

Comparación del uso de un filtro de bolas y un tanque sedimentador para la producción de lechuga en un sistema acuapónico

**Jennifer Birmania Jacho Yunga
Santiago José Rosero Álvarez**

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2010

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Comparación del uso de un filtro de bolas y un tanque sedimentador para la producción de lechuga en un sistema acuapónico

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

Presentado por

Jennifer Birmania Jacho Yunga
Santiago José Rosero Álvarez

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2010

Comparación del uso de un filtro de bolas y un tanque sedimentador para la producción de lechuga en un sistema acuapónico

Presentado por:

Jennifer Birmania Jacho Yunga
Santiago José Rosero Álvarez

Aprobado:

Jeffery Pack, D.P.M.
Asesor principal

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

Daniel Meyer, Ph.D.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Claudio Castillo, Ing.
Asesor

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

Abelino Pitty, Ph.D.
Coordinador de Fitotecnia

RESUMEN

Jacho Yunga, J; Rosero Álvarez, S. 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.

El cultivo de tilapia es una actividad productiva que ha presentado gran crecimiento en los últimos años. Este crecimiento ha generado que los sistemas de producción se intensifiquen, generando un impacto ambiental negativo. El uso de sistemas integrados puede ayudar a reducir este impacto y generar beneficios extras para los productores. Uno de estos sistemas es la acuaponía, el cual integra la acuicultura con la hidroponía. La lechuga es uno de los cultivos que mejor se adapta a este sistema. Producir plantas y animales en el mismo sitio representa un reto, por lo que el sistema debe balancearse en todo lugar donde se quiera aplicar. Recircular el agua, dándole un tratamiento antes de que entre en contacto con las plantas, ayuda a que haya una mayor disponibilidad de nutrientes para las lechugas y mejora la calidad de ésta para los peces. Este estudio busca comparar un sistema de filtrado y un sistema de sedimentado, analizando sus efectos sobre la producción de lechuga acuapónica. Los métodos evaluados fueron un filtro de bolas (FB) y un tanque clarificador (TC). En un tanque de concreto con 10.6 m³ sembraron 350 peces de 103 g en promedio, dentro de este se pusieron ocho tanques de fibra de vidrio de 1 m de diámetro, sobre los cuales se pusieron las planchas que contenían 20 plantas de lechuga romana de la variedad "Maximus". Cuatro tanques de fibra de vidrio fueron asignados para cada tratamiento. Se realizaron tres ciclos de lechuga, en los cuales se evaluó: el peso promedio de las raíces, el porcentaje de sobrevivencia de las plantas, el porcentaje de lechugas comercializables y el rendimiento por área de éstas. No se encontraron diferencias significativas entre el peso promedio de raíces (TC= 40 g; FB= 42 g), sobrevivencia (TC=87%; FB=93%) ni rendimiento comercial (TC=3.8 kg/m²; FB=4.2 kg/m²), mas se encontró diferencias en los porcentajes de producto comercial entre los tratamientos (TC=56%; FB=72%). Se pudo determinar que las deficiencias nutricionales y las altas lluvias reducen el desarrollo del cultivo. Se concluyó que bajo las condiciones del estudio la diferencia en rendimientos entre ambos tratamientos no fue significativa; y que las condiciones adversas pueden afectar en gran medida los rendimientos obtenidos.

Palabras clave: Acuicultura recirculante, sistemas integrados, tilapia.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Cuadros y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	6
4. CONCLUSIONES.....	11
5. RECOMENDACIONES.....	12
6. LITERATURA CITADA.....	13
7. ANEXOS.....	15

ÍNDICE DE CUADROS Y ANEXOS

Cuadro		Página
1.	Condiciones climáticas para periodos de tres ciclos de producción de lechuga en un sistema acuapónico, en Zamorano, 2010.....	6
2.	Comparación de los resultados de análisis foliares para el primer ciclo de lechuga en producción acuapónica versus rangos óptimos, obtenidos en el laboratorio de la Escuela Agrícola Panamericana en Zamorano, 2010.....	6
3.	Comparación de dos métodos de remoción de partículas en suspensión, en un sistema acuapónico de producción de lechuga, en Zamorano, 2010.....	7
4.	Comparación de tres ciclos de producción de lechuga en un sistema acuapónico. Zamorano, 2010.....	8
5.	Peso comercial de lechugas producidas en un sistema acuapónico con dos métodos de remoción de partículas flotantes.....	8
6.	Peso promedio de lechugas comerciales producidas en un sistema acuapónico con dos métodos de remoción de partículas flotantes.	9
7.	Datos sobre tasa de mortalidad y ganancia diaria de peso de los peces durante el primer y tercer de producción de lechuga en un sistema acuapónico. Zamorano, 2010.	9
Anexo		Página
1.	Diagrama de los tratamientos y ubicación de las parcelas para la comparación del uso de un filtro de bolas y un tanque sedimentador en la producción de lechuga en un sistema acuapónico. Zamorano, 2010.	15
2.	Imagen del sistema acuapónico utilizado para la comparación del uso de un filtro de bolas y un tanque sedimentador en la producción de lechuga, siguiendo el orden indicado en el Anexo 1. Zamorano, 2010.....	16
3.	Imagen del tanque sedimentador utilizado en la producción de lechuga acuapónica. Zamorano, 2010.....	17
4.	Imagen del filtro de bolas utilizado en la producción de lechuga acuapónica. Zamorano, 2010.....	18
5.	Cuadro de fertilizaciones para cada ciclo de producción de lechuga en la comparación del uso de un filtro de bolas y un tanque sedimentador en un sistema acuapónico.....	19

