

**Evaluación de tres sistemas hidropónicos
utilizando sustrato orgánico en cultivo de
Lactuca sativa, adaptado para pequeños
productores**

Olga María Molina Molina

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2015

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA EN AMBIENTE Y DESARROLLO

Evaluación de tres sistemas hidropónicos utilizando sustrato orgánico en cultivo de *Lactuca sativa*, adaptado para pequeños productores

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo Socioeconómico en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Olga María Molina Molina

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2015

Evaluación de tres sistemas hidropónicos utilizando sustrato orgánico en cultivo de *Lactuca sativa*, adaptado para pequeños productores

Presentado por:

Olga María Molina Molina

Aprobado:

Gloria Arévalo de Gauggel, Dra.
Asesora principal

Laura Suazo, Ph.D.
Directora
Departamento de Ingeniería en
Ambiente y Desarrollo

Patricia Arce, Ing. Agr.
Asesor

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Alejandra Sierra, M.Sc.
Asesor

Evaluación de tres tipos de sistemas hidropónicos utilizando sustrato orgánico en cultivo de *Lactuca sativa* adaptado para pequeños productores

Olga María Molina Molina

Resumen La hidroponía es una técnica de la agricultura dedicada a la producción de cultivos sin tierra. Una hidroponía enfocada en aspectos orgánicos puede ser un sistema de producción sostenible y amigable con el ambiente. El objetivo fue evaluar tres sistemas hidropónicos utilizando contenedores de PVC, pseudotallo de banano y botellas recicladas, con sustrato de casulla de arroz y compost (50:50%) y comparar dos soluciones nutritivas: una química y una orgánica, comparadas sin usar soluciones, adaptada a pequeños productores. El estudio se realizó en el módulo experimental del Centro Regional de Innovación para Hortalizas y Frutas de Zamorano, Honduras. El diseño experimental fue BCA con arreglo factorial 3×3 (tres soluciones y tres contenedores), con tres réplicas. Se realizó un análisis de varianzas con separación de medias Duncan y un nivel de significancia de 0.05, analizado con el programa SAS®. Las variables analizadas fueron peso fresco y seco de lechuga (cabeza, raíz y total), a los 15 días de crecimiento durante dos períodos de tiempo. Los costos se evaluaron con el método de presupuesto parcial para cada tratamiento. Se evaluó el contenido de nutrientes del sustrato y la solución orgánica, Los mejores resultados en peso fresco y seco según el tipo de solución fueron con la solución química y según el tipo de contenedor fueron las botellas recicladas. El análisis de costos indicó que el costo más accesible fue para la combinación de contenedor de botellas de plástico y agua a un precio de \$ 0.33/m².

Palabras clave: Ambiente, compost, hidroponía, *Lactuca sativa*, orgánico

Abstract: Hydroponics is a technic used in urban agriculture for the crops production without soil. A hydroponics focused on organic aspects can be a sustainable and environmentally friendly production. The goal was to evaluate three hydroponic systems using PVC, banana pseudostem and recycled bottles containers, with chasuble rice and compost (50:50%) and to compare two solutions: chemical and organic, compared without the use of solutions, adapted to the smallholders. The study was realized in the Regional Innovation Center for Fruits and Vegetables experimental module, Zamorano, Honduras. The experimental design was RCB with factorial arrangement 3×3 (three containers and three solutions). It was realized a variance analysis with Duncan mean separation and a significance level of 0.05, analyzed with SAS® program. The variables analyzed were fresh and dry weight of lettuce (head, root and total), after 15 days of growth for two periods. The costs were evaluated with a partial budget method for each treatment. It was evaluated the nutrients content of substratum and organic solution. The best results in fresh and dry weight depending on the type of solution were with the chemical solution and by type of container were recycled bottles. The cost analysis indicated that the more affordable cost was to the combination of container and plastic water bottles at a price of \$ 0.33 / m².

Key words: Compost, environment, hydroponic, *Lactuca sativa*, organic

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4. CONCLUSIONES	23
5. RECOMENDACIONES	24
6. LITERATURA CITADA.....	25

