no afecta la reproducción de la tilapia, el alimento vivo es importante como iniciador del cultivo (pre cría), el óptimo de digestibilidad es a 25 °C, se pueden alimentar las tilapias con dietas sin harina de pescado siempre y cuando se satisfaga el requerimiento de amino ácidos; en este caso, Cabrera *et al.*, (2001) recomiendan entre 28 a 29 % de proteínas. Los niveles óptimos de proteína requeridos en la dieta de la Tilapia se describen en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Niveles óptimos de proteína en dieta para tilapia.

<b>Rango de peso (g)</b>	<b>Nivel de proteína (%)</b>
Larva a 0.5	40 - 45%
0.5 a 10	40 - 35%
10 a 30	30 - 35%
30 a 250	30 - 35%
250 a talla comercial	25 - 35%

Cantor, 2007.

### **Lípidos**

Los lípidos en el alimento para tilapia tienen dos funciones principales: a) Como fuente de energía metabólica y b) Como fuente de ácidos grasos esenciales. Los lípidos constituyen el mayor recurso energético (hasta 2.25 veces más que los carbohidratos) y está muy ligado al nivel de proteína en la dieta. Para niveles de 40 % de proteína se recomienda niveles de grasa de 6 a 8 %. Con 35 % de proteína el nivel de grasa es de 4.5 a 6 % y con niveles de 25 a 30 % de proteína se recomienda de 3 a 3.5 % de grasa (Cantor, 2007).

Como fuente de ácidos grasos esenciales se recomienda para tilapia utilizar niveles de 0.5 a 1 % de omega 3 y un 1 % de omega 6. Las grasas requeridas para los peces son poliinsaturadas livianas y fácilmente asimilables. La relación proteína-grasa es crucial para cualquier dieta, un exceso de grasas en el alimento contamina el agua y un nivel insuficiente afecta el crecimiento (Cantor, 2007).

Los carbohidratos son la fuente más barata de energía en la dieta, además, de contribuir en la conformación física del pellet y su estabilidad en el agua. Los niveles de carbohidratos en la dieta de tilapia deben de estar alrededor del 40 % (Cantor 2007).

## Vitaminas

La mayoría de las vitaminas no son sintetizadas por el pez, por lo tanto deben de ser suplidas en una dieta balanceada. Las vitaminas son importantes dentro de los factores de crecimiento, ya que catalizan todas las reacciones metabólicas. Los peces de aguas cálidas requieren entre 12 y 15 vitaminas en su dieta. El nivel de vitaminas utilizadas va a variar dependiendo del sistema de cultivo empleado. Una premezcla general recomendada se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Niveles óptimos de vitaminas en dieta para tilapia.

Vitamina	Nivel en la dieta	Vitamina	Nivel en la dieta
Tiamina	0.1 mg·kg <sup>-1</sup>	Inositol	300 mg·kg <sup>-1</sup>
Riboflavina	3.5 mg·kg <sup>-1</sup>	Colina	400 mg·kg <sup>-1</sup>
Piridoxina	0.5 mg·kg <sup>-1</sup>	Retinol	500 UI·kg <sup>-1</sup>
Ácido pantoténico	3 - 5 mg·kg <sup>-1</sup>	Ácido ascórbico	50 mg·kg <sup>-1</sup>
Niacina	6 - 10 mg·kg <sup>-1</sup>	Vitamina D	200 UI·kg <sup>-1</sup>
Biotina	0 - 0.5 mg·kg <sup>-1</sup>	Vitamina E	10 mg·kg <sup>-1</sup>
Ácido Fólico	0 - 0.5 mg·kg <sup>-1</sup>	Vitamina K	0 - 1 mg·kg <sup>-1</sup>
Cianocobalamina	0.01 mg·kg <sup>-1</sup>		

Cantor, 2007.

## Minerales

Los tilapias pueden absorber algunos minerales no sólo de la dieta, sino también del ambiente acuático, como el calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, zinc, cobre, y selenio (Torres-Novoa y Hurtado-Nery, 2012).

Los minerales son utilizados en los procesos vitales de las tilapias (Cuadro 7), como formación de estructura de esqueleto, regulación de equilibrio ácido-base y osmoregulación, componentes de hormonas y enzimas, activación de enzimas, regulación de la captación, almacenamiento y excreción de varios elementos inorgánicos, permitiendo un equilibrio dinámico entre el pez y el medio acuático (Torres-Novoa y Hurtado-Nery, 2012).

Cuadro 7. Requerimiento mineral de tilapia en la dieta.

<b>Mineral</b>	<b>Requerimiento en la dieta</b>
Calcio	No determinado
Fósforo	5 - 10 g·kg <sup>-1</sup>
Magnesio	0.5 - 0.7 g·kg <sup>-1</sup>
Potasio	2.0 g·kg <sup>-1</sup>
Hierro	30 mg·kg <sup>-1</sup>
Manganeso	2.4 mg·kg <sup>-1</sup>
Cobre	5.0 mg·kg <sup>-1</sup>
Selenio	0.1 mg·kg <sup>-1</sup>
Cromo	1.0 mg·kg <sup>-1</sup>

Cantor, 2007.

## **2.8. Generalidades del cultivo de jitomate**

El jitomate es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. La planta puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta y el crecimiento es limitado en las variedades determinadas, e ilimitado en las variedades indeterminadas, pudiendo llegar en estas últimas, a 10m en un año. La planta se desarrolla bien en un amplio rango de latitudes, tipos de suelos, temperaturas y métodos de cultivo, y es moderadamente tolerante a la salinidad. Prefiere ambientes cálidos, con buena iluminación y drenaje (Chamarro, 2001).

### **2.8.1. Morfología de la planta**

#### **Semilla**

La semilla de jitomate es de forma lenticular con dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 mm y está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión lo forman una yema apical, dos cotiledones, el hipocótilo y la radícula, la testa o cubierta seminal es un tejido duro e impermeable. El proceso de germinación de la semilla está influenciado por la

temperatura; el rango óptimo se encuentra entre 18 y 29 °C, la temperatura mínima está entre 8 y 11 °C y la máxima es de 35 °C. Sin embargo, estos valores pueden cambiar considerablemente la emergencia de acuerdo a la variedad del jitomate (Chamarro, 2001).

### **La raíz**

El sistema radical del jitomate está constituido por la raíz principal, las raíces secundarias y las raíces adventicias. Las raíces secundarias se originan en las células del periciclo y emergen a través del córtex. Las raíces adventicias, similares en estructura a las laterales, se desarrollan principalmente a partir de la base del tallo en condiciones favorables (Chamarro, 2001).

Las raíces del jitomate, en general, pueden alcanzar profundidades mayores de 2 m, aunque la mayor parte está en las zonas superiores del suelo (0-30 cm), especialmente en cultivos regados por goteo (Castilla, 2001).

### **Estructura y desarrollo de la planta**

La estructura de la planta es la de un simpodio. El tallo principal forma de 6 a 12 hojas, que crecen lateralmente con una filotaxia de 2/5, antes de que la yema principal de la yema axilar de la última hoja, la cual desarrolla un tallo secundario que crece como una prolongación del tallo primario y desplaza lateralmente la inflorescencia. Los sucesivos segmentos del tallo se desarrollan de forma similar, produciendo una inflorescencia cada 3 hojas. El aspecto es el de un tallo principal, que crece de forma continua con inflorescencias internodales laterales cada 3 hojas. Cuando este proceso se repite indefinidamente los cultivares se denominan indeterminados y el pseudotallo puede crecer más de 10m por año, con un porte rastrero o trepador. La floración y fructificación se producen en un periodo de tiempo limitado, lo que provoca la concentración de la producción (Picken *et al.*, 1986).

## **El tallo**

El tallo es típico tiene 2 - 4 cm de diámetro en la base y está cubierto por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis. En el extremo del tallo principal se encuentra el meristemo apical, una región de división celular activa donde se inician los nuevos primordios foliares y florales. Tienen forma de cúpula y está protegido por las hojas recién formadas (Picken *et al.* 1986).

## **La hoja**

Las hojas del jitomate son pinnado compuestas. Una hoja típica de las plantas cultivadas tiene unos 0.5 m de largo, algo menos de anchura, con un gran foliolo terminal y hasta 8 grandes foliolos laterales, que pueden, a su vez, ser compuestos. Los foliolos son usualmente peciolados y lobulados irregularmente con bordes dentados. Las hojas están recubiertas de pelos del mismo tipo que los del tallo. Las hojas del tomate son de tipo dorsiventral o bifacial (Chamarro, 2001).

## **La flor**

La flor de jitomate es perfecta (Figura 4), regular e hipógina y consta de 5 o 6 sépalos, de 5 o más pétalos dispuestos en forma helicoidal a intervalos de 135°, de un número igual de estambres que se alternan con los pétalos y de un ovario bi o plurilocular. Las flores, en número variable, se agrupan en inflorescencias de tipo racimo. Frecuentemente, el eje principal se ramifica por debajo de la primera flor formada dando lugar a una inflorescencia compuesta. La primera flor se forma en la yema apical y las demás flores se desarrollan lateralmente por debajo de la primera, alrededor de un eje principal. Las condiciones ambientales y nutritivas, así como los tratamientos con reguladores de crecimiento pueden, pueden afectar de forma importante la diferenciación y el desarrollo de la flor (Chamarro, 2001).

## **El fruto**

El fruto de jitomate es una baya formada por una pared carnosa (pericarpo) y la pulpa que rellena las cavidades locales (tejido placentario) rodeando a las semillas (Hewitt y Ho, 1986).

El pericarpo lo componen la pared externa, las paredes radiales o septos que separan los lóculos y la pared interna o columela. Las cavidades locales son huecos en el pericarpo. Un fruto normal posee, al menos, dos lóculos. Los lóculos contienen las semillas rodeadas por una masa gelatinosa de células de paredes delgadas de tipo parenquimático que llenan las cavidades locales cuando el fruto está maduro (Chamarro, 2001).