1. INTRODUCCIÓN

En Honduras, el cultivo de tilapia es una de las actividades agropecuarias de mayor crecimiento en las últimas dos décadas. Representa una de las especies de peces más importantes en el mundo en cuanto a producción acuícola debido a su rápida aceptación y fácil adopción global (Lazard, 1997). *Oreochromis niloticus*, originaria de África y Medio Oriente, ha llegado a los países americanos como una opción para hacer un mejor uso de los recursos hídricos que se poseen y del clima favorable que gozan (Green *et al.*, 2000).

La explotación de tilapia posee efectos positivos y negativos. La intensificación de este cultivo, a la vez de generar mayor ingreso para el productor, trae consigo un mayor uso de insumos y éstos a su vez incrementan los desperdicios emitidos por las granjas (Pillay, 1992; Black, 2001).

Una alternativa para reducir este impacto negativo y sacar provecho del mismo es la implementación de sistemas integrados como la acuaponía. Esta técnica se refiere a la unión de un sistema de hidroponía y uno acuícola, lo que permite reciclar los desechos generados por los peces para así nutrir cultivos hortícolas (Ramírez *et al.*, 2008). Entre las ventajas de aplicar sistemas acuapónicos, se encuentran: la oportunidad de un ingreso extra para los productores, mejoras de calidad del agua reduciendo el impacto ambiental, maximización del uso de recursos (Salinas Matus *et al.*, 2009).

Los factores determinantes para la implementación y el manejo de un sistema acuapónico son: la especie de peces con la que se trabaja, plantas adaptadas al sistema, parámetros de calidad de agua, la fertilidad del agua y la relación planta:pez. Existen varias especies de peces adaptadas a este sistema entre las cuales se encuentran: el róbalo (*Dicentrarchus labrax*), el salvelino (*Salvelinus alpinus*), la perca (*Perca fluviatilis*) y la tilapia. De estos peces, la tilapia es el que ha dado mejores resultados; gracias a su adaptabilidad a cambios en las condiciones del agua (Diver, 2006)

Las plantas que mejor se adaptan al sistema son aquellas con requerimientos nutricionales bajos a medianos. Ejemplos de plantas que cumplen con esta característica son: menta, albahaca, escarola, espinaca, perejil, orégano y lechuga (Diver, 2006). La lechuga es uno de los cultivos hortícolas más importantes, ampliamente conocida y producida en muchos países del mundo. Esta asterácea es cultivada principalmente para el aprovechamiento de sus hojas. Debido a la selección que ha sufrido existen cultivares adaptados a una gran variedad de ambientes (Montes, 1999). Además, es uno de los cultivos que ha sido estudiado de forma intensiva en sistemas acuapónicos (Rakocy *et al.*, 1992).

La calidad del agua dependerá de la fuente de donde se extraiga. Idealmente su pH debe ser neutro (7), pero puede variar entre 6-8; y es importante que ésta no tenga cloro. La fertilidad del agua está en función de la cantidad de peces que se coloquen y de la cantidad y el nivel de proteína del alimento que consuman (Nelson, 2008). Por esta dependencia es necesario manejar una buena relación entre el número de plantas y la cantidad de peces; como mínimo se recomienda tener un pez por cada 1.9 plantas, procurando asegurar que como mínimo se reciban 2.4 g de alimento por cada planta (Rakocy *et al.*, 1992).

A pesar de que ya hay producciones comerciales con sistemas acuapónicos, aún existen dudas por aclarar. Producir plantas y animales en una misma área genera inconvenientes al tratar de balancear el sistema. Por ejemplo, mantener altas densidades de peces para aumentar la fertilidad del agua puede ocasionar una alta mortalidad de los mismos. A la vez, una excesiva fertilidad en el agua causa un elevado crecimiento de algas que compiten con el cultivo y pueden taponar las tuberías del sistema.

