

**Comparación de la producción de lechuga a  
6, 12 y 18 plantas/m<sup>2</sup> con 40 y 70 ppm de  
nitrógeno total en acuaponía con tilapia**

**Elmer Odir Grande Zometa  
Pedro Rodrigo Luna Vega**

**Zamorano, Honduras**  
Diciembre, 2010

ZAMORANO  
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

# **Comparación de la producción de lechuga a 6, 12 y 18 plantas/m<sup>2</sup> con 40 y 70 ppm de nitrógeno total en acuaponía con tilapia**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingenieros Agrónomos en el Grado  
Académico de Licenciatura

Presentado por

**Elmer Odir Grande Zometa  
Pedro Rodrigo Luna Vega**

**Zamorano, Honduras**  
Diciembre, 2010

# **Comparación de la producción de lechuga a 6, 12 y 18 plantas/m<sup>2</sup> con 40 y 70 ppm de nitrógeno total en acuaponía con tilapia**

Presentado por:

Elmer Odir Grande Zometa  
Pedro Rodrigo Luna Vega

Aprobado:

---

Daniel Meyer, Ph.D.  
Asesor Principal

---

Abel Gernat, Ph.D.  
Director de la Carrera de Ciencia y  
Producción Agropecuaria

---

Jeffery Pack, D.P.M.  
Asesor

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Decano Académico

---

Claudio Castillo, Ing.  
Asesor

---

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.  
Rector

---

John Jairo Hincapié, Ph.D.  
Coordinador Área Temática  
Zootecnia

## RESUMEN

Grande, E.; Luna, P. 2010. Comparación de la producción de lechuga a 6, 12 y 18 plantas/m<sup>2</sup> con 40 y 70 ppm de nitrógeno total en acuaponía con tilapia. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 15 p.

Existe un creciente interés sobre la integración de las técnicas de producción de cultivos hidropónicos y cultivos acuícolas. Las excretas y desechos metabólicos de los peces son utilizados por las plantas para llenar sus requerimientos y a su vez mejoran la calidad del agua para los peces. El objetivo de este estudio fue evaluar dos dosis de nitrógeno y tres densidades de las plantas en la producción de lechuga hidropónica integrada con el cultivo de tilapia en Zamorano, Honduras. El estudio se realizó en la Estación de Acuicultura de la Escuela Agrícola Panamericana usando cuatro pilas de concreto con dimensiones de 2.5 × 3.0 × 1.0 m, llenadas con 7.5 m<sup>3</sup> de agua. Se trasplantó a nueve láminas de poli-estireno, un total de 66 lechugas (Vertemar) de 21 días de edad, a densidades de 6, 12 y 18 plantas/m<sup>2</sup> en dos ciclos de 28 días cada uno. Fueron sembrados 150 tilapias del Nilo de 164 g de peso promedio en una jaula colocada en cada pila. Se evaluaron seis tratamientos en un diseño de parcelas divididas aplicando 40 o 70 ppm de N y tres densidades de lechuga. La densidad de siembra de lechugas afectó el peso promedio total del follaje por lámina, logrando la mayor cosecha a 18 plantas/m<sup>2</sup> y la menor a 6 plantas/m<sup>2</sup>. La densidad de siembra de lechugas no afectó el peso promedio individual del follaje de lechuga. A la mayor densidad de siembra se observó la menor sobrevivencia de lechugas combinando los datos de los dos ciclos del ensayo. El peso promedio individual y total por lámina del follaje de lechuga fueron superiores con 40 ppm de N en el agua, combinando los datos de los dos ciclos del ensayo. No se detectó ninguna diferencia en el porcentaje de sobrevivencia de las plantas y peces según los niveles de fertilización. El mayor ritmo de ganancia de peso para los peces fue observado en el ciclo dos con 40 ppm de N. Las concentraciones N y P en el agua de las pilas disminuyeron a lo largo de cada uno de los dos ciclos del ensayo.

**Palabras clave:** hidroponía, *Lactuca sativa*, *Oreochromis sp.*, policultivos, piscicultura.

## ABSTRACT

Grande, E.; Luna, P. 2010. Comparison of lettuce production at 6, 12 and 18 plants/m<sup>2</sup> with 40 and 70 ppm of total nitrogen in aquaponics with tilapia. Especial Graduation Project of the Program of Agricultural Engineering, Zamorano. Honduras. 15 p.