El tiempo necesario para que un ovario fecundado se desarrolle a un fruto maduro es de 7 a 9 semanas, en función del cultivar, la posición en el racimo y las condiciones ambientales (Chamarro, 2001).

Los cultivares comerciales de jitomate crecen a partir de un ovario de 5 - 10 mg y alcanzan, en la madurez un peso de 5 a 500 g en función de la variedad y de las condiciones de desarrollo (Chamarro, 2001).

Más del 90 % del peso fresco del fruto de jitomate es agua, la disponibilidad de agua para la planta puede influir en el tamaño del fruto (Jones, 1998).



Figura 4. Flor, fruto y planta de jitomate (Elaboración propia).

### **2.8.2. Composición y valor nutrimental del jitomate**

El jitomate es un alimento con escasa cantidad de calorías. De hecho, 100 gramos de jitomate aportan solamente 20 kcal. La mayor parte de su peso es agua y el segundo constituyente en importancia son los hidratos de carbono. Contiene azúcares simples que le confieren un ligero sabor dulce y algunos ácidos orgánicos que le otorgan el sabor ácido característico. El jitomate es una fuente importante de ciertos minerales (como el potasio y el magnesio). De su contenido en vitaminas destacan la B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>5</sub> y la C. Presenta también carotenoides como el licopeno (pigmento que le da el color rojo característico) (Cuadro 8; Gebhardt *et al.* 2002).

Cuadro 8. Valor nutrimental por cada 100 g de jitomate rojo crudo.

<b>Nutrimento</b>	<b>Valor</b>	<b>Nutrimento</b>	<b>Valor</b>
Energía	20 kcal	Niacina (Vit. B <sub>3</sub> )	0.594 mg
Carbohidratos	3.9 g	Vitamina B <sub>6</sub>	0.08 mg
Azúcares	2.6 g	Vitamina C	14 mg
Fibra alimentaria	1.2 g	Vitamina E	0.54 mg
Grasas	0.2 g	Vitamina K	7.9 µg
Proteínas	0.9 g	Magnesio	11 mg
Agua	94.5 g	Manganeso	0.114 mg
Vitamina A	42 µg	Fósforo	24 mg
β-caroteno	449 µg	Potasio	237 mg
Tiamina (Vit. B <sub>1</sub> )	0.037 mg		

Gebhardt *et al*, (2002).

### 2.8.3. Requerimientos ambientales del jitomate

#### Temperatura

La temperatura influye en todas las funciones vitales de la planta: transpiración, fotosíntesis, germinación, entre otras. Es una planta de clima cálido que requiere de mucho calor; las temperaturas óptimas según el ciclo de vida son las siguientes: temperaturas nocturnas entre 15 y 18 °C, temperaturas diurnas entre 24 a 25 °C, y temperatura ideal en la floración de 21 °C (Rodríguez, et al., 1997). El jitomate es clasificado dentro de las hortalizas tolerantes a calor, como aquellas que a temperaturas menores de 8 °C detienen su crecimiento. La temperatura óptima es de 24 °C, la mínima de 10 °C y la máxima de 32 °C (Castaños, 1993).

#### Humedad relativa

En el cultivo de jitomate, humedades relativas del aire inferiores al 90 % son deseables, pues valores superiores favorecen el desarrollo de enfermedades criptogámicas, especialmente *Botrytis*, siendo óptimos los valores del 70 al 80

%. En condiciones de baja humedad relativa, la tasa de transpiración crece, lo que puede acarrear, especialmente en fase de fructificación cuando la actividad radicular es menor, estrés hídrico, cierre estomático y reducción de fotosíntesis. Valores extremos de humedad reducen el cuajado del jitomate; valores muy altos, especialmente con baja iluminación, reducen la evapotranspiración (Castilla, 2001).

## **Radiación**

La calidad de luz y el fotoperiodo no son tan importantes para el crecimiento del jitomate como la radiación integral diaria. Tratar de superar las limitaciones de luz artificial rara vez se justifica económicamente. Generalmente es más recomendable maximizar la iluminación natural poniendo especial atención en el material y limpieza de la cubierta de los invernaderos; además de un diseño cuidadoso y una óptima orientación del invernadero y del cultivo dentro de éste. Se estima que para que el cultivo de jitomate produzca con mínimas restricciones fotosintéticas, debe ocurrir una radiación incidente fuera del invernadero del orden de 14 a 16 MJ·m<sup>-2</sup>·día (Muñoz, 2009).

El cultivo de jitomate puede crecer bien entre 400 y 500  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (Jones, 1998).

La densidad de plantación, el sistema de poda y el entutorado deben optimizar la intercepción de radiación por el cultivo, especialmente en la época invernal cuando la radiación es más limitante (Castilla, 2001).

### **2.8.4. Absorción nutrimental activa y pasiva en plantas**

La absorción de nutrimentos por las plantas se lleva a cabo por dos mecanismos, que son: la absorción activa y pasiva; ambos se definen en base a las diferencias, tanto en la concentración como en el potencial electroquímico (carga eléctrica) de la célula y el exterior. La absorción pasiva se da cuando el gradiente electroquímico es igual a cero o menor, generalmente esto ocurre cuando se tiene una baja concentración de iones en el interior de la célula

vegetal. La cantidad de nutrimentos movidos por este mecanismo depende de la tasa de flujo del agua (transpiración) y la concentración de los mismos en el exterior (Mengel y Kirkby, 1982). Por otra parte, la absorción activa involucra un movimiento de iones en contra de un gradiente de concentración, lo que implica un gasto de energía derivada del metabolismo de la planta (Barber, 1984; Salisbury y Ross, 1992).

De manera general, se ha visto que los cationes como el  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  y B en forma de  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , se absorben en forma pasiva, aun cuando este proceso pasivo depende de la producción de ATP, dependiendo de la energía y la hidrólisis de este producto para poder dar carga negativa al citosol; en cambio los aniones, tienen concentraciones internas generalmente mayores, lo que sugiere que su absorción es activa (Salisbury y Ross, 1992; Gil, 1995).

Solo 17 elementos están considerados como esenciales para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Están divididos en macronutrimentos, aquellos requeridos en gran cantidad por las plantas y micronutrimentos, aquellos que son requeridos en menores cantidades. Los macronutrimentos incluyen al carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg); los micronutrimentos son hierro (Fe), cloro (Cl), manganeso (Mn), boro (B), molibdeno (Mo) y níquel (Ni) (Zelaya, 2002).

### **2.8.5. Función de los macronutrimentos en la planta**

#### **Nitrógeno**

El nitrógeno es de extraordinaria importancia en las plantas, ya que es constituyente de proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas, coenzimas, amidas, fosfolípidos, bases púricas, algunas vitaminas y la clorofila, principalmente; aunque también es constituyente de una multitud de compuestos llamados alcaloides, que no son metabolitos esenciales y se cree que sirven como compuestos que almacenan nitrógeno. El N es el elemento mineral mayor, absorbido por las plantas en forma de iones nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o

amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y es el nutriente más limitante en la producción de la mayoría de los cultivos. Es esencial en la división y espacio celular; por lo tanto, en el crecimiento (Jones *et al.*, 1991; Miller, 1981).

Su importancia radica en que del 40 al 50 % de la materia seca del protoplasma lo integran compuestos nitrogenados. Por ello, se requiere de grandes cantidades y una deficiencia es fácilmente apreciable, al no presentarse crecimiento o desarrollo normal en una planta. Una deficiencia de este elemento, comúnmente se traduce en una palidez gradual o clorosis de las hojas maduras que llegan a tornarse amarillentas y se desprenden. Por lo general no se presenta necrosis (Bidwell, 1990).

Las concentraciones más altas de N se encuentran en las hojas más nuevas. En general, el N-total de la planta normalmente disminuye con la edad de esta; aunque el N inorgánico puede acumularse en las plantas, principalmente en tallos y tejidos conductores, en forma de  $\text{NO}_3^-$ ; el N orgánico predomina como proteína de alto peso molecular en las plantas y aproximadamente el 75 % se encuentra en los cloroplastos de las células foliares (Jones *et al.*, 1991; Jones, 2003; Marschner, 1986; Mengel y Kirkby, 1982).

El nitrógeno orgánico generalmente constituye del 1.5 al 5 % de la materia seca de los vegetales, con valores de suficiencia de 2.5 a 3.5 en tejidos de hoja (Mengel y Kirkby, 1982). A su vez, Thompson (1982) explica que la cantidad de nitrógeno absorbido por día/kilogramo de material vegetal es máximo cuando las plantas son jóvenes y declinan gradualmente con la edad.

La forma en que se transloca el nitrógeno absorbido por las raíces, dependen de la fuente nitrogenada y del metabolismo radical. El  $\text{N-NO}_3^-$  y los aminoácidos son las principales formas en las que se transloca el N en el sistema vascular de las plantas. Cuando el suministro de N en el medio radical es inadecuado, el nitrógeno de las hojas más viejas se movilizan hacia los órganos más jóvenes de la planta; por lo que los síntomas de deficiencias primero se manifiestan en las hojas inferiores, en las cuales las proteínas se hidrolizan (proteólisis) y los

aminoácidos resultantes se redistribuyen en las hojas jóvenes y ápices. La proteólisis colapsa a los cloroplastos, con lo cual disminuye el contenido de clorofila que conduce al amarillamiento de las hojas viejas (Mengel y Kirkby, 1982).

## **Fósforo**

El fósforo entra en la composición de un gran número de sustancias orgánicas (nucleoproteínas, fosfoproteínas, fosfolípidos, etc.) y participa en diversas reacciones químicas (Miller, 1981). El fósforo existe en todas las células vivas. La planta lo utiliza para sintetizar ácidos nucleicos (ADN y ARN). Se utiliza también para almacenar y transferir energía a través de enlaces ricos en energía (ATP y ADP). El fósforo estimula el crecimiento temprano y la formación de raíz, acelera la maduración y promueve la producción de semillas (Anónimo, 1995).