Al implementar esta nueva técnica en nuevos lugares, es necesario realizar estudios que ayuden en su adaptación a estos sitios. En la Escuela Agrícola Panamericana se han realizados dos estudios relacionados a este tema. Arriaza Catañeda y Martínez Cabrera (2009) evaluaron el efecto que tiene la fertilización complementaria en la producción de lechuga en acuaponía. Castilblanco Flores e Hidalgo Rivas (2009) estudiaron el efecto de producir con Nutrient Film Technique (NFT) y planchas flotantes, concluyendo que bajo las condiciones del estudio la tecnología NFT brinda mejores condiciones a las plantas que las planchas de polietileno; pero sin la fertilización adecuada los sistemas no tienen diferencia alguna.

Ambas investigaciones, además de responder las incógnitas planteadas, han traído consigo nuevas interrogantes. En los estudios realizados el agua llegaba a las plantas sin ningún tratamiento previo, mas otros autores sugieren que se debe filtrar las partículas en suspensión y un área que permita el crecimiento de bacterias que faciliten la disponibilidad de nutrientes antes de que el agua entre en contacto con el cultivo (Rakocy, 1997 y Nelson, 2008).

Debido a esto surgió el interés de definir el tipo de tratamiento previo que obtenga mejores resultados bajo las condiciones de Zamorano. Los métodos elegidos fueron: filtrado y sedimentado. El objetivo del estudio fue comparar el uso de un filtro de bolas y un tanque sedimentador para la producción de lechuga en un sistema acuapónico.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 LOCALIZACIÓN

El estudio se llevó a cabo en la Escuela Agrícola Panamericana, en el área de Acuicultura; específicamente dentro de un tanque circular de concreto de 4.75 m de diámetro y 0.8 m de profundidad que fue llenado a una altura de 0.6 m. El lugar se encuentra a 800 msnm aproximadamente, posee una temperatura promedio de 24 °C y cuenta con una precipitación anual de 1100 mm. El ensayo fue realizado entre Junio y Septiembre de 2010, durante los cuales se presentaron condiciones climáticas variables (Cuadro 1).

2.2 DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS

El experimento constaba de parcelas separadas en espacio, con dos tratamientos y cuatro repeticiones para cada uno. Las parcelas fueron sistemas acuapónicos con recirculamiento de agua, conectadas al mismo tanque de peces, con iguales condiciones de densidad de plantas, fertilización complementaria, cantidad de alimento y oxigenación (Anexo 1).

La única variable fue el tipo de remoción de partículas flotantes que recibió el agua antes de ingresar al área de lechugas. El primer tratamiento consistió en la remoción de sólidos suspendidos a través de un tanque clarificador y el segundo fue el filtrado de estos a través de un filtro de bolas.

Las planchas donde se trasplantaron las lechugas, no fueron colocadas directamente sobre el área de los peces, sino dentro de tanques de fibra de vidrio. El agua era succionada por una bomba y enviada hacia ambos tratamientos. Los tanques de fibra de vidrio se llenaban y en un punto el agua rebalsaba y volvía a la pila de los peces (Anexo 2).

El filtro de bolas tenía forma parecida a la de un reloj de arena, contenía bolas plásticas de 5 mm de diámetro. Estas bolas servían como un filtro físico y biológico, impedían el paso de sedimentos y permitían la colonización de bacterias benéficas dentro del filtro. El caudal de salida de este filtro era igual al del tanque, de 53 L/min. Este filtro fue limpiado una vez por semana (Anexo 3).

El tanque clarificador era de forma cilíndrica y fondo cónico, con un área de 1.5 m² y una altura 1.8 m, la capacidad de almacenamiento era de 2,300 L. El agua entraba mediante un tubo pvc inclinado 45° hacia arriba y con un caudal de 53 L/min. Al llegar el líquido golpeaba con una barrera que reducía su velocidad y lo obligaba a bajar para la sedimentación en la parte inferior del tanque. Además, contenía una malla plástica

que servía de medio de anclaje para las bacterias benéficas. El sedimento acumulado era limpiado una vez por semana (Anexo 4).

2.3 PREPARACIÓN DEL TANQUE Y MANEJO DE PECES

Se preparó el tanque una semana antes del trasplante: se llenó con agua de la laguna de Acuicultura de Zamorano. Se colocaron 350 peces con un peso promedio de 103 g en el tanque y se pusieron a funcionar los sistemas de remoción de partículas flotantes. Se contó y se pesó la población al inicio y al final de cada ciclo. Para la alimentación se utilizó el alimento para tilapia fabricado por la compañía de Alimentos Concentrados Nacionales S.A, con 28% de proteína en forma de pellets flotantes. Se suplió alimento concentrado diario *ad libitum* y el promedio de consumo diario fue de 555 g.