There is increasing interest on the integration of hydroponic production techniques and aquaculture farming. The manure and other metabolic wastes of fish can be used by plants to partially meet their nutrient requirements, and in turn the plants improve the water quality for the fish. The objective of this study was to evaluate two levels of nitrogen and three densities of lettuce in aquaponic production with tilapia in Zamorano, Honduras. The study was conducted at the Aquaculture Station of the Escuela Agricola Panamericana using four concrete tanks (2.5 × 3.0 × 1.0 m) filled with 7.5 m<sup>3</sup> of lake water. Twenty-one day old lettuce (Vertemar) was transplanted to 36 styra-foam sheets (1.2 × 0.5 × 0.1 m) at densities of 6, 12 and 18 plants/m<sup>2</sup>. Three sheets with each plant density were placed in each tank at the start of each of two 28-day production cycles. A total of 150 Nile tilapia, with an average weight of 164 g, was stocked in a 1 m<sup>3</sup> cage placed in each tank. The experiment consisted of six treatments (two fertilization rates × three plant densities) in a split plot design. The planting density affected the average total weight of the lettuce foliage/sheet, with the greatest harvest weight attained at 18 plants/m<sup>2</sup> and the lowest at 6 plants/m<sup>2</sup>, but did not affect the average individual weight of the lettuce foliage. The lettuce plants at the highest density had the lowest survival rate, and the average individual and total weight of foliage/sheet were greater for plants in the 40 ppm N solution, combining the results from the two production cycles. No difference was detected in the survival of plants and fish related to the N fertilization rates used in the experiment. The greatest fish growth rate was observed during the first cycle and with 40 ppm of N in the water. The concentrations of N and P in the water went down throughout each cycle of the experiment.

**Keywords:** Fish culture, hydroponics, *Lactuca sativa*, *Oreochromis sp.*

## CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| Portadilla .....                          | i         |
| Página de Firmas .....                    | ii        |
| Resumen.....                              | iii       |
| Contenido.....                            | iv        |
| Índice de cuadros, figuras y anexos ..... | v         |
| <br>                                      |           |
| <b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>              | <b>1</b>  |
| <b>2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>      | <b>3</b>  |
| <b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>    | <b>6</b>  |
| <b>4. CONCLUSIONES.....</b>               | <b>12</b> |
| <b>5. RECOMENDACIONES.....</b>            | <b>13</b> |
| <b>6. LITERATURA CITADA .....</b>         | <b>14</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

| Cuadro |   | Página |
|--------|---|--------|
| 1.     | Comparación de la ganancia de peso y sobrevivencia de la tilapia en dos ciclos de acuaponía con lechuga con dos niveles iniciales de nitrógeno en el agua, en Zamorano, Honduras, 2010. ....  | 7      |
| 2.     | Comparación de dos ciclos de 28 días de duración de producción de lechuga en un sistema de acuaponía con tilapia, Zamorano, Honduras, 2010.....   | 10     |
| 3.     | Comparación de la producción promedio del follaje de lechuga a tres densidades en un sistema de acuaponía con tilapia, combinando datos de los dos ciclos del ensayo, Zamorano, Honduras, 2010. ....  | 11     |
| 4.     | Comparación de la producción de lechuga variedad Vertemar con dos niveles de nitrógeno inicial en un sistema de acuaponía con tilapia, combinando datos de dos ciclos de producción de 28 días duración cada uno, Zamorano, Honduras, 2010..... | 11     |
|        |   |        |
| Figura |   | Página |
| 1.     | Concentraciones detectadas de nitrógeno en el agua en un sistema de acuaponía con tilapia y lechuga fertilizada con dos niveles de N, durante dos ciclos, en Zamorano, Honduras, 2010. ....   | 8      |
| 2.     | Concentraciones detectadas de fósforo en el agua en un sistema de acuaponía con tilapia y lechuga fertilizada con un solo nivel de P, durante dos ciclos, en Zamorano, Honduras, 2010. ....   | 9      |

## 1. INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa*) es la planta más importante del grupo de las hortalizas de hoja y pertenece a la familia Compositae. Es una planta herbácea, anual que posee un sistema radicular profundo y poco ramificado. Las hojas de las lechugas son lisas, sin peciolo. Los cultivares de acuerdo a su forma son: tipo cabeza y Romana. Tiene usos principalmente alimenticios y medicinales como narcótico o calmante. El rango de temperatura para su desarrollo es de 13 a 25° C siendo la óptima entre los 16 y 22° C. Crece en suelo con un rango de pH de 6.0 a 6.8 y es considerada como una hortaliza ligeramente tolerante a la acidez (Hernández 1993).

La tilapia es una de las especies piscícolas más cultivada en todo el mundo. Es una especie adaptable a agua salobre y fácil de cultivar. Habitualmente no se ve afectada por enfermedades o por cambios en la calidad del agua. La tilapia puede tener un alto ritmo de crecimiento cultivada en altas densidades en comparación con otras especies de peces. Por todas sus bondades, es una especie popular en los países tropicales y subtropicales en vías de desarrollo (Egna y Boyd 1996).

La hidroponía es una técnica de producción de cultivos en agua fertilizada sin utilizar el suelo. La palabra hidroponía proviene del griego y significa “trabajo en agua”. Con la hidroponía se elimina la necesidad de terrenos extensos y permite la producción de cultivos en invernaderos o incluso en lugares donde antes no se podía cultivar. Las técnicas de la hidroponía permiten proveer las cantidades necesarias de nutrientes directamente a las raíces de cada planta (Sorenson y Relf 2009).