El fósforo es absorbido por las plantas en forma de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{=}$  o  $\text{PO}_4^{=}$ , dependiendo del pH del suelo. Los trabajos realizados por varios investigadores han demostrado que las plantas absorben una mayor cantidad de fósforo cuando se añade nitrógeno a los fertilizantes fosfatados. Un mayor crecimiento de raíz, cambios fisiológicos que hacen que las células de la raíz sean más receptivas al fósforo, una mayor transferencia del fósforo de la raíz hacia el xilema y una disminución de pH del suelo debido al nitrógeno amoniacal, se ha sugerido como explicación de la mayor eficiencia de absorción de fósforo en presencia del nitrógeno (Anónimo, 1995).

La mayoría de los fosfatos presentes en las raíces, tallos y hojas están en forma inorgánica, siendo más alta la proporción de fósforo inorgánico respecto al total en hojas viejas; mientras que en hojas jóvenes hay mayor concentración de fósforo orgánico, en forma de ácidos nucleicos y fosfolípidos. Dicho nutrimento interviene como factor de calidad de los frutos, ya que favorecen a todos los procesos relacionados con la fecundación, fructificación y maduración. Las hojas jóvenes son suministradas no solo por el fosfato tomado por las raíces,

siendo también del fosfato que se encuentra en las hojas viejas (Mengel y Kirkby, 1982).

El fósforo se acumula principalmente en los tejidos activos (síntesis, respiración), los meristemos (puntos de división celular), semillas y frutos (Miller, 1981). La concentración más alta de P se encuentra en las hojas nuevas y en los pecíolos (Jones, 2003).

La planta requiere un mayor suministro de fósforo bajo las siguientes circunstancias: 1) crecimiento de las plantas en climas fríos, 2) crecimiento limitado de la raíz y 3) rápido crecimiento de la parte aérea (Anónimo, 1995).

Las plantas que sufren deficiencia de fósforo presentan retraso en el crecimiento, y la proporción de la materia seca de la parte aérea en relación a la raíz es baja, los síntomas de deficiencia se presentan en las hojas más viejas, en donde prevalece un color verde oscuro; también se pueden presentar una coloración púrpura rojiza en las hojas y tallos, producido por pigmentos llamados antocianinas (Mengel y Kirkby, 1982).

## **Potasio**

Las plantas contienen potasio en forma de sales inorgánicas. Por consiguiente, este elemento no forma parte de la estructura de ningún compuesto orgánico de la planta; además, interviene en la absorción de otros nutrimentos y el transporte de los mismos dentro de la planta. Es absorbido por las plantas en forma de iones de potasio ( $K^+$ ). No se sintetiza en compuestos, como ocurre con el nitrógeno y el fósforo; sino que tiende a permanecer en forma iónica en las células y tejidos. Es esencial en la translocación de los azúcares y la formación del almidón (Thompson, 1982).

Cuando el potasio entra en el sistema metabólico de las células, forma sales con los ácidos orgánicos del interior de las mismas, que sirven para regular el potencial osmótico celular, equilibrando así el contenido de agua interno; tiene función en la apertura y cierre de estomas; en los tejidos jóvenes el K es

indispensable para obtener turgencia celular óptima, que se requiere para la expansión celular; está presente en forma soluble en las vacuolas de las células y en todos los tejidos, donde son más activas las divisiones celulares; participa en la fotosíntesis por aumentar directamente el crecimiento y el índice de área foliar; interviene además, fisiológicamente en los siguientes procesos: síntesis de azúcar y almidón, transporte de azúcares, síntesis de proteínas e interviene en la estimulación enzimática (Jones *et al.*, 1991; Mengel y Kirkby, 1982; Rodríguez, 1996).

La absorción de potasio presenta variaciones, tanto en el periodo de crecimiento, como durante el día. La máxima absorción de K se presenta durante la etapa de fructificación; mientras que la variación diurna presenta la máxima tasa de absorción de K durante el día, cuando se presenta la mitad del fotoperiodo (Le-Bot y Kirkby, 1992).

El potasio estimula el crecimiento de la raíz y mejora la resistencia de las plantas a las enfermedades. Se ha encontrado que el potasio es requerido con más frecuencia por los árboles frutales, como los ciruelos, y hortalizas, cuya producción de carbohidratos es muy alta (Anónimo, 1995).

El K es muy móvil en la planta, principalmente en dirección de los tejidos meristemáticos a partir de los órganos viejos (Mengel y Kirkby, 1982). Constituye del 1.0 al 5.0 % del peso seco de las hojas, donde las concentraciones más altas se encuentra en las hojas jóvenes, pecíolos y tallos de la planta (Jones, 2003).

### **Calcio**

El calcio es absorbido por las plantas en forma de ion calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ); dado que es un nutrimento estructural, forma parte esencial de todas las paredes y membranas y debe estar presente para la formación de nuevas células. Una vez que se deposita en los tejidos de las plantas, el calcio no es removido. En consecuencia, los tejidos jóvenes son los primeros en ser afectados cuando

existen deficiencias de este nutrimento. La translocación dentro de la planta es por la savia del xilema (hacia arriba) con la corriente de la transpiración, que va a las hojas; participa en el almacenamiento de azúcares y mejora la firmeza de los frutos; en las hojas el flujo de Ca, claramente disminuye después de la madurez de la hoja, aun cuando se mantenga una transpiración constante (Mengel y Kirkby, 1982).

La principal función del calcio es mantener la integridad celular y permeabilidad de membranas; pero también participa en la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico, en la síntesis de proteínas, movimiento de los carbohidratos y puede disminuir la presencia de elementos pesados en las plantas. Es importante en frutos y órganos de almacenamiento que acumulan grandes cantidades de azúcares del floema (Jones *et al.*, 1991; Jones, 2003).

Está involucrado en el metabolismo o formación del núcleo y favorece la formación y el incremento de la proteína contenida en las mitocondrias. Es cofactor de muchas enzimas en la hidrólisis de ATP y fosfolípidos. Reduce y neutraliza el efecto de otras sales y contribuye a la neutralización de los ácidos orgánicos en los tejidos vegetales (Bidwell, 1990).

El Ca en el interior de la planta es un elemento poco móvil, actuando en la formación de pectatos de calcio de la laminilla media de las células, que intervienen en el proceso general de la absorción de elementos. Igualmente, actúa en la división mitótica de las células, en el crecimiento de los meristemas y en la absorción de nitratos. En la regulación de la absorción activa de los elementos y en la permeabilidad de las paredes celulares (Rodríguez, 1996).

En las plantas está contenido en 0.2 a 5.9 % del peso seco en tejidos vegetales, pero las concentraciones más altas se encuentran en las hojas más viejas (Jones, 2003).

## 2.9. Literatura citada

- Adler, P. R., J. K. Harper, F. Takeda, E. M. Wade, and S. T. Summerfelt. 2000. Economic evaluation of hydroponics and other treatment options for phosphorus removal in aquaculture effluent. *HortScience*. 35: (6) 993–999.
- Anónimo. 1995. *Manual de Fertilizantes para Horticultura*. ed. Limusa. México, D. F. 297 p.
- Arriaza C., A., y J. L. Martínez C. 2009. Producción hidropónica de lechuga integrada con el cultivo de tilapia con tres niveles de potasio y hierro. Proyecto Especial de Ingeniero Agrónomo. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras. 14 p.
- Barber, S. A. 1984. *Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach*. John Wiley & Sons. New York, U.S.A. 398 p.
- Barnhart, E. 2006. A Primer on New Alchemy's Solar Aquaculture. (A summary from archives of New Alchemy at the Green Center, which reviews the fundamentals of solar fish ponds, use of solar ponds in greenhouses, hydroponics and computer modeling of solar pond aquaculture ecosystems) 8 p.
- Bidwell, R. G. S. 1990. *Fisiología Vegetal*. Trad. del inglés por: G. G. Cano y M. Rojas. (eds.). AGT. México, D. F. 784 p.
- Boscolo, W. R., A. Signor, A. Feiden, R. A. A. Bombardelli, and A. Reidle. 2005. Energia Digestível para Larvas de Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) na Fase de Reversão Sexual. *R Bras Zootec*. 34: (6) 1813-1818.
- Boutwell, J. 2007. USA: Recuperan Método de Acuaponía de los Aztecas. [www.aquahoy.com/archivo/156/uncategorised/3079](http://www.aquahoy.com/archivo/156/uncategorised/3079) Consultada el 20 de agosto de 2013.
- Cabello J. A. 2009. Acuaponia: ecosistemas sostenibles y ecológicamente productivos. <http://aquafash.blogspot.com> Consultada el 25 de enero de 2014.
- Cabrera T., D. Jay., C. Alceste. 2001. Actualización del Cultivo de Tilapia en el mundo. VI Congreso Ecuatoriano de Acuicultura y V Congreso Latinoamericano de Acuicultura. Ecuador. 28 p.
- Caló P. 2011. Introducción a la acuaponia. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola-CENADAC. Argentina. 15 p.
- Camacho B., E., C. Luna R., M. A., y Moreno R. 2002. Guía para el Cultivo de Tilapia *Oreochromis* spp. SEMARNAP. 136 p.
- Cantor A., F. 2007. Manual de Producción de Tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. México. 135 p.
- Castaños J. 1993. *Horticultura. Manejo Simplificado*. ed. UACH. Chapingo, México. pp: 38-227.
- Castilla N. 2001. Manejo del cultivo intensivo en suelo. In: El cultivo del tomate. Nuez, F. (Ed). Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 189-225.