2.4 SIEMBRA Y TRASPLANTE

Se hicieron tres siembras de lechuga de 200 semillas cada una, cada 35 días. Se sembró se en bandejas utilizando medio de cultivo Kekkila. Para el trasplante se utilizaron plántulas de 21 días de edad de la variedad “Maximus” (tipo romana). Se colocaron a una densidad de 25 plántulas/m² sobre láminas de poli-estireno expandido que flotaban sobre la superficie del agua de los tanques de fibra de vidrio. Con el fin de prevenir que las raíces de las plantas sufrieran daños durante el trasplante, se colocaron en canastas sin destruir el pilón. Para que las canastas se mantuvieran en su lugar dentro de las planchas de poli-estireno, a estas últimas se les hicieron orificios de igual diámetro que el de las canastas.

2.5 CONTROL DE PH Y FERTILIZACIÓN COMPLEMENTARIA

Mantener un pH de 7 es importante para los peces y para las plantas, pues ayuda en la disponibilidad de nutrientes y crea un ambiente ideal para ambos organismos. Con el fin de poder corregir el pH, en caso de que variara, este fue medido dos veces por semana. Se aplicó cal para reducir estas variaciones de pH. Al reaccionar esta con el agua se disocia en sus iones formadores, calcio (Ca⁺²) y carbonato (CO₃⁻²). El carbonato se transforma en bicarbonato (HCO₃⁻¹), el cual aumenta la capacidad tampón del agua debido a su capacidad de ceder y aceptar protones del medio. En caso de variaciones importantes en el pH se realizaron recambios de agua hasta balancearlo.

En un sistema acuapónico es común encontrar deficiencias nutricionales de Fe, Ca y K (Rakocy *et al.*, 1992). Para suplir la deficiencia de Fe, se aplicó una solución de 3 ml de sulfato de hierro al 5% en 250 ml de agua, a nivel foliar una vez por semana. En el primer ciclo además se aplicó de 740 g de muriato de potasio y 740 g de hidróxido de calcio¹. Después de la cosecha se hicieron análisis foliares (Cuadro 2) en los que se basaron las recomendaciones de fertilización para los siguientes dos ciclos.

Para el segundo ciclo, aparte de las fertilizaciones de hierro, se aplicaron 740 g de muriato de potasio y 350 g de hidróxido de calcio. Debido a la tardanza de los resultados de análisis foliares la aplicación de cal dolomítica no pudo ser completada, solo se colocaron 2000 g que fueron fraccionados en 4 partes de 500 g. Para el tercer ciclo, se diluyeron 350

¹Comunicación personal con Ing. Claudio Castillo, Encargado del Área de Acuicultura en Zamorano.

g de hidróxido de calcio, 3450 g de cal dolomítica y 740 g de muriato de potasio en los 10.5 m³ de agua. Durante seis días se aplicaron 500 g de cal dolomítica y en el séptimo día se colocaron los 450 g restantes (Anexo 5).

2.6 COSECHA

Las plantas se cosecharon al alcanzar un tamaño comercial, de alrededor de 20 cm de altura, y se observó un ligero enrollamiento de las hojas jóvenes. Este punto fue alcanzado entre la tercera y cuarta semana después del trasplante. Se retiraron sin sacarlas de la canasta; la parte comercializable fue separada de la planta hasta después de la toma de datos.

2.7 TOMA DE DATOS

Se contó el número de plantas cosechadas en cada plancha para calcular la sobrevivencia para cada tratamiento. La producción de cada unidad fue separada en lechuga comercializable y no comercializable, con el fin de obtener el porcentaje de producto comercializable. Se pesó el total comercializable para cada unidad. Las variables que definían si una planta era o no comercializable fueron: el tamaño alrededor de 20 cm, el color verde típico de la variedad y sin lesiones en el follaje.

Se pesó las raíces de cada lechuga (peso fresco; g), para determinar el peso promedio en cada unidad experimental. Éstas se pesaron después de haber retirado el sedimento, pero sin sacarlas de las canastas para evitar que se rompieran las raíces. Las canastas fueron pesadas para determinar el peso neto de las lechugas.

2.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un ANDEVA con el programa SAS, utilizando separaciones de medias, por el método Tukey, con un nivel de significancia <0.05 (SAS, 2007). Los datos analizados fueron porcentaje de sobrevivencia, porcentaje de producto comercial, peso del producto comercial y peso promedio de las raíces.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio tuvo una duración de 104 días. Durante este período hubo variaciones en el clima que influyeron en el desarrollo del cultivo. La temperatura fue ligeramente superior en el segundo ciclo; la humedad relativa fue mayor para el tercer ciclo al igual que la precipitación, la radiación solar y la evapotranspiración. A pesar de la alta incidencia de lluvias durante el último ciclo, su radiación y evapotranspiración fueron elevadas debido a que las precipitaciones ocurrían durante las últimas horas de la tarde, mientras que durante el día la radiación solar fue intensa lo que elevó la evapotranspiración. Para los otros dos ciclos los factores de temperatura, humedad relativa y precipitación fueron similares, mas se tuvo mayor radiación solar en el segundo ciclo y por ende una evapotranspiración superior comparándolo con el primer ciclo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Condiciones climáticas para periodos de tres ciclos de producción de lechuga en un sistema acuapónico, en Zamorano, 2010.