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Cuadro de fertilizantes utilizados (g/L) para la solución nutritiva en sistema hidropónico.....	5
2. Concentración de nutrientes en compost y biofertilizante utilizados para la producción hidropónica de lechuga utilizando sustrato orgánico en cultivo de <i>Lactuca sativa</i> , adaptado para pequeños productores., EAP Zamorano, Honduras	6
3. Descripción de tratamientos aplicados en la evaluación de tres sistemas hidropónicos con sustrato orgánico en cultivo de <i>Lactuca sativa</i> , EAP Zamorano, Honduras.	8
4. Arreglo del experimento en BCA para la evaluación de tres sistemas hidropónicos con sustrato orgánico en cultivo de <i>Lactuca sativa</i> , EAP Zamorano, Honduras.	9
5. Efecto de la solución en el peso fresco de lechuga producida en hidroponía durante el primer ensayo, con uso de sustrato orgánico, para pequeños productores, EAP Zamorano, Honduras.....	10
6. Efecto del contenedor en el peso fresco de lechuga producida en hidroponía durante el primer ensayo, con uso de sustrato orgánico, para pequeños productores, EAP Zamorano, Honduras.....	11
7. Peso fresco total, de cabeza y de raíz en el primer ensayo a los 15 días de crecimiento después del trasplante, en tres sistemas hidropónicos con sustrato orgánico en cultivo de <i>Lactuca sativa</i> , EAP Zamorano, Honduras.....	11
8. Efecto de la solución en el peso seco de lechuga producida en hidroponía durante el primer ensayo, con uso de sustrato orgánico, para pequeños productores, EAP Zamorano, Honduras.....	12
9. Efecto del contenedor en el peso seco de lechuga producida en hidroponía durante el primer ensayo, con uso de sustrato orgánico, para pequeños productores, EAP Zamorano, Honduras.....	12
10. Peso seco total, de cabeza y de raíz durante el primer ensayo a los 15 días de crecimiento después del trasplante, en tres sistemas hidropónicos con sustrato orgánico en cultivo de <i>Lactuca sativa</i> , EAP Zamorano, Honduras.....	13
11. Efecto de la solución en el peso fresco de lechuga producida en hidroponía durante el segundo ensayo, con uso de sustrato orgánico, para pequeños productores, EAP Zamorano, Honduras.....	13

12. Efecto del contenedor en el peso fresco de lechuga producida en hidroponía durante el segundo ensayo, con uso de sustrato orgánico, para pequeños productores, EAP Zamorano, Honduras.....	14
13. Peso fresco total, de cabeza y de raíz en el primer ensayo a los 15 días de crecimiento después del trasplante, en tres sistemas hidropónicos con sustrato orgánico en cultivo de <i>Lactuca sativa</i> , EAP Zamorano, Honduras.....	14
14. Efecto de la solución en el peso seco de lechuga producida en hidroponía durante el segundo ensayo, con uso de sustrato orgánico, para pequeños productores, EAP Zamorano, Honduras.....	15
15. Efecto del contenedor en el peso seco de lechuga producida en hidroponía durante el segundo, con uso de sustrato orgánico, para pequeños productores, EAP Zamorano, Honduras.....	15
16. Peso seco total, de cabeza y de raíz en el primer ensayo a los 15 días de crecimiento después del trasplante, en tres sistemas hidropónicos con sustrato orgánico en cultivo de <i>Lactuca sativa</i> , EAP Zamorano, Honduras.....	16
17. Aporte de nutrientes en compost, biofertilizante y fertilizantes para la producción hidropónica de <i>Lactuca sativa</i> , adaptada para pequeños productores. EAP Zamorano, Honduras.....	17
18. Relación de exceso o deficiencia de macro elementos esenciales en la producción hidropónica de <i>Lactuca sativa</i>	18
19. Descripciones de pH y conductividad eléctrica en solución química, orgánica y compost usadas en la producción hidropónica de <i>Lactuca sativa</i> . EAP Zamorano, Honduras.	18
20. Resumen de costos en dólares para la producción hidropónica de 1 m ² de lechuga y duración según el tipo de material. EAP Zamorano, Honduras.....	22

Figuras

Página

21. Temperatura diaria promedio del período 15 de agosto – 4 de septiembre, 2015 durante los días del cultivo en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.....	19
22. Temperatura diaria promedio del período 4 de septiembre – 19 de septiembre, 2015 durante los días del cultivo en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano	20
23. Costos (\$/m ²) de producción de cultivo de lechuga bajo hidroponía según contenedor × solución. EAP Zamorano, Honduras.	21

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura no es una práctica reciente. Investigaciones arqueológicas han demostrado los registros más antiguos de plantas cultivadas las cuáles han sido consideradas como los probables centros del origen de la agricultura. Se estima que en el Medio Oriente, la agricultura pudo haber empezado hace 11,000 años y hace 9000 o 10000 años en Mesoamérica. Muchos estudios se hallan en la controversia si la agricultura nació de la escasez de la recolección de frutos o de una etapa de desarrollo tecnológico (Casas y Caballero 1995).

Con el tiempo, la agricultura se ha puesto en peligro por el mal manejo de