- Chamarro L., J. 2001. Anatomía y fisiología de la planta. In: El cultivo del Tomate. Nuez, F. (Ed). Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 41-91.
- Chapell, J. A., T. W. Brown, and T. Purcell. 2008. A demonstration of tilapia and tomato culture utilizing an energy efficient integrated system approach. 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture 2008. pp: 23-32.
- Chapman, H., D., y P. E. Pratt. 1973. Método de Análisis de Suelos, Plantas y Agua. Trad. del inglés por: A. Contin. ed. Trillas. México, D. F. 195 p.
- Cooper, A. J. 1979. *The ABC of NFT*. London: Gower Books. pp: 181.
- Diver, S. 2006. Aquaponics – Integration of Hydroponics with Aquaculture. ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service. North Carolina. pp: 1-28.
- Gebhardt, S. and R. Thomas. 2002. Nutritive Value of Foods. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service: *Home and Garden Bulletin* nº 72, Beltsville (Maryland): Nutrient Data Laboratory. 104 p.
- Gericke, W. F. and J. R. Tavernetti. 1936. Heating of liquid culture media for tomato production. *Agricultural engineering* 17: 141-42, 184 p.
- Gil M., F. 1995. Elementos de Fisiología Vegetal, Relaciones Hídricas, Nutrición Mineral, Transporte y Metabolismo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 1147 p.
- Graber, A., and R. Junge. 2009. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination* 246(148): 147–156.
- Hewitt, J. D., and C. L. Ho. 1986. Fruit development. In: *The Tomato Crop*. Atherton J., Rudich J. ed. Chapman and Hall Ltd. Ney York. pp: 201-239.
- Jacho Y. J. B., y S. J. Rosero A. 2010. Comparación del uso de un filtro de bolas y un tanque sedimentador para la producción de lechuga en un sistema acuapónico. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. 19 p.
- Jones, Jr., J. Wolf B. and H. Mills A. 1991. *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Publishing, Inc. Athens, Georgia, U.S.A. 213 p.
- Jones, J. B. 1998. *Tomato Plant Culture: In the field, Greenhouse and Home Garden*. CRC press. pp: 51-71.
- Jones, B. Jr. 2003. *Plant Nutrition Manual*. CRC Press LLC. Florida, U.S.A. 149 p.
- Le-Bot, J. and E. Kirkby A. 1992. Diurnal uptake of nitrate and potassium during the vegetative growth of tomato plants. 15 (2): 247-254.
- Lennard W. A. and V. Leonard B. 2004. A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system. *Aquaculture International* 12. pp: 539-553.
- Lewis, W. M., and G. L. Buynak. 1976. Evaluation of a revolving plate type biofilter for use in recirculated fish production and holding units. *Transactions of the American Fisheries Society*. 105(6): 704-708.

- Losordo, T. M., M. P. Masser. and J. Rakocy. 1992. Recirculating aquaculture tank production systems. An overview of critical conservations. SRAC publication USA. No. 451. Stoneville. 6 p.
- McLearney, W. O. 1972. Irrigation of garden vegetables with fertile fish pond water. *New Alchemy Agricultural Research* 2: 2.
- Marschner, H. 1986. *Mineral Nutrition of Higher Plant*. Academic Press. San Diego, California, U.S.A. 674 p.
- Mengel, K. and E. Kirkby. 1982. *Principles of Plant Nutrition*. Third edition. International Potash Institute. Worblaufen-Bern, Switzerland. 655 p.
- Meurer F., C. Hayashi., y W. R. Boscolo. 2002. Lipídeos na alimentação de alevinos revertidos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.). *R Bras Zootec.* 31 (2): 566-573.
- Miller E., V. 1981. *Fisiología Vegetal*. Trad. del inglés por: F. Latorre. ed. UTEHA. México, D. F. 334 p.
- Muñoz R., J. 2009. Manejo del cultivo de tomate en invernadero. In: *Manual de Producción de Tomate en Invernadero*. ed. Intagri. Celaya, Guanajuato México. 458 p.
- Nelson, R. L., and J. S. Pade. 2006. Nutrient film technique aquaponics. *Aquaponics Journal*. No. 42. pp: 18-21.
- Nelson, L. R. 2008. *Aquaponics Food Production. Raising Fish and Profit*. Nelson and Pade, Inc. First Edition. Virgen Islands. 218 p.
- Pérez L. 2007. *Hidroponía en Casa*. (Ed). Corazón Verde; San José, Costa Rica. 54 p.
- Petrovna Z., G., A. Santerre L., J. Casas S., J. Peregrina S., R. León S. 2006. *Tilapia, Aspectos Biológicos y Productivos*. ed. Ayder, S.C.L., Jalisco, México. 150 p.
- Picken, A. J. F., K. Stewart., and D. Klapwijk. 1986. Germination and vegetative development. In: Atherton, J. G., J. Rudich. (ed.). *The Tomato Crop*, Chapman and Hall Ltd., New York. pp: 111-165.
- Rakocy, J., E. 1989. Hydroponic lettuce production in a recirculating fish culture system. University of the Virgin Islands, Agricultural Experiment Station, *Island Perspectives* 3: 4-10.
- Rakocy, J., T. Losordo., and M. Masser. 1992. *Recirculating Aquaculture Tank production Systems integrating Fish and Plant Culture*. SRAC Publication No. 454. 8 p.
- Rakocy J., R. C. Shultz., D. S. Bailey., E. S. Thoman. 2003. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. *ISHS Acta Horticulturae* 648: South Pacific Soilless Culture Conference – SPSCC.
- Rakocy, J. E., D. Bailey, R. Shultz., and E. Thomas. 2004a. Intensive tank culture of tilapia with a suspended, bacterial-based, treatment process. *New Dimensions*

- on Farmed Tilapia: Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture. pp: 584–596.
- Rakocy, J. E., D. Bailey, R. Shultz., and E. Thomas. 2004b. Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponics system. Department of Agricultural Sciences, University of the Virgin Islands, Manila, United States Virgin Islands, USA. 15 p.
- Rodríguez S., F. 1996. Fertilizantes-Nutrición Vegetal. (eds.). AGT. S. A. México, D. F. 157 p.
- Rodríguez R., R., M. Tabares J., y A. Medina J. 1997. 2da edición. Cultivo Moderno de Tomate. Mundi-Prensa, México. pp: 15-21.
- Saavedra M. A. 2006. Manejo del cultivo de tilapia. Coordinación de Acuicultura, Departamento de Ciencias Ambientales y Agrarias. Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente. Universidad Centroamericana. Managua, Nicaragua. 22 p.
- Salisbury, F., B., y C. Ross W. 1992. Fisiología Vegetal. Trad. de inglés por: V. González. (ed.). Iberoamericana. México, D. F. 759 p.
- Scott, J. 2002. Evolutions Aquaponics. Aquaponics Journal 6 (1): 14-17.
- Sutton, R. J. and W. M. Lewis. 1982. "Further Observations on a Fish Production System That Incorporates Hydroponically Grown Plants. "Progress in Fish Culture". 44: 55-59.
- Talavera R., V., D. Sánchez C., L. M. Zapata V., M. C. Salazar B. 2001. El oxígeno disuelto en tanques de cultivo. Boletín Nicovita. Edición Tumpis. Lima, Perú. 8: (3) 2.
- Thompson L., M. 1982. Los Suelos y su Fertilidad. Trad. del inglés por: J. Puigdefabregas. (ed.). Reverte. Barcelona, España. 639 p.
- Torres-Novoa D., M., V. L. Hurtado-Nery. 2012. Requerimientos nutricionales para tilapia del nilo. Orinoquia Universidad de los Llanos. Villavicencio, Meta. Colombia. 16: (1) 63-68.
- Urrestarazu G., M. 2004. Tratado de Cultivo sin Suelo. Mundi-Prensa, 3ra edición. Madrid, España. 914 p.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2002. Nutrient Data Laboratory, ARS, National Food and Nutrient Analysis Program, Wave 61. National Nutrient Database for Standard Reference, Release 26. Beltsville MD.
- Van Noordwijk, M. 1999. Nutrient cycling in ecosystems versus nutrient budgets of agricultural systems. In: Smaling E. M. A., Oenema O., Fresco L. O. (ed.). Nutrient Disequilibria in Agroecosystems: Concepts and Case Studies. CAB International, UK. pp: 1-26.
- Vega V., F., C. B. Jaime., M. A. Cupul L., L. J. Galindo, y C. F. German. 2009. Acuicultura de la Tilapia a pequeña escala para autoconsumo de familias rurales y periurbanas de la costa del pacífico. Universidad de Guadalajara, Puerto Vallarta, Jalisco, México. 72 p.

Zelaya M., X. 2002. Dinámica de extracción nutrimental de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 200 p.

### 3. BALANCE DE NUTRIMENTOS EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO DE TILAPIA-JITOMATE

#### NUTRIENT BALANCE IN AQUAPONIC SYSTEM TILAPIA-TOMATO

Araceli Morgado Vega<sup>1</sup> y Mariano Jesús González Alcorta<sup>2</sup>

##### 3.1. RESUMEN

El objetivo de éste estudio fue evaluar el efecto del nivel de ofrecimiento de la dieta de tilapia; sobre el desarrollo de los peces, la concentración de nutrimentos en el agua y en el tejido de la planta, así como en la producción de frutos de jitomate. Las especies utilizadas fueron jitomate saladette variedad "El cid" y Tilapia (*Oreochromis niloticus*). El estudio fue dividido en cuatro tratamientos: 1. Hidropónico, sin peces; 2. Ofrecimiento de alimento 20% arriba de lo recomendado; 3. Ofrecimiento de alimento a nivel recomendado y 4. Ofrecimiento de alimento 20% por debajo de lo recomendado. Se utilizó un diseño completamente al azar con 4 repeticiones por tratamiento. En cuanto a los resultados de producción en el pescado, el dar un 20% menos de alimento (T4), disminuye ( $P \leq 0.05$ ) las variables peso y longitud, con respecto al T3 o normal, en un 20% menos para peso y 7% menos para longitud. Para jitomate el ofrecer un 20% menos (T4) del nivel normal del alimento disminuye ( $P \leq 0.05$ ) un 11% el número de frutos comerciales. En cuanto al contenido nutrimental, en fósforo se observa que en hoja si hay diferencia ( $P \leq 0.05$ ) pero en fruto no se detectó ( $P > 0.05$ ), en el T4 (-20%), hubo mayor acumulación de este elemento siendo superior (0.48 %) que el tratamiento hidropónico. En potasio la acumulación en hojas fue mayor ( $P \leq 0.05$ ) en el tratamiento hidropónico en comparación a los acuapónicos, de los cuales el T3 (normal) registró ( $P \leq 0.05$ ) la menor concentración de potasio en fruto. En los demás nutrimentos no hubo diferencias ( $P > 0.05$ ). Se concluye que el nivel de ofrecimiento de la dieta comercial, tuvo un efecto en el peso y longitud de los peces; en la concentración de nutrimentos en el agua, frutos y hojas del jitomate.