Ciclo	Fecha		Temperatura promedio (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)	Radiación solar total (W/m ²)	ET (mm)
	Inicial	Final					
1	16-jun	9-jul	23.0	83.8	153.0	169.0	64.6
2	16-jul	12-ago	23.5	83.3	162.8	205.4	80.3
3	30-ago	28-sep	23.0	86.1	243.4	372.1	146.2

Cuadro 2. Comparación de los resultados de análisis foliares para el primer ciclo de lechuga en producción acuapónica versus rangos óptimos, obtenidos en el laboratorio de la Escuela Agrícola Panamericana en Zamorano, 2010.

Elemento		Rango		Agua Sedimentada	Agua Filtrada
		Mínimo	Máximo		
N	(%)	3.50	4.5	3.83	4.05
P	(%)	0.45	0.8	0.66	0.76
K	(%)	5.50	6.2	5.52	5.95
Ca ¹	(%)	2.00	2.8	0.99	1.01
Mg ¹	(%)	0.60	0.8	0.23	0.23
S	(%)	0.10	0.3	0.17	0.18
Fe	(ppm)	40.00	100.0	66.00	46.00
Mn	(ppm)	11.00	250.0	74.00	63.00

¹ Elementos que presentaron deficiencias.

En el primer ciclo se observaron síntomas de deficiencia de magnesio y calcio, por ello se realizaron análisis foliares y de agua para confirmarlo y programar un plan de fertilización. La entrega de los análisis realizados demoró más de lo previsto por lo que las aplicaciones de cal dolomítica, hidróxido de calcio y muriato de potasio para el segundo ciclo fueron atrasadas.

Debido a estas condiciones variables, además de las variaciones entre tratamientos, se observaron diferentes producciones para cada ciclo. Después de realizar un análisis estadístico se determinó que la interacción entre los efectos generados por los tratamientos y los causados por las condiciones de los ciclos no fue significativa.

3.1 RESULTADOS POR TRATAMIENTOS

Al finalizar el estudio se pudo determinar que bajo las condiciones dadas los tratamientos no presentaron diferencias significativas en el peso promedio de las raíces, el porcentaje de sobrevivencia de las plantas ni el rendimiento comercial. Sin embargo, el porcentaje de plantas comercializables presentó diferencias. Para el tratamiento de agua filtrada se obtuvo un porcentaje de plantas comercializables superior al del tratamiento de agua sedimentada (Cuadro 3).

Los rendimientos de los dos métodos fueron similares. Ambos métodos permitieron que las raíces tuvieran un desarrollo adecuado. El porcentaje de sobrevivencia de los dos tratamientos fue parecido, pero se observó un menor desarrollo en algunas plantas de las pilas con agua sedimentada. A pesar de este menor desarrollo, las plantas comercializables para el sistema de sedimentado crecieron de manera más vigorosa, igualando los rendimientos de ambos tratamientos.

Cuadro 3. Comparación de dos métodos de remoción de partículas en suspensión, en un sistema acuapónico de producción de lechuga, en Zamorano, 2010.¹

Tratamiento	Peso raíz (g)	Sobrevivencia (%)	Comercial (%)	Rendimiento comercial (kg/m ²)
Filtrado	42 n/s	93 n/s	72 a	4.3 n/s
Sedimentado	40	87	56 b	3.1
Probabilidad	0.0008	0.0184	0.0157	0.1892
Diferencia significativa mínima	6.5	7.8	12.9	1.3

¹ Medias con letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas.

3.2 RESULTADOS POR CICLOS

Se observaron diferencias significativas para el peso promedio de raíces, porcentaje de sobrevivencia, porcentaje de producto comercializable, pero no se encontraron diferencias entre los rendimientos de los tres ciclos. El primer ciclo obtuvo la media más alta en cuanto al peso promedio de raíces; seguido del tercer ciclo y finalmente el segundo ciclo.

En cuanto al porcentaje de sobrevivencia de los ciclos, entre el primer y el segundo ciclo no se observaron diferencias significativas; el tercer ciclo fue significativamente menor al primero mas no se diferenci6 del segundo. Para la variable porcentaje de producto comercializable el primer ciclo y el tercero fueron iguales; el segundo ciclo tuvo un porcentaje de producto comercializable menor, por lo que se diferenci6 del primero, mas fue significativamente igual al tercero. No se encontraron diferencias significativas para el rendimiento comercial de los tres ciclos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comparaci6n de tres ciclos de producci6n de lechuga en un sistema acuap6nico. Zamorano, 2010.¹

Ciclo	Peso raíz (g)	Sobrevivencia (%)	Comercial (%)	Rendimiento comercial (kg/m ²)
1	53 a	97 a	78 a	4.3 n/s
2	28 c	92 ab	54 b	3.0
3	42 b	81 b	60 ab	3.8
Probabilidad	0.0008	0.0184	0.0157	0.1892
Diferencia significativa m6nima	9.7	11.6	19.3	1.5

¹ Medias con letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas.