La lechuga es el segundo cultivo más producido a nivel hidropónico después del tomate. Este cultivo germina y se desarrolla entre 50-60 días. En la técnica hidropónica resulta muy económico y seguro producir lechugas ya que se puede aprovechar recursos como el agua y fertilizantes. Además que es mucho más fácil poder controlar y evitar las plagas y los ataques de insectos en este sistema (Alpizar 2008).

Los policultivos pueden ser más eficientes que los monocultivos. La idea de combinar el cultivo hidropónico de hortalizas y la producción de peces, denominado acuaponía, ha generado mucho interés en los últimos 20 años. Algunos investigadores y productores de varias partes del mundo han desarrollado la acuaponía en un modelo de producción sostenible de los alimentos (Diver 2006).

Las plantas requieren de 16 nutrientes para su crecimiento y estos se pueden proveer por el aire, agua y fertilizantes. La clave para un buen manejo de la fertilización es mantener



un nivel adecuado de nutrientes a través de todo el ciclo de vida de la planta. El uso excesivo o cantidades insuficientes pueden resultar en un desarrollo pobre del cultivo (Hochmuth y Hochmuth 2001). Las concentraciones recomendadas para preparar una solución nutritiva para lechuga hidropónica debe contener 149 mg/L de N, 27 mg/L de P, 159 mg/L de K y 40 mg/L Ca (Anónimo 2005).

En un sistema de acuaponía las excretas y desechos metabólicos de los peces son acumulados en los tanques y pueden alcanzar niveles utilizables por las plantas para llenar sus requerimientos nutricionales. Las plantas extraen nutrientes, y a su vez, mejoran la calidad de agua para los peces.

En estudios realizados en EEUU, Australia y otros países, se han identificado tres elementos esenciales para las lechugas que los peces no pueden proveer. Estos elementos son el hierro, calcio y potasio (Rakocy 1997).

El hierro es requerido por los citocromos en la célula vegetal y para la síntesis de la clorofila. El calcio es un componente importante de la pared celular vegetal al igual que en el mantenimiento y permeabilidad de la membrana. El potasio es importante en el funcionamiento de los estomas de las hojas y ayuda en la síntesis de proteínas (Raven *et al.* 2005).

En Zamorano existe un interés en diversificar los programas académicos y experiencias de los alumnos enseñándoles nuevas técnicas de producción como la acuaponía. Se han realizado estudios anteriores en la EAP sobre este tema (Castilblanco e Hidalgo, 2009; Arriaza y Martínez, 2009).

El objetivo general del ensayo fue comparar la producción de lechuga variedad Vertemar a tres densidades de siembra en acuaponía con tilapia en pilas con dos concentraciones de N en el agua. Los objetivos específicos fueron comparar la sobrevivencia y crecimiento de la lechuga a densidades de siembra de 6, 12 y 18 plantas/m<sup>2</sup> en hidroponía con tilapia, en agua con 40 o 70 ppm de nitrógeno total, evaluar la ganancia de peso y sobrevivencia de los peces durante un dos ciclos de acuaponía con lechuga durante 30 días, y monitorear las concentraciones de N total y P total en el agua al inicio, medio y al final del ensayo.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **UBICACIÓN DEL ESTUDIO**

El estudio se realizó de julio a septiembre de 2010 en la Estación de Acuicultura de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), valle del Río de Yegüare, Departamento de Francisco Morazán, Honduras. El sitio está ubicado a 32 km al este de Tegucigalpa, a una altura de 800 metros sobre el nivel del mar, una temperatura promedio anual que oscila entre 24 y 25° C, con una precipitación de 1100 mm anuales.

### **PILAS**

Se utilizaron cuatro pilas de concreto de  $2.5 \times 3.0 \times 1.0$  m que fueron llenadas con aproximadamente 7.5 m<sup>3</sup> de agua bombeada de la laguna de Monte Redondo. No se realizó recambio de agua durante el ensayo, solo se agregó agua para mantener llenos los estanques. El agua de cada una de las pilas se mantuvo con una aireación constante por medio de tres difusores de 10 cm de largo que estaban conectados a un soplador de aire con un motor de 2.5 HP a través de una red de tubos de PVC de 25 mm de diámetro.

### **LAS PLANTAS**

Se sembraron ocho bandejas con aproximadamente 600 semillas de lechuga variedad Vertemar en el módulo de ornamentales de la Escuela Agrícola Panamericana, utilizando cuatro bandejas por ciclo. Las plántulas tenían aproximadamente 21 días de edad al momento del trasplante.