##### Palabras clave

Acuaponia, tilapia, recirculación nutrimental, jitomate.

##### 3.2. ABSTRACT

The aim of the present study was to evaluate the effect of the dietary level offering for tilapia on the fish development, the concentration of nutrients in the water and in the plant tissue as well as in the fruit tomato production. The species used were saladette tomato variety "El Cid" and Tilapia (*Oreochromis niloticus*). The study was divided into four treatments: 1. Hydroponic, without fish; 2. Food offered at 20% higher than recommended; 3. Food offered as recommended and 4. Food offered at 20% lower than recommended. A complete randomized design with four replicates per treatment was used. As for production results in fish, giving 20% less food (T4) diminishes ( $P \leq 0.05$ ) weight and length variables, regarding to T3 or normal, 20% less for weight and 7% for length. For tomato, to offer 20% less food (T4) than the normal feed level (T3), decreases the number of commercial fruits ( $P \leq 0.05$ ) in 11%. In relation to the nutrimental content, there was a difference ( $P \leq 0.05$ ) in the presence of phosphorus in the leaf but it was not detected in fruit ( $P > 0.05$ ), whereas in T4 (-20%) there was a greater accumulation for this mineral. T4 was higher (0.48%) than hydroponic treatment. The potassium accumulation in leaves was higher ( $P \leq 0.05$ ) in the hydroponic treatment compared to the aquaponic system, in which the T3 had the lowest potassium concentration in fruit. There were no differences ( $P > 0.05$ ) in other nutrients. It is concluded that the level of offering a commercial diet had an effect on the fish weight and length, the concentration of nutrients in the water, fruit and tomato leaves.

##### Key words

Aquaponics, tilapia, nutrient recirculation, tomato.

<sup>1</sup> Tesista <sup>2</sup> Director

### 3.3. Introducción

Acuaponía es el cultivo de peces y plantas en un sistema de recirculación cerrada. Es decir, es un sistema de producción sustentable de peces y plantas, en el que ambos se benefician del agua y los nutrientes. Los peces son alimentados y proporcionan los nutrientes a las plantas a través del agua de desecho, éstas filtran los desechos de los peces, obteniendo así, productos saludables de alto valor comercial (Rakocy *et al.*, 2003).

El agua que mantiene a los peces es rica en nutrientes naturales derivados de las heces fecales, microalgas que se forman naturalmente y la descomposición de los alimentos no aprovechados, los cuales fertilizan el cultivo de las plantas (Diver, 2006). De acuerdo con lo que explican Rakocy *et al.* (2004) En un sistema acuapónico, el agua es bombeada hacia la planta en cultivo; las raíces de las plantas y las bacterias, remueven los nutrientes del agua, que podrían ser tóxicos para los peces, transformándose en un fertilizante natural líquido para el crecimiento de ellas, a la vez de limpiar el agua, la cual, es oxigenada por medios sencillos y se reutiliza una y otra vez en los tanques de cría de peces.

La fuente de nutrientes en los sistemas de acuaponía son los desechos metabólicos generados por los peces al alimentarse, ya que solo un 35 a 40 % del alimento consumido es asimilado y transformado en carne, mientras que el resto (60-65 %) se excreta hacia el agua (Chapell, 2008). Así la cantidad de nutrientes que un sistema genere y la cantidad de plantas que pueda sostener, estará directamente relacionada con la cantidad de alimento que ingieran los peces. La cantidad de alimento que pueda ofrecerse como máximo a los peces, dependerá de la capacidad de filtración del sistema (Caló, 2011).

Las plantas absorben trece nutrientes de la solución nutritiva para el óptimo crecimiento. En los sistemas de acuaponía los residuos de los peces suelen ofrecer diez nutrientes en cantidades adecuadas. Sin embargo, la

suplementación de Ca, K y Fe se requiere en cierta medida en función de sus concentraciones en el agua utilizada (Rakocy *et al.*, 1992).

En la presente investigación, se plantea que el nivel de ofrecimiento del alimento comercial a los peces, afecta el desarrollo de los peces, la concentración de nutrimentos en el agua y la producción de frutos del jitomate.

El objetivo de éste estudio fue el de evaluar el efecto del nivel de ofrecimiento de la dieta comercial, sobre el desarrollo de los peces, la concentración de nutrimentos en el agua, en los frutos y en la hoja, así como el efecto en la producción de frutos del jitomate.

### **3.4. Materiales y métodos**

#### **3.4.1. Localización**

El trabajo se realizó en el módulo de experimentación para Acuaponia, en invernaderos del grupo Agribot, de la Universidad Autónoma Chapingo en Texcoco Estado de México. El módulo está localizado en el Valle de México a 19° 29' N y 98° 53' O a 2250 msnm. La temperatura media anual es de 15.9°C y la precipitación pluvial es de 686 mm.

#### **3.4.2. Instalaciones y sistema acuapónico**

El presente estudio fue conducido en un invernadero de 200m<sup>2</sup>, con ventilación cenital, lateral y frontal; cubierto con polietileno con 70% de transmitancia de luz. El sistema acuapónico empleado está compuesto de tinas rectangulares de polietileno de 240 litros de capacidad (0.6 m de ancho, 1 m de largo y 0.4 m de profundidad) llenas de tezontle rojo que sirvió de cama de cultivo, de tinas redondas de polietileno de 200 litros de capacidad utilizadas como estanques para los peces; cada unidad está provista con calentadores de pecera para elevar la temperatura del agua y un sistema de riego armado con tubería de PVC de media pulgada con su respectiva bomba de fuente (con capacidad para levantar agua a 3 m) para recirculación de la solución de las tinas de los peces a las camas de cultivo. El retorno del agua de las camas de cultivo a los

estanques de los peces se da por gravedad. Los componentes del sistema acuapónico se muestran en la Figura 5.



Figura 5. Componentes del sistema acuapónico en el área experimental (Elaboración propia).

El sistema de oxigenación es compartido entre todas las tinas de los peces e impulsado por una bomba de aire (Blower) de 0.5 HP que distribuyó el aire a todas por medio de tubería de PVC de 1.5 pulgadas y redistribuidas en tubos de polietileno de 5 mm.

### 3.4.3. Tratamientos y diseño experimental

Diez y seis unidades acuapónicas disponibles fueron asignadas completamente al azar a uno de cuatro tratamientos experimentales, basados en diferentes niveles de ofrecimiento de alimento como sigue: 1) Tratamiento control, sin peces, con Solución hidropónica propuesta por Steiner (1984), a la cual se adicionó 3 g por cada 100 litros de agua de la mezcla de fertilizantes quelatados Tradecorp®AZ; 2) Alimento comercial Aпитilapia de maltaCleyton® 20% arriba de lo recomendado; 3) Alimento comercial Aпитilapia a nivel recomendado; 4) Alimento comercial Aпитilapia 20% por debajo de lo recomendado. El número de peces introducidos por estanque para los tratamientos 2, 3 y 4 fueron de 70. Cada unidad acuapónica constaba de 8 plantas por cama de cultivo. En el

Cuadro 9 se puede observar la solución nutritiva utilizada en el tratamiento 1 (Hidropónico). El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. La unidad experimental fue el sistema integrado acuapónico.

Cuadro 9. Solución nutritiva utilizada en tratamiento 1 o Hidropónico, para el crecimiento del jitomate sin la presencia de peces.

	NO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>
	(meq·l <sup>-1</sup> )							
Análisis de agua			2.6	0.5	2.7	0.2	1.4	1.2
Steiner*	12	1.5	6.5			7	9	4
Aporte	12	1.5	3.9	-0.5	-2.7	6.8	7.6	2.8

\*Valores modificados por Pineda (2012).

#### 3.4.4. Cultivo del jitomate y prácticas agrícolas

La siembra de semilla de jitomate se realizó en charolas de polietileno de 200 cavidades, la variedad utilizada fue “El Cid”, a los 40 días después de la siembra se pasaron a charolas de cavidades más grandes y de menor número (50 cavidades por charola). El trasplante a las camas, donde se realizó la prueba, se realizó a los 55 días después de la siembra a una densidad de 2.8 plantas·m<sup>2</sup>, se trasplantaron 8 plantas en cada cama de cultivo. Al momento del trasplante se eliminó el primer racimo floral y se inició con el riego. Después del trasplante se monitoreo diariamente el pH y la conductividad eléctrica, con un potenciómetro Combo® de Hanna Instruments. Cuando el pH rebasó el límite superior establecido para el cultivo de tomate (7), se ajustó alrededor de 6 con ácido fosfórico al 75 %. La conductividad no se ajustó en los sistemas acuapónicos, solo en los sistemas hidropónicos se restableció cuando este bajó de 1.2 dS·m<sup>-1</sup>, para esto se reemplazó la solución nutritiva (Steiner, 1984) por solución nueva. También se midió el nivel de agua en las tinas de la solución (tanto hidropónicas como acuapónicas) y se rellenaron cuando hubo pérdidas por evapotranspiración del cultivo, manteniéndose en 150 litros por tina.