Las diferencias encontradas entre los tres ciclos se pueden explicar por las condiciones clim6ticas dadas durante el per6odo de producci6n de cada ciclo (Cuadro 1) y por la diferencia entre las aplicaciones de fertilizante (Anexo 5). Tomando como referencia las condiciones y el manejo del primer ciclo, en el segundo hubo un retraso en la aplicaci6n de fertilizantes debido a la tardanza en la entrega de los an6lisis de agua y foliares hechos previamente al trasplante. Las m6s afectadas por este desfase fueron: el peso promedio de las ra6ces y el porcentaje de producto comercial. El tercer ciclo se vio afectado por las condiciones clim6ticas ocurridas durante su per6odo de producci6n. Las altas precipitaciones crearon el ambiente propicio para la aparici6n de una enfermedad bacteriana llamada pudrici6n blanda (*Erwinia carotovora*), causando una alta mortalidad y p6rdidas de producto comercial.

3.3 AN6LISIS DE RENDIMIENTOS

Cuadro 5. Peso comercial (kg/m²) de lechugas producidas en un sistema acuap6nico con dos m6todos de remoci6n de part6culas flotantes.

Tratamiento	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Sedimentado	3.1	2.9	2.3
Filtrado	5.1	3.1	4.8

La mayor6a de los rendimientos logrados (Cuadro 5) se consideran bajos si se comparan con el rendimiento esperado para producciones acuap6nicas que es de 4.9 kg/m² (Rakocy,

1992). Por otro lado, estos rendimientos representan mejoras en comparación a otras experiencias en Zamorano que consiguieron producciones de 1.56 kg/m² (Arriaza y Martínez, 2009) y de 2.03 kg/m² (Grande Zometa y Luna Vega, 2010)

A pesar de estos bajos rendimientos, el tamaño promedio de las lechugas fue aceptable. (Cuadro 6). Esto indica que los rendimientos bajos se debieron a los bajos porcentajes de producto comercial que se obtuvieron (Cuadro 3). Además de los problemas de manejo y las condiciones ambientales que ya se han mencionado, probablemente características propias de este sistema fueron en parte responsables de estos resultados. Al momento de ingresar el agua a los tanques de fibra de vidrio que contenían las plantas, ésta salpicaba en la plancha y sobre las lechugas, lo que aumentaba la posibilidad del surgimiento de enfermedades que afecten el crecimiento y la calidad de las plantas.

Cuadro 6. Peso promedio (kg/m²) de lechugas comerciales producidas en un sistema acuapónico con dos métodos de remoción de partículas flotantes.

Tratamiento	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Sedimentado	255	272	247
Filtrado	293	284	326

3.4 PECES

El comportamiento de las tilapias fue distinto para cada ciclo. Durante el primer ciclo se trabajó con peces que ya estaban ambientados a la pila circular. Al poner a funcionar el sistema no hubo cambios en su comportamiento. La mortalidad para este ciclo fue baja y la ganancia de peso diario fue la esperada (Cuadro 7).

Cuadro 7. Datos sobre tasa de mortalidad y ganancia diaria de peso de los peces durante el primer y tercer de producción de lechuga en un sistema acuapónico. Zamorano, 2010.

Ciclo	Tiempo (días)	Número de peces		Mortalidad (%)	Peso (kg)		Peso promedio (kg)		Ganancia de peso diario (g)
		Inicial	Final		Inicial	Final	Inicial	Final	
1	23	350	340	2.86	36.0	44.5	103	131	1.22
2	27	340	◆	◆	47.4	◆	139	◆	◆
3	29	236	199	15.68	69.3	59.1	294	297	0.11

◆ Datos no calculables debido a resiembra realizada.

Durante el segundo ciclo existieron ciertos percances que generaron una mortalidad excesiva por lo que se realizó una resiembra de peces. Esta resiembra tuvo que hacerse en este momento debido a que no se podía dejar al sistema con baja biomasa de peces. Entre los factores que afectaron este ciclo están: los cortes de energía que interrumpieron la aireación, la recirculación y filtrado del agua; un cambio de pH brusco debido a una

rápida aplicación de cal dolomítica y el ataque de aves pesqueras. Por estas razones los datos de crecimiento no pudieron ser tomados.