Se trasplantaron 66 plántulas de lechuga por cada una de las pilas colocándolas en láminas de poli-estireno expandido (Durapox<sup>®</sup>) de  $1.2 \times 0.5 \times 0.05$  m previamente perforadas con agujeros de 4 cm de diámetro. Se colocaron 4, 6 y 11 plántulas por lámina para lograr una densidad de 6, 12 y 18 plantas/m<sup>2</sup>, respectivamente. En cada agujero de las láminas se colocó una canasta de malla de plástico para proveerle sostén a la plántula. A la hora del trasplante las plántulas fueron seleccionadas uniformemente en tamaño y color, y libres de daños en su follaje o en el pilón. En cada pila se colocaron tres láminas por cada una de las densidades de siembra.

### **LOS PECES**

Se colocó 150 ejemplares de tilapia del Nilo de 164 g de peso promedio en una jaula colocada en cada pila. Las jaulas son de forma cilíndrica y fabricada de malla Vexar con orificios de 12 mm.

Cada jaula cuenta con un marco de PVC de 50 mm de diámetro para su flotación en el agua. El volumen efectivo de cada jaula fue estimado en 1.0 m<sup>3</sup>.

Los peces de cada pila recibieron diariamente 300 g de alimento para tilapia dividido en dos porciones (mañana y tarde). El alimento fue comprado de Alimentos Nacionales, S.A. con 28% de proteína cruda y en la forma física de perdigones flotantes de 5 mm de diámetro.

## **FERTILIZACION**

A cada una de las cuatro pilas se les agregó 200 g de hidróxido de calcio, 1400 g/pila de muriato de potasio y 1875 g/pila de fosfato diamónico para comenzar cada ciclo del ensayo. Se realizó una aplicación foliar de 3 mL de sulfato de hierro al 5% (Pentamins<sup>®</sup>) diluido en 250 mL de agua a las lechugas al momento de la siembra, el día 8 y 16 de cada ciclo del ensayo, con un atomizador de mano.

Para el tratamiento de 40 ppm de nitrógeno se seleccionaron dos pilas al azar de las cuatro y se les aplicó 712 g/pila de nitrato de sodio (Nutrilake<sup>®</sup>). Al agua de las otras dos pilas se les aplicó 3,525 g/pila de nitrato de sodio (Nutrilake<sup>®</sup>).

## **MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA**

Para el monitoreo del agua se tomó una muestra de agua de cada una de las pilas al inicio, mitad y el último día del ensayo para analizar la concentración de nitrógeno total, fósforo total, potasio, calcio y hierro. Las muestras se analizaron en el laboratorio de Suelos de la Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria de Zamorano. El análisis de potasio, calcio y hierro se hizo por espectrofotometría de absorción atómica, el fósforo por espectrofotometría (colorimetría) y el porcentaje de nitrógeno total por el método de Kjeldahl modificado.

En cada una de las pilas se monitoreó el oxígeno disuelto y la temperatura del agua con un medidor YSI. Una vez por semana se midió el pH por el método colorimétrico de Hach y la transparencia del agua con un disco Secchi.

## **EVALUACION DE PECES Y PLANTAS**

El día 28 después del trasplante se cosechó todas las plantas de las láminas para evaluar su crecimiento y sobrevivencia. Cada lechuga fue cortada con un cuchillo para poder separar las raíces del follaje. Posteriormente se pesó en gramos cada lechuga con una balanza de reloj marca Chatillion. Los peces de cada una de las jaulas fueron pesados en grupos de diez en una canasta con una balanza tipo reloj (capacidad de 10 kg).

## **VARIABLES ANALIZADAS**

Las variables analizadas fueron la sobrevivencia (%) y peso fresco del follaje de la lechuga (g), la ganancia de peso (g) y sobrevivencia (%) de los peces.

**DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANALISIS ESTADISTICO**

Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas en tiempo y en espacio. Los datos del peso de las lechugas y de los peces se analizaron con un Modelo Lineal General (GLM) y separación de medias por la prueba de Tukey, con el programa Statistical Analysis System (SAS<sup>®</sup> 2007). El nivel de significancia fue de  $P < 0.05$ .

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **MONITOREO DE AGUA**

La temperatura del agua durante los dos ciclos del ensayo se mantuvo en un rango entre 25.6 y 28.0° C con un promedio general de  $26.4 \pm 0.3^\circ$  C. El rango óptimo para el desarrollo y crecimiento del cultivo de tilapia es de 25 a 30° C. Estos peces sufren a temperaturas inferiores a 11° C con un metabolismo lento (Bocek s.f.).

Durante los dos ciclos, el agua de todas las pilas se mantuvo con un valor estable del pH de 6.5 unidades. Este valor está dentro del rango óptimo para que las plantas y peces se desarrollen normalmente en sistemas de acuaponía (Boyd y Tucker 1990; Sorenson y Relf 2009). El pH se mantuvo estable debido, en parte, a la aplicación de cal a cada pila al inicio de cada ciclo. Las aplicaciones de cal son utilizadas para mantener el pH estable en fuentes de agua y en los suelos agrícolas Boyd y Tucker (1990).