Se realizaron ocho cosechas del jitomate, a partir de la semana 18 después del trasplante de las plántulas del jitomate, hasta la semana 25, que marcó el fin del

ciclo del cultivo de 175 días en total. Durante cada una de las ocho cosechas se pesaron y contaron los frutos, los cuales se separaron en frutos comerciales y no comerciales. Los frutos comerciales se determinaron como los frutos que alcanzaron los 50 g en adelante, el resto fue considerado como frutos no comerciales. El rendimiento total se calculó en base a la suma de las ocho cosechas.

### 3.4.5. Cultivo y manejo de peces

Las crías de tilapia (*Oreochromis niloticus* sp. Rocky mountain) de 1 pulgada de longitud aproximadamente, se introdujeron en los estanques de los sistemas acuapónicos 5 días antes de realizar el trasplante, se introdujeron inicialmente 70 peces por estanque.

La cantidad de alimento durante los tratamientos, se basó en las dietas de la marca comercial maltaCleyton® ([www.maltacleyton.com.mx](http://www.maltacleyton.com.mx)) establecidas para tilapia; tomando en cuenta las recomendaciones del fabricante mismo. Las dietas se diferenciaron en dos etapas; inicial y engorda; en estas se utilizó Aпитilapia1®, en presentación de migaja triturada, y Aпитilapia3®, en presentación de pellet extruido flotante en medida de 1/8” respectivamente. En los Cuadros 10 y 11 podemos observar la composición de ambas dietas.

Cuadro 10. Composición del alimento comercial API TILAPIA 1 (Alevinaje).

Análisis garantizado:		Ingredientes:	
Humedad máx.	12%	Maíz, sorgo, pasta de oleaginosas, harina de pescado, solubles de pescado, levadura de cerveza, trigo, gluten de maíz, suero de leche seco, salvado, acemite, vitaminas A y D estabilizadas, vitaminas del complejo B incluyendo B-12, cloruro de sodio, carbonato de calcio, fosfato de calcio, yoduro de potasio, sulfato ferroso, sulfato de cobre, sulfato de magnesio, óxido de zinc.	
Ceniza máx.	12%		
Fibra máx.	5%		
Proteína mín.	40%		
Grasa mín.	4%	E.L.N. mín.	27%

maltaCleyton®

Cuadro 11. Composición del alimento comercial API TILAPIA 3 (Engorda).

Análisis garantizado:		Ingredientes:	
Humedad máx.	12%	Maíz, sorgo, melaza, pasta de oleaginosas, harina de pescado, solubles de pescado, levadura de cerveza, trigo, gluten de maíz, suero de leche seco, salvado, acemite, vitaminas A y D estabilizadas, vitaminas del complejo B incluyendo B-12, cloruro de sodio, carbonato de calcio, fosfato de calcio, yoduro de potasio, sulfato ferroso, sulfato de cobre, sulfato de magnesio, sulfato de manganeso, óxido de zinc.	
Ceniza máx.	12%		
Fibra máx.	3%		
Proteína mín.	30%		
Grasa mín.	3%	E.L.N. mín.	37%

maltaCleyton®

Los peces fueron alimentados dos veces al día por la mañana y por la tarde. En el Cuadro 12 se muestra la cantidad de ración ofrecida en relación al aumento del peso de los peces.

Cuadro 12. Ración (g) ofrecida a los peces dos veces al día.

Tratamiento	Etapa 1 (inicial)		Etapa 2 (engorda)	
	Día 66	Día 96	Día 150	Día 180
2 (+20%)	12.6	28.8	38.4	57.6
3 (Normal)	10.5	24.0	32.0	48.0
4 (-20%)	8.4	19.2	25.6	38.4

Etapa 1: Aпитilapia1®, Etapa 2: Aпитilapia3®, de la marca maltaCleyton® ([www.maltacleyton.com.mx](http://www.maltacleyton.com.mx)).

### 3.4.6. Variables medidas en la planta y rendimiento

-Características físicas: altura, diámetro de tallo, número de hojas, peso fresco, color característico y peso de materia seca.

-Contenido de nutrimentos: en hoja con base en materia seca, determinando N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu, Mn, y B; tomando en cuenta el Manual de Procedimientos para Análisis Químico de Tejido Vegetal, del laboratorio de Nutrición Vegetal del Departamento de Suelos de la UACH. Para la determinación de todos los nutrimentos, se usaron 0.5 g de materia seca, que

se sometieron a una digestión húmeda con una mezcla de solución diácida (ácido sulfúrico y ácido perclórico en relación 4:1) se agregaron 6 ml de agua oxigenada al 30 %. Después de la digestión se aforó a 50 ml con agua destilada. La determinación del contenido de nitrógeno se hizo por el método de microkjeldahl (Chapman y Pratt, 1973). El contenido de P por el método de molibdovanadato amarillo (Chapman y Pratt, 1973) leyendo la absorbancia a 420 nm en un espectrofotómetro Spectronic 20 de Bausch & Lomb. El contenido de K se determinó por flamometría (Chapman y Pratt, 1973), para lo cual se usó un fotómetro de flama Corning 400. Las concentraciones de Ca y Mg se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica, leyendo en un espectrofotómetro de Pye Unicam SP9 de Phillips.

#### **3.4.7. Variables medidas en el pez**

Se evaluó la ganancia de peso y la longitud en el pez, medición que se realizó cada 15 días a través de una balanza electrónica, además de la vigilancia diaria del estado de salud. La cantidad de alimento ofrecido se calculó con base al peso del pez y a la tabla de alimentación del alimento comercial correspondiente.

#### **3.4.8. Análisis estadísticos**

En primer lugar, se estudió el efecto del día de muestreo y de los tratamientos en los peces. Las variables se analizaron con un modelo factorial que a continuación se describe:

$$Y_{ij} = \mu + D_i + T_j + D_i * T_j + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ij}$ : variable estudiada

$\mu$ : media general

$D_i$ : día  $i$ ésimo

$T_j$ : tratamiento jésimo

$D_i * T_j$ : interacción entre  $D_i$  y  $T_j$

$E_{ijk}$ : error experimental del día  $i$ , tratamiento  $j$  e interacción

En segundo lugar y dentro de cada etapa, se evaluaron los tratamientos aplicados a los peces. Las variables fueron sometidas a un análisis de varianza bajo el siguiente modelo completamente al azar:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$ : variable estudiada

$M$ : media general

$T_j$ : tratamiento

$E_{ij}$ : error experimental del tratamiento  $i$  y la repetición  $j$

En tercer lugar la solución, y para estimar el contenido mineral a los 175 días, se utilizó un modelo completamente al azar. En cuarto lugar jitomate, y para estimar la producción total del jitomate a los 175 días, se utilizó un modelo completamente al azar. El análisis de datos se llevó a cabo mediante el programa de SAS® 2009 y la comparación de medias fue realizada mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### **3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.5.1. Rendimiento de peces**

El efecto de tratamiento y del día sobre el grupo total de datos, en relación a las variables peso y longitud en los peces, se muestran en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Efecto del tratamiento y día del ciclo productivo en el peso y longitud de los peces.

Variable	Peso (g)	Longitud (cm)	P. Valor
<b>Tratamiento</b>			
2 (+20%)	77.5 ± 15.9 <sup>a</sup>	13.7 ± 1.1 <sup>a</sup>	0.008
3 (Normal)	73.2 ± 15.4 <sup>a</sup>	13.6 ± 1.1 <sup>a</sup>	
4 (-20%)	58.6 ± 11.8 <sup>b</sup>	12.7 ± 1.0 <sup>b</sup>	
EEM	3.63	0.23	
<b>Día</b>			
1	2.01 ± 0.10 <sup>e</sup>	.	0.0001
20	4.67 ± 0.41 <sup>e</sup>	6.22 ± 0.29 <sup>f</sup>	
66	10.46 ± 0.60 <sup>d</sup>	8.29 ± 0.23 <sup>e</sup>	
96	33.10 ± 2.67 <sup>d</sup>	11.24 ± 0.22 <sup>d</sup>	
150	84.43 ± 6.20 <sup>c</sup>	16.14 ± 0.44 <sup>c</sup>	
200	164.09 ± 10.7 <sup>b</sup>	17.73 ± 0.45 <sup>b</sup>	
230	189.58 ± 10.5 <sup>a</sup>	20.54 ± 0.35 <sup>a</sup>	
EEM	5.6	0.33	

<sup>a</sup>Medias con la misma letra, dentro de cada columna y efecto principal, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una P < 0.05

En el Cuadro 13 se puede observar que hay ( $P \leq 0.05$ ) un efecto de tratamiento. El dar un 20% menos de alimento (Tratamiento 4), afecta ( $P \leq 0.05$ ) las variables peso y longitud con respecto al Tratamiento 3 o Normal, en un 20% menos para peso y 7% menos para longitud. La interacción tratamiento\*día no fue significativa ( $P = 0.78$ ).

En cuanto al efecto día, se detectaron ( $P \leq 0.05$ ) diferencias a través del tiempo para las variables peso y longitud. En las Figuras 6 y 7 puede observarse el efecto del nivel de ofrecimiento del alimento a través del tiempo, para las variables peso y longitud.