Para el tercer ciclo la resiembra de peces redujo el crecimiento de los peces. Esta siembra se hizo con tilapias que se encontraban en jaulas flotantes en la laguna de la Unidad de Acuacultura de la Escuela Agrícola Panamericana, por lo que no estaban adaptadas a las condiciones de la pila de concreto. Este cambio tuvo repercusiones que se ven reflejadas en el porcentaje de mortalidad elevado y en la baja ganancia de peso diario.

4. CONCLUSIONES

- Bajo las condiciones del estudio los dos sistemas de remoción de partículas flotantes, filtro de bolas y tanque sedimentador, no presentaron diferencias en los rendimientos en la producción acuapónica de lechuga.
- El peso promedio de las raíces no se ve afectado por el método utilizado, mas responde a los distintos niveles de fertilización proporcionados.
- La sobrevivencia no varió de acuerdo a tratamientos, pero en cada ciclo fue afectada por las condiciones climáticas; bajo un ambiente lluvioso la mortalidad aumenta significativamente.
- El porcentaje de producto comercializable fue superior para el tratamiento de agua filtrada. Sin embargo, los ciclos se vieron afectados por las fertilizaciones y las condiciones climáticas.
- En las condiciones del estudio con un clima desfavorable o bajos niveles de fertilización, las plantas que sobrevivieron crecieron más, igualando los rendimientos comerciales entre tratamientos.
- En promedio, ningún ciclo ni tratamiento alcanzó los rendimientos comerciales esperados. Sin embargo, el peso promedio de las lechugas comercializable fue aceptable.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar el experimento en épocas de baja precipitación, en ambientes controlados o invernaderos.
- Repetir el estudio bajo otros modelos de producción acuapónica como Nutrient Film Technique (NFT), donde se asegure que el follaje de las plantas no sea humedecido por el sistema de recirculación.
- Hacer un estudio sobre el control de plagas en un sistema acuapónico.
- Replicar el estudio en épocas donde los cortes de energía no se den con frecuencia.
- Estudios futuros deberían tomar como referencia las recomendaciones de fertilización utilizadas para el tercer ciclo.

6. LITERATURA CITADA

Arriaza Catañeda, A., Martínez Cabrera, J. 2009. Producción hidropónica de lechuga integrada con el cultivo de tilapia con tres niveles de potasio y hierro. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 14 p.

Black, K.D. 2001. Environmental impacts of aquaculture. Sheffield Academic Press Ltd. Sheffield, UK. Pp. 99-127.

Castilblanco Flores, E.; Hidalgo Rivas, J. 2009. Efecto de dos tratamientos de agua en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo dos sistemas hidropónicos en piscicultura. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 16 p.

Diver, S. 2006. Aquaponics - Integration of Hydroponic with Aquaculture. Consultado el 12 de junio de 2009. Disponible en: www.attra.ncat.org/attra-pub/aquaponic.html

Grande Zometa, E.; Luna Vega, P. 2010. Comparación de la producción de lechuga a 6, 12 y 18 plantas/m² 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.

Green, B.E., D.R. Teichert-Coddington y T.R. Hanson. 2000. Desarrollo de tecnologías de acuicultura Semi-intensiva en Honduras. Series para la Investigación y Desarrollo 45:3-4, 46.

Lazard, J. 1997. Tilapia: More than a fish, a tool for sustainable development. *Tilapia Aquaculture* 2:437-439.

Nelson, R. L. 2008, *Aquaponic Food Production*, Nelson and Pade, Inc. Montello, USA. Pp. 48-53.

Pillay, T. V. R. 1992. *Aquaculture and Environment*, Halsted Press. New York, USA. Pp. 1-3, 56-69.

Rakocy, J. E., T. Losordo, M. Masser. 1992. *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Integrating Fishing and Plant Culture*. SRAC Publicación N° 454. Southern Region Aquaculture Center. Mississippi State University. 6 p.

Rakocy, J. E. 1997. Integrating Tilapia Culture with Vegetable Hydroponics in Recirculating Systems. Pages 163-184 in B.A Costa Pierce and Rakocy, J. E. Tilapia Aquaculture in the Americas. 1997. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States.