La transparencia de agua al inicio de cada ciclo del ensayo fue  $\leq 30$  cm. Las pilas fueron llenadas con agua del Lago de Monte Redondo el cual contenía arcilla y otras partículas de suelo en suspensión. Después de la primer semana de cada ciclo, las mediciones de transparencia fueron iguales a la profundidad del agua en cada pila ( $>100$  cm) debido a la sedimentación de las partículas y que no hubo recambio de agua.

No se observó desarrollo de algas en el agua de las pilas durante los dos ciclos del ensayo. Las láminas de poli-estireno expandido con las lechugas cubrieron aproximadamente el 70% de la superficie de agua de cada pila bloqueando la luz solar requerida por las algas en fotosíntesis. El desarrollo de algas en el agua de sistemas de acuaponía puede interferir con el normal desarrollo de las plantas (Rackocy 1997).

El promedio general de oxígeno disuelto en el agua de todas las pilas durante los dos ciclos de producción fue de  $2.37 \pm 0.06$  mg/L. La concentración de oxígeno disuelto en el agua es una de las principales características para definir la calidad del agua para la piscicultura y producción de plantas en hidroponía (Egna y Boyd 1996). Para un buen desarrollo y sobrevivencia de la lechuga en hidroponía se requiere un mínimo de 2.0 a 2.5 mg/L de oxígeno en el agua (Sádaba *et al.* 2008).

#### **PECES**

La sobrevivencia general de los peces en el ensayo de dos meses duración fue de 96%. La sobrevivencia de los peces en el primer ciclo fue superior a lo observado en el segundo ciclo (Cuadro 1). Estos resultados de sobrevivencia son superiores a los encontrados por

Arriaza y Martínez (2009) de 92% y a los encontrados por Gómez y Gutiérrez (2008) de 78%.

La sobrevivencia de los peces cultivados depende de muchos factores. No deben sufrir estrés durante la manipulación, el transporte o en la siembra, para asegurar que continúen sanos (Bocek s.f.).

En general los peces del ensayo ganaron peso a un ritmo de  $1.15 \pm 0.10$  g/día (Cuadro 1). La ganancia total de peso observada en los peces del ensayo fue proporcional a su peso inicial en cada ciclo, variando entre 18 y 19%. La ganancia de peso de los peces del actual ensayo es similar a los 1.24 g/pez/día reportado por Arriaza y Martínez (2009) en un sistema de acuaponía y Barragán (2006) para tilapia en estanques.

La relación entre la densidad poblacional y crecimiento individual de plantas y animales es indirecta. En el primer ciclo del ensayo hubo una mayor sobrevivencia de los peces, probablemente provocando entre ellos un menor ritmo de ganancia de peso. En el segundo ciclo del ensayo sobrevivieron menos peces resultando en densidades poblacionales inferiores en las jaulas y un mayor ritmo de ganancia de peso (Cuadro 1).

## LECHUGAS

Con la aplicación de fertilizante se logró establecer un promedio de  $39.3 \pm 1.5$  ppm y  $41.8 \pm 5.8$  ppm de P en el agua al iniciar los dos ciclos del ensayo, respectivamente. Estas concentraciones están por debajo de lo recomendado por Hochmuth y Hochmuth (2001) de 50 ppm de P para tomate en hidroponía. Los niveles de P en el ensayo estuvieron por encima de los recomendados por el Laboratorio de Suelos de la EAP (Anónimo 2005).

Cuadro 1. Comparación de la ganancia de peso y sobrevivencia de la tilapia en dos ciclos de acuaponía con lechuga con dos niveles iniciales de nitrógeno en el agua, en Zamorano, Honduras, 2010.\*

| Ciclo-ppm<br>de N | Peso<br>Inicial (g) | g/pez/ciclo | Ganancia<br>g/pez/día | Sobrevivencia<br>(%) |
|-------------------|---------------------|-------------|-----------------------|----------------------|
| I-40              | $164 \pm 21$        | 31          | 1.11 bc               | 99 a                 |
| I-70              | $164 \pm 18$        | 29          | 1.02 c                | 98 a                 |
| II-40             | $196 \pm 24$        | 35          | 1.26 a                | 94 b                 |
| II-70             | $191 \pm 28$        | 34          | 1.21 ab               | 94 b                 |
| p                 |                     |             | < 0.0001              | < 0.0001             |
| C.V.              |                     |             | 10.04                 | 1.32                 |

\* Promedios con letras diferentes en la misma columna tienen diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ).

Los niveles iniciales de N y P en el agua de las pilas fueron disminuyendo durante cada ciclo del ensayo (Figura 1 y Figura 2, respectivamente). Las lechugas absorben N y P del agua para sus procesos de crecimiento.

El alimento de tilapia, el principal insumo añadido a cada pila, contribuye en N y P al agua de cada pila. Se estimó que cada kg del alimento para tilapia contenía aproximadamente 45 g de N.

La tilapia solamente puede aprovechar un 30% del total de N en su dieta (Diana 1996). La diferencia termina en el agua y es disponible para las plantas en sistemas de acuaponía. La situación para P en dietas para peces es similar (Rackocy 1997).