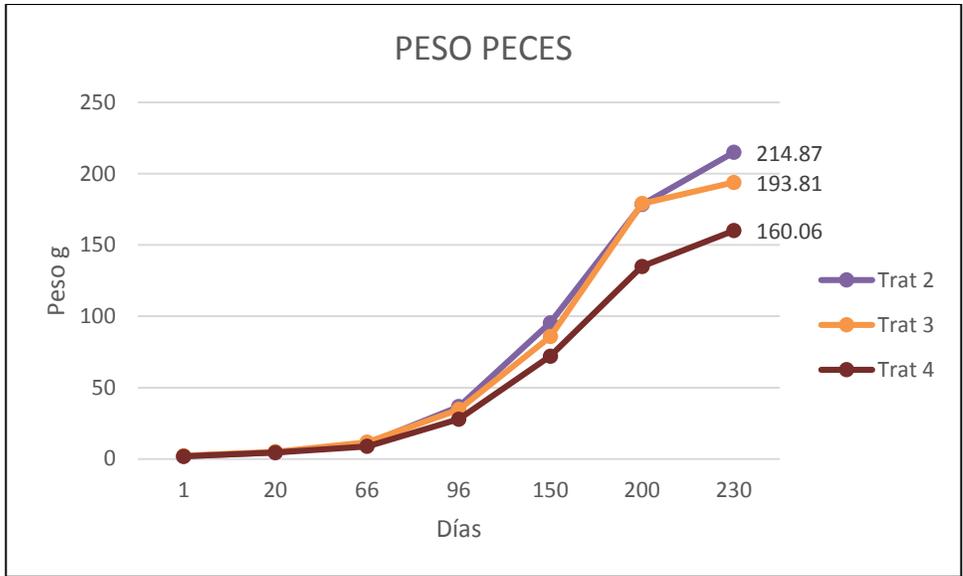


Figura 6. Efecto del tratamiento y del día sobre el peso de los peces.

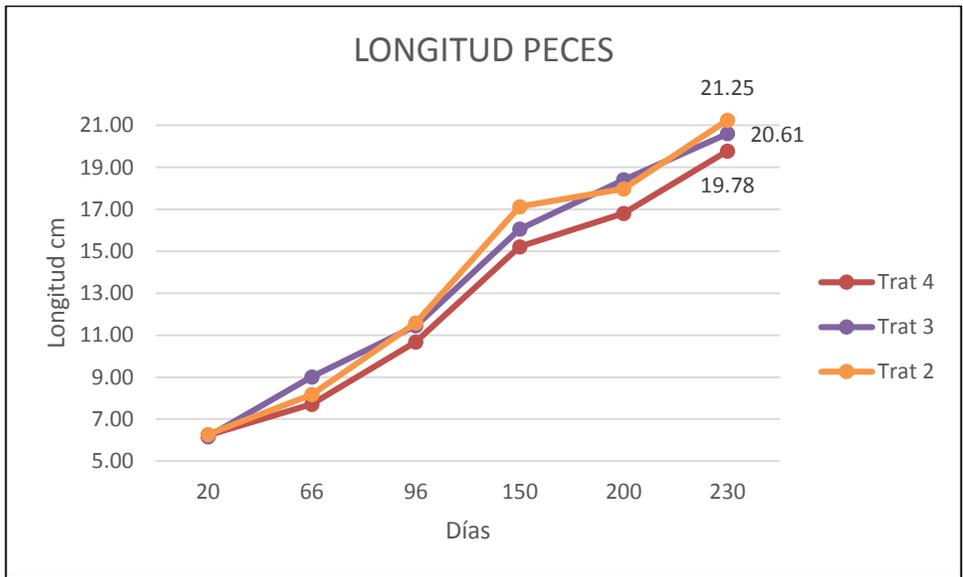


Figura 7. Efecto del tratamiento y del día sobre la longitud de los peces.

En el Cuadro 14 se muestra el efecto del tratamiento en las características de crecimiento de los peces durante un período productivo de 230 días.

Cuadro 14. Longitud y peso promedio de peces en el periodo completo de producción en 230 días.

Tratamiento	Peso promedio g	Longitud promedio cm
2 (+20%)	214.9 ± 13.0 <sup>a</sup>	21.3 ± 0.34 <sup>a</sup>
3 (Normal)	193.8 ± 21.2 <sup>a</sup>	20.6 ± 0.82 <sup>a</sup>
4 (-20%)	160.0 ± 9.7 <sup>b</sup>	19.8 ± 0.44 <sup>b</sup>
EEM	15.41	0.57

<sup>z</sup>Medias con la misma letra, dentro de cada columna, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una P < 0.05

### 3.5.2. Concentración de minerales en la solución

Las concentraciones de potasio, magnesio y sodio en la solución a los 175 días de la experimentación se presentan en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Concentración de minerales en la solución a los 175 días de experimentación.

Tratamiento	K mgL <sup>-1</sup>	Mg mgL <sup>-1</sup>	Na mgL <sup>-1</sup>
1 (Hidropónico)	43.2 ± 1.24 <sup>a</sup>	64.9 ± 0.69 <sup>a</sup>	82.0 ± 2.36 <sup>a</sup>
2 (+20%)	30.8 ± 7.41 <sup>a</sup>	85.9 ± 21.7 <sup>a</sup>	133.45 ± 21.5 <sup>a</sup>
3 (Normal)	27.0 ± 1.77 <sup>a</sup>	110.6 ± 14.0 <sup>a</sup>	108.3 ± 10.7 <sup>a</sup>
4 (-20%)	5.85 ± 0.98 <sup>b</sup>	64.6 ± 7.61 <sup>a</sup>	104.7 ± 8.41 <sup>a</sup>
EEM	3.89	13.50	12.8

<sup>z</sup>Medias con la misma letra, dentro de cada columna, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una P < 0.05

En el Cuadro 15 se puede observar que la concentración de potasio fue menor (P ≤ 0.05) en el tratamiento 4 (-20%), con respecto a los otros tratamientos. En lo que concierne al magnesio y al sodio, no se encontraron (P > 0.05) diferencias significativas debido a la gran variación existente entre los datos.

### 3.5.3. Rendimiento de Jitomate

El rendimiento se evaluó por separado en frutos comerciales (peso de 50 g en adelante) y no comerciales (peso menor a 49 g), el Cuadro 16 muestra la comparación de medias en número y peso, se observa al tratamiento hidropónico (T1) como el tratamiento en el cual se obtuvo el mejor rendimiento

tanto en número como en peso, en frutos comerciales y no comerciales. En el peso total de frutos, este tratamiento, supera por 3.27 kg al promedio del rendimiento de los tratamientos acuapónicos; en número de frutos es superior por 21.6 sobre el promedio de los tratamientos de acuaponia.

Cuadro 16. Comparación de medias para número y peso de frutos por planta de jitomate cultivado en hidroponia y acuaponia con diferentes cantidades de alimento para tilapia.

Tratamiento	Frutos comerciales		Frutos no comerciales		Total	
	No.·planta <sup>-1</sup>	g.planta <sup>-1</sup>	No.·planta <sup>-1</sup>	g.planta <sup>-1</sup>	No.·planta <sup>-1</sup>	g.planta <sup>-1</sup>
1 Hidropónico	72.75 <sup>a</sup>	8391.5 <sup>a</sup>	13.0 <sup>a</sup>	449.68 <sup>a</sup>	85.5 <sup>a</sup>	8712.9 <sup>a</sup>
2 (+20%)	58.18 <sup>b</sup>	5575.0 <sup>b</sup>	12.2 <sup>ab</sup>	321.25 <sup>a</sup>	70.4 <sup>b</sup>	6024.7 <sup>b</sup>
3 (Normal)	56.15 <sup>b</sup>	5090.4 <sup>b</sup>	8.1 <sup>ab</sup>	276.08 <sup>a</sup>	64.2 <sup>b</sup>	5366.4 <sup>b</sup>
4 (-20%)	50.025 <sup>c</sup>	4688.5 <sup>b</sup>	7.2 <sup>b</sup>	247.48 <sup>a</sup>	57.2 <sup>c</sup>	4936.0 <sup>c</sup>
DMS*	6.6	1152.8	5.8	272.5	7.9	1073.3

<sup>2</sup>Medias con la misma letra, dentro de cada columna, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una  $P < 0.05$ . \*Diferencia Mínima Significativa.

En lo que concierne al peso y número de frutos comerciales del jitomate (Cuadro 16), se observa que el tratamiento hidropónico produce ( $P \leq 0.05$ ) mayor número de gramos y frutos comerciales en comparación a los tratamientos acuapónicos o de ofrecimiento de alimento. La comparación entre los tratamientos acuapónicos, muestra que no existe diferencia ( $P > 0.05$ ) entre ofrecer un 20% más del nivel normal del alimento y el nivel normal, mientras que el ofrecer un 20% menos del nivel normal del alimento disminuye ( $P \leq 0.05$ ) un 11% el número de frutos comerciales. Se observaron las mismas tendencias, cuando se proyectó el peso total de frutos por m<sup>2</sup> y por hectárea (Cuadro 17).

Los resultados encontrados, tanto en número total de frutos por planta como en peso de fruto total por planta, difieren a los informados por Roosta y Hamidpour (2011) quienes no encontraron ( $P > 0.05$ ) diferencia estadística significativa entre un tratamiento acuapónico y uno hidropónico, tanto en número de frutos por planta como en peso de fruto por planta, aunque si hubo ligera superioridad del tratamiento hidropónico testigo.

McMurtry et al. (1993) encontraron que al incrementar el número de plantas por estanque de peces, disminuyó ( $P < 0.05$ ) el número de frutos por planta, lo que

indica que cada planta requiere una cantidad mínima de nutrimentos para el desarrollo de los frutos. En la presente investigación se observó el mismo efecto para el número de frutos, al disminuir la cantidad ofrecida de alimento a los peces.

Los resultados obtenidos en los tratamientos de acuaponia, son inferiores a los reportados por Chappell *et al.* (2008) quienes encontraron rendimientos mayores de lo que habían previsto en un sistema acuapónico experimental, al cultivar tilapia y jitomate. Obtuvieron alrededor 10-12 toneladas en un invernadero de 266.2 m<sup>2</sup> por año. Esto equivale a 376-451 t/ha/año.