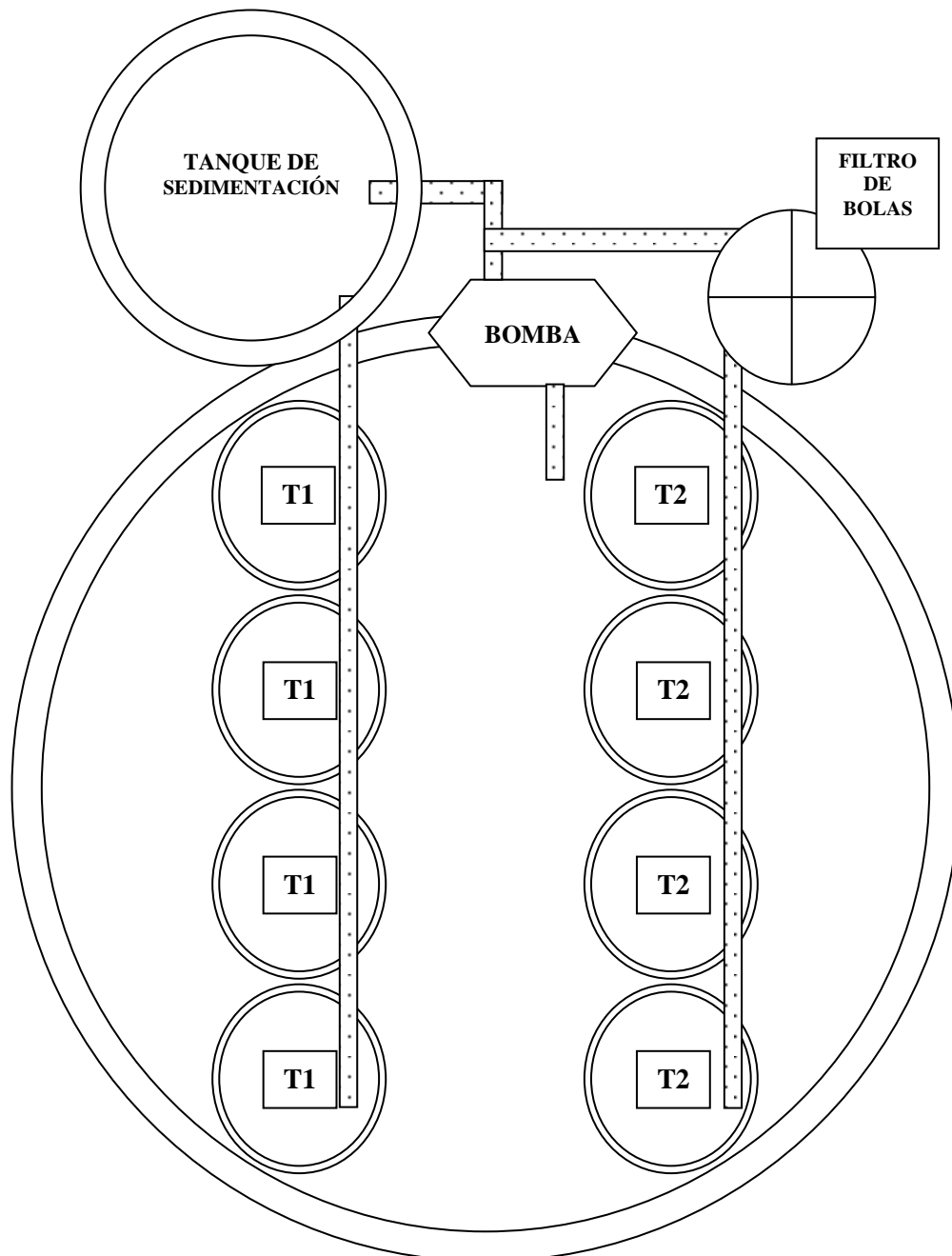
Ramirez, D., D. Sabogal, P. Jiménez y H. Hurtado. 2008. La Acuaponía: Una alternativa orientada al desarrollo sostenible. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. Pp. 4:32-51.

Salinas Matus, H., S. Martínez, A. Ortega, G. Orihuela, R.A. Matínez, R. Mejía. 2009. Acuaponía, plantas y peces libres de químicos. Consultado el 11 de Mayo de 2010. Disponible en: <http://www.acmor.org.mx/cuam/2009/Prototitpos/004-CUAM%20Mor-%20Acuaponia.pdf>

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

7. ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de los tratamientos y ubicación de las parcelas para la comparación del uso de un filtro de bolas y un tanque sedimentador en la producción de lechuga en un sistema acuapónico. Zamorano, 2010.



Anexo 2. Imagen del sistema acuapónico utilizado para la comparación del uso de un filtro de bolas y un tanque sedimentador en la producción de lechuga, siguiendo el orden indicado en el Anexo 1. Zamorano, 2010



Anexo 3. Imagen del tanque sedimentador utilizado en la producción de lechuga acuapónica. Zamorano, 2010



Anexo 4. Imagen del filtro de bolas utilizado en la producción de lechuga acuapónica.
Zamorano, 2010.



Anexo 5. Cuadro de fertilizaciones para cada ciclo de producción de lechuga en la comparación del uso de un filtro de bolas y un tanque sedimentador en un sistema acuapónico.

Ciclo	Fecha de aplicación	Muriato de potasio (g)	Cal dolomítica (g)	Hidróxido de calcio (g)
1	18-jun-10	0	0	740
	19-jun-10	740	0	0
2	30-jul-10	0	2000	0
	06-ago-10	740	0	350
3	30-ago-10	740	450	120
	01-sep-10	0	0	230
	02-sep-10 10-sep-10	0	3000	0