Las concentraciones promedios de K, Ca y Fe fueron  $73 \pm 21$ ,  $17 \pm 6$  y  $0.22 \pm 0.18$  ppm respectivamente, y siempre estuvieron dentro del rango recomendado para hortalizas en sistemas de hidroponía (Hochmuth y Hochmuth 2001). Al inicio de cada ciclo del ensayo se aplicó muriato de potasio y cal al agua de las pilas y las plantas recibían cada ocho días una aplicación foliar de hierro.

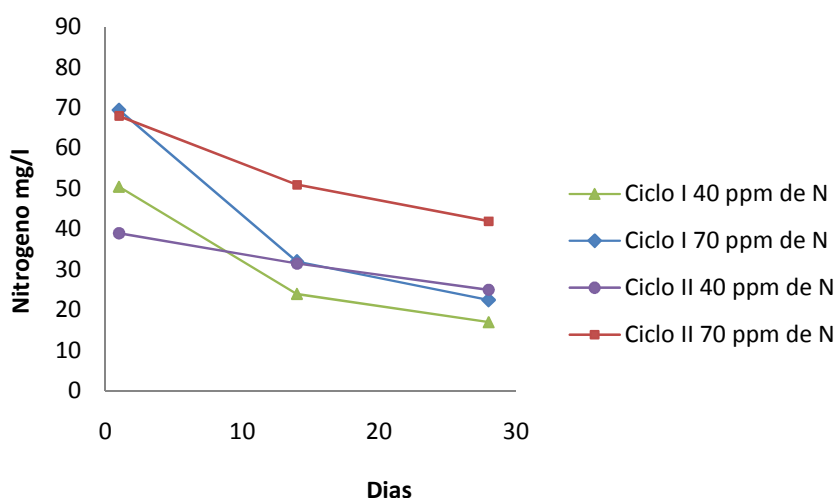


Figura 1. Concentraciones detectadas de nitrógeno en el agua en un sistema de acuaponía con tilapia y lechuga fertilizada con dos niveles de N, durante dos ciclos, en Zamorano, Honduras, 2010.

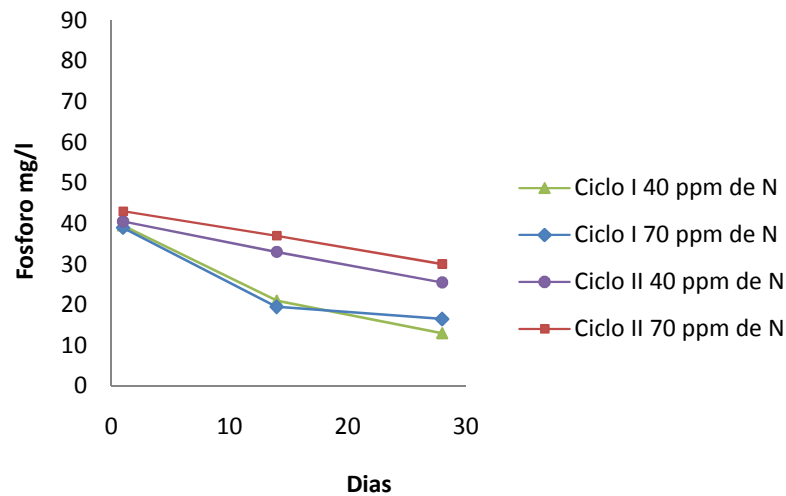


Figura 2. Concentraciones detectadas de fósforo en el agua en un sistema de acuaponía con tilapia y lechuga fertilizada con un solo nivel de P, durante dos ciclos, en Zamorano, Honduras, 2010.

Sobrevivieron hasta la cosecha el 90% de las plántulas utilizadas en los dos ciclos del ensayo (Cuadro 2). Hubo una mayor sobrevivencia de plantas en el primer ciclo ( $p < 0.05$ ). La menor sobrevivencia de plantas en el segundo ciclo se atribuye, probablemente, a la alta precipitación pluvial, elevada humedad relativa y evapotranspiración, condiciones que favorecen la proliferación de patógenos en el medio. Estos porcentajes de sobrevivencia son inferiores a los 100% encontrado por Arriaza y Martínez (2009) para lechugas en acuaponía con tilapia en Zamorano.

En general el peso promedio individual final del follaje de lechuga fue de 183 g. Arriaza y Martínez (2009) obtuvieron pesos promedios del follaje de lechuga entre 45 y 256 g.

La producción total de lechugas por pila fue mayor en el primer ciclo del ensayo (Cuadro 2). La mejor producción se atribuye a las más favorables condiciones climáticas y mejor sobrevivencia de las plantas en el primer ciclo del ensayo.

No se encontró diferencia significativa entre el peso promedio final del follaje de lechuga cultivada a las tres densidades de siembra (Cuadro 3). Hubo mucha variación en los pesos finales de las plantas. Estas diferencias son atribuidas a las diferentes densidades finales de plantas por cada lámina.