Cuadro 17. Comparación de medias para rendimiento de jitomate cultivado en hidroponia y acuaponia con diferentes cantidades de alimento para tilapia.

<b>Tratamiento</b>	<b>kilogramos·m<sup>2</sup></b>	<b>toneladas·ha</b>
1 (Hidropónico)	24.37 <sup>a</sup>	243.96 <sup>a</sup>
2 (+20%)	16.87 <sup>b</sup>	168.69 <sup>b</sup>
3 (Normal)	15.03 <sup>b</sup>	150.26 <sup>b</sup>
4 (-20%)	13.82 <sup>c</sup>	138.21 <sup>c</sup>
DMS*	3.005	30.053

<sup>2</sup>Medias con la misma letra, dentro de cada columna, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una P < 0.05. \*Diferencia Mínima Significativa.

### **3.5.4. Contenido nutrimental en jitomate**

El contenido de macronutrimentos del fruto y hoja del jitomate cultivado en hidroponía y acuaponia en relación a los tratamientos experimentales son mostrados en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Comparación de medias para contenido de macronutrientes obtenido del análisis de fruto (F) y hoja (H) en base seca, de jitomate cultivado en hidroponia y acuaponia con diferentes cantidades de alimento para tilapia a los 175 días de experimentación.

Tratam.	N,%		P,%		K,%		Ca,%		Mg,%		Na,%	
	F	H	F	H	F	H	F	H	F	H	F	H
1	4.83 <sup>a</sup>	7.40 <sup>a</sup>	0.30 <sup>a</sup>	0.55 <sup>b</sup>	3.22 <sup>a</sup>	1.05 <sup>a</sup>	0.4 <sup>a</sup>	3.49 <sup>a</sup>	0.4 <sup>a</sup>	3.49 <sup>a</sup>	0.98 <sup>a</sup>	0.41 <sup>a</sup>
Hidropónico												
2 (+20%)	5.57 <sup>a</sup>	6.80 <sup>a</sup>	0.37 <sup>a</sup>	0.84 <sup>a</sup>	2.01 <sup>a</sup>	0.57 <sup>b</sup>	0.5 <sup>a</sup>	4.28 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	4.28 <sup>a</sup>	0.90 <sup>a</sup>	0.50 <sup>a</sup>
3 (Normal)	4.33 <sup>a</sup>	6.83 <sup>a</sup>	0.32 <sup>a</sup>	0.93 <sup>a</sup>	1.47 <sup>b</sup>	0.39 <sup>b</sup>	0.4 <sup>a</sup>	4.38 <sup>a</sup>	0.4 <sup>a</sup>	4.38 <sup>a</sup>	0.66 <sup>a</sup>	0.35 <sup>a</sup>
4 (-20%)	7.50 <sup>a</sup>	8.73 <sup>a</sup>	0.48 <sup>a</sup>	1.03 <sup>a</sup>	2.11 <sup>a</sup>	0.51 <sup>b</sup>	0.5 <sup>a</sup>	4.40 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	4.40 <sup>a</sup>	0.83 <sup>a</sup>	0.43 <sup>a</sup>
DMS	4.27	2.92	0.27	0.24	1.22	0.4	0.3	2.69	0.3	2.69	0.42	0.19

<sup>2</sup>Medias con la misma letra, dentro de cada columna, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una  $P < 0.05$

### 3.5.5. Nitrógeno

En cuanto al nitrógeno en el Cuadro 18 se observa que tanto en hoja como en fruto, no hay diferencia ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos, aunque el T4 (-20%) es 1.93% superior en nitrógeno, que el T2 (+20%) en fruto y 1.33 % más que T1 (Hidropónico) en hoja.

Los valores encontrados, en el análisis foliar de todos los tratamientos, son superiores al rango informado como óptimo por Jones (1998) quien indica que los valores adecuados se encuentran entre 2.8 y 6%; los tratamientos 2 (+20%) y 3 (Normal) son los más cercanos al óptimo, con valores de 6.80 y 6.83% respectivamente; mientras que los tratamientos 1 (Hidropónico) y 4 (-20%) son los que superan por un mayor porcentaje a estos valores (7.40 y 8.73%).

### 3.5.6. Fósforo

Se observa que en hoja si hay diferencia ( $P \leq 0.05$ ) de la concentración de fósforo, pero en fruto no se detectó ( $P > 0.05$ ). Se observa que en hoja en el Tratamiento 4 (-20%) hubo mayor acumulación de este elemento siendo superior (0.48 %) que el Tratamiento 1 (Hidropónico).

Los Tratamientos 1(Hidropónico) y 2 (+20%) se encuentran dentro del rango óptimo, en hoja (0.3 %-0.9 %) según Jones (1998); el Tratamiento 3 (Normal) es ligeramente superior y el tratamiento 4 (-20%) es el valor más alto encontrado, de acuerdo con Adams (1986) valores mayores a 1 % pueden ser perjudiciales para la planta, sin embargo no se observó alguna afectación visible por exceso de este nutrimento.

### **3.5.7. Potasio**

La acumulación de potasio en hoja fue mayor ( $P \leq 0.05$ ) en el Tratamiento 1 (Hidropónico) en comparación a los tratamientos acuapónicos. El Tratamiento 3 (Normal) registró ( $P \leq 0.05$ ) la menor concentración de potasio en fruto, en comparación a los otros tratamientos.

De acuerdo al rango de valores óptimos (2.5 -6.0 %) reportados por Jones (1998) para análisis foliar, este nutrimento fue deficiente en todos los tratamientos.

Savidov (2005) menciona que los requerimientos de K son diferentes para las plantas y los peces, por lo tanto la mayoría de los alimentos para peces no lo contienen en cantidades suficientes para cubrir los requerimientos de potasio de las plantas.

### **3.5.8. Calcio**

En lo que concierne al contenido de calcio en el fruto y hoja no se detectó diferencia ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos. Los valores de calcio encontrados en todos los tratamientos se encuentran como óptimos de acuerdo con Jones (1998), quien reporta un rango adecuado de 0.9 - 7.2 % de contenido de este nutrimento en tejido foliar de jitomate.

### **3.5.9. Magnesio**

El contenido de magnesio no muestra ( $P>0.05$ ) diferencia significativa. El magnesio se encuentra por arriba de los valores óptimos informados por Cadahía (2001) (0.6-1.2 %) y Jones (1998) (0.4-1.3 %) Los tratamientos más cercanos al óptimo son el 1 (Hidropónico) y el 2 (+20%)

El exceso de Mg en el tejido de las hojas explica la deficiencia de K observada, de acuerdo con Jones (1998) alto contenido de Mg en el tejido trae como consecuencia una deficiencia de potasio.

### **3.5.10. Sodio**

No existe diferencia ( $P>0.05$ ) estadística significativa entre los tratamientos. Cadahía (2001) informa valores de sodio en análisis foliares que van de 0.1 a 0.6% como valores de referencia en algunos sistemas de cultivo de jitomate; en los valores presentados en el Cuadro 18 se observa que todos los valores se encuentran dentro de este rango.

## **3.6. CONCLUSIONES**

En el presente trabajo se concluye que el nivel de ofrecimiento de la dieta comercial, tiene un efecto en el peso y longitud de los peces; así como en la concentración de nutrimentos en el agua, de igual manera en los frutos y en la hoja del jitomate.

### 3.7. LITERATURA CITADA

- Adams, P. 1986. Mineral nutrition. In: The Tomato Crop. Atherton, J., Rudich, J. (eds). Chapman and Hall Ltd. New York. pp: 281-334.
- Caló P. 2011. Introducción a la Acuaponia. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola- CENADAC. Argentina. 15p.
- Cadahía L., C. 2001. Fertilización. In: El Cultivo del Tomate. Nuez, F. (ed.). Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 166-188.
- Chapell, J. A., T. W. Brown and T. Purcell. 2008. A demonstration of tilapia and tomato culture utilizing an energy efficient integrated system approach. 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture 2008. pp: 23-32.
- Chapman H. D. y P. E. Pratt. 1973. Método de Análisis de Suelos, Plantas y Agua. Trad. del inglés por: A. Contin. (ed). Trillas. Mexico, D. F. 195 p.
- Diver, S. 2006. Aquaponics – Integration of Hydroponics with Aquaculture. ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service. North Carolina. pp: 1-28.
- Jones, J. B. 1998. Tomato plant culture: In the field, greenhouse and home garden. CRC press. pp: 51-71.
- McMurtry, M. D., R. P. Sanders, R. P. Patterson., and A. Nash. 1993. Yield of tomato with recirculating aquacultural water. Journal of Production Agriculture 6 (3): 428-432.
- Pineda P., J. 2012. Consulta personal.
- Rakocy, J., T. Losordo., M. Masser. 1992. Rakocy Recirculating Aquaculture Tank production Systems integrating Fish and Plant Culture. SRAC Publication No. 454.
- Rakocy J., R. C. Shultz., D. S. Bailey., E. S. Thoman. 2003. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. ISHS Acta Horticulturae 648: South Pacific Soilless Culture Conference – SPSCC.
- Rakocy, J. E., Bailey, D., Shultz, R., Thomas, E. 2004. Intensive tank culture of tilapia with a suspended, bacterial-based, treatment process. New Dimensions on Farmed Tilapia: Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture. pp. 584–596.
- Roosta, H. R., M. Hamidpour. 2011. Effects of foliar application of some macro- and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. Scientia Horticulturae 129: 396-402.
- Savidov, N. 2005. Evaluation of aquaponics technology in Alberta, Canada. Aquaponics Journal 37: 20-25.
- Steiner, A., A. 1984. The universal nutrient solution. In: Proceedings 6th International Congress on Soilles Culture. Wageningen. The Netherlands. pp: 633-650.