Cada lechuga sembrada a la densidad de 6 plantas/  $m^2$  alcanzó un peso promedio final de follaje 13% mayor que las plantas sembradas a 12/ $m^2$ . Esta diferencia no era estadísticamente significativa pero sí muestra la relación indirecta entre densidad poblacional y crecimiento individual de las plantas.



Cuadro 2. Comparación de dos ciclos de 28 días de duración de producción de lechuga en un sistema de acuaponía con tilapia, Zamorano, Honduras, 2010.\*

| Ciclo | Peso promedio follaje lechuga (g) |                 | Sobrevivencia (%) | Precipitación (mm) |
|-------|-----------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|
|       | Final                             | Total Pila      |                   |                    |
| 1     | 201 ± 85                          | 12,455 ± 4020 a | 97 a              | 174.8              |
| 2     | 166 ± 87                          | 8,833 ± 4092 b  | 83 b              | 243.4              |
| p     | 0.061                             | < 0.0001        | < 0.0001          |                    |
| C.V.  | 41.68                             | 32.81           | 12.71             |                    |

\* Promedios con letras diferentes en la misma columna tienen diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ).

Se encontró diferencia significativa entre las tres densidades de siembra ( $p \leq 0.05$ ) y el peso promedio final del follaje de lechuga por lámina, combinando datos de los dos ciclos del ensayo (Cuadro 3). Las lechugas sembradas a la densidad de 18 plantas/m<sup>2</sup> alcanzaron un peso promedio total del follaje por lámina 130% y 47% mayores que las plantas sembradas a 6 y 12/m<sup>2</sup>, respectivamente.

En este ensayo se logró una producción significativamente mayor con la densidad de siembra más alta probada. Para los fines de este ensayo, todas las plantas fueron cosechadas para su comercialización sin tomar en cuenta su peso fresco o peso comercial.

Hubo una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la sobrevivencia de las lechugas sembradas a 12 y 18 plantas/m<sup>2</sup> (Cuadro 3). En general las plantas sembradas a mayor densidad se desarrollan menos, compiten más por los nutrientes disponibles en el medio y tienden a sufrir daños por patógenos o mueran con mayor frecuencia.

Las plantas sobrevivieron a las dos concentraciones de N en el agua de manera similar. Hubo una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre el peso fresco individual del follaje comparando las lechugas cultivadas a los dos niveles de fertilización con N (Cuadro 4).

El peso promedio individual final del follaje de lechuga cosechado con 40 ppm de N fue 39% mayor que el de 70 ppm. El peso promedio total del follaje por pila fue 37% mayor a 40 ppm de N en comparación con el total en pilas con 70 ppm de N (Cuadro 4).

Posiblemente el alto nivel de fertilización en las pilas provocó algún daño a las lechugas limitando su desarrollo. Este daño nunca fue observado ni detectado durante el ensayo. Estos resultados no coinciden con las recomendaciones de Hochmuth y Hochmuth (2001) y el Laboratorio de Suelos de la EAP (Anónimo 2005)

Cuadro 3. Comparación de la producción promedio del follaje de lechuga a tres densidades en un sistema de acuaponía con tilapia, combinando datos de los dos ciclos del ensayo, Zamorano, Honduras, 2010.\*

| Densidad<br>(plantas/m <sup>2</sup> ) | Peso promedio follaje lechuga (g) |               | Sobrevivencia<br>(%) |
|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------|----------------------|
|                                       | Final (n.s)                       | Bandeja       |                      |
| 6                                     | 196 ± 96                          | 731 ± 388 c   | 92 a                 |
| 12                                    | 173 ± 94                          | 1,139 ± 624 b | 94 a                 |
| 18                                    | 181 ± 71                          | 1,678 ± 722 a | 84 b                 |
| p                                     | 0.578                             | < 0.0001      | 0.0114               |
| C.V.                                  | 41.7                              | 44.03         | 12.72                |

\* Promedios con letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).

Aparentemente, hubo un mejor desarrollo de las lechugas ubicadas más cerca a la fuente de aire en cada pila, y viceversa. Probablemente esto introdujo cierto nivel de variación entre los pesos finales de follaje de la lechuga cosechada en cada ciclo. Sin embargo, las láminas con las diferentes densidades de lechuga estaban ubicadas al azar en cada pila, la sobrevivencia general de las plantas fue superior a 90% y la concentración de oxígeno en solución en el agua siempre fue suficiente para los peces.

Cuadro 4. Comparación de la producción de lechuga variedad Vertemar con dos niveles de nitrógeno inicial en un sistema de acuaponía con tilapia, combinando datos de dos ciclos de producción de 28 días duración cada uno, Zamorano, Honduras, 2010.\*

| Nitrogeno<br>(ppm) | Peso promedio follaje lechuga (g) |                 | Sobrevivencia (%) |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------|-------------------|
|                    | Final                             | Total Pila      |                   |
| 40                 | 213 ± 87 a                        | 12,324 ± 4254 a | 91                |
| 70                 | 153 ± 78 b                        | 8,964 ± 4003 b  | 89                |
| p                  | 0.0016                            | 0.0001          | 0.587             |
| C.V.               | 41.7                              | 32.81           | 12.72             |

\* Promedios con letras diferentes en la misma columna tienen diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ).

#### 4. CONCLUSIONES

- La densidad de siembra de lechugas afectó el peso promedio total del follaje por lámina, logrando la mayor cosecha a 18 plantas/m<sup>2</sup> y la menor a 6 plantas/m<sup>2</sup>.
- La densidad de siembra de lechugas no afectó el peso promedio individual del follaje de lechuga.
- A la mayor densidad de siembra se observó la menor sobrevivencia de lechugas combinando los datos de los dos ciclos del ensayo.
- El peso promedio individual y total por lámina del follaje de lechuga fueron superiores con 40 ppm de N en el agua, combinando los datos de los dos ciclos del ensayo.
- No se detectó ninguna diferencia en el porcentaje de sobrevivencia de las plantas y peces según los niveles de fertilización.
- El mayor ritmo de ganancia de peso para los peces fue observado en el ciclo dos con 40 ppm de N.
- Las concentraciones de N y P en el agua de las pilas disminuyeron de manera similar a lo largo de cada uno de los dos ciclos del ensayo sin importar la concentración inicial de N.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Realizar este estudio en la época seca del año en Zamorano.
- Realizar este estudio evaluando diferentes densidades de siembra de los peces para que estos sean la fuente principal de nutrientes para las plantas.
- Estudiar sistemas de acuaponía en Zamorano con un sistema mejorado de aireación en las unidades experimentales.

## 6. LITERATURA CITADA

Alpizar, L. 2008. Hidroponía cultivo sin tierra, técnica simple. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 108 p.

Anónimo. 2005. Recomendaciones para la preparación de una solución nutritiva para la hidroponía de lechuga. Laboratorio de Suelos, Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Arriaza, A; Martínez, J. 2009. Producción hidropónica de lechuga integrada con el cultivo de tilapia con tres niveles de potasio y hierro. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo. Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. 11 p.

Barragán, D. 2006. Evaluación de la restricción alimenticia en la producción de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo. Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. 11 p.

Bocek, A. s.f. Introducción al cultivo de la tilapia. International Center for Aquaculture and Aquatic Environments Swingle Hall, Auburn University, Alabama. 11 p.

Boyd, C; Tucker, C. 1990. Pond aquaculture water quality management. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama, USA. 685 p.

Castilblanco, E.; Hidalgo, J. 2009. Efecto de dos tratamientos de agua en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo dos sistemas hidropónicos en piscicultura. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo. Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. 16 p.

Diana, J.S. 1996. Feeding strategies, En: H.S. Egna y C.E. Boyd (editores). Dynamics of Pond Aquaculture. CRC Press, Boca Ratón, Florida, USA. p. 245-262.

Diver, S. 2006. Integration of hydroponics with aquaculture. National Center for Appropriate Technology (NCAT). 12 p.

Egna, H.S.; Boyd, C.E. (editores). 1996. Dynamics of pond aquaculture. CRC Press, Boca Ratón, Florida, USA. 411 p.

Gómez, L.; Gutiérrez, B. 2008. Evaluación de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y tilapia roja (*O. sp.*) cultivadas en jaulas a 200, 400 y 600 peces por m<sup>3</sup> en Zamorano,

Comayagua y La Venta, Honduras. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo. Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. 15 p.

Hernández, J. 1993. *Olericultura*. EUNED. San José, Costa Rica. 340 p.

Hochmuth, G.; Hochmuth, R. 2001. Nutrient solution formulation for hydroponic (Perlite, Rockwool, NFT) tomatoes in Florida. University of Florida. 13 p.

Rackocy, J. 1997. Integrating tilapia culture with vegetable hydroponics in recirculating systems. B.A. Costa-Pierce and J. E. Rackocy, eds. *Tilapia Aquaculture in the Americas*, Vol. 1. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States.

Raven, P; Johnson, G; Losos, J; Singer, S. 2005. *Biology*. Seventh Edition. McGraw-Hill Publishers, New York, New York, USA. 1250 p.

Sádaba, S.; Del Castillo, J.; Astiz, M.; De Galdeano, J.; Uribarri, A.; Aguado, G. 2008. Cultivo hidropónico de lechuga. Navarra Agraria. España. p. 31-36.

SAS. 2007. *SAS User's Guide*. Statistics. Version 5, SAS Institute Inc., Cary, NC., U.S.

Sorenson, R.; Relf, D. 2009. *Home hydroponics*. Virginia Cooperative Extension Service, Virginia Tech University, Blacksburg, Virginia, USA. 4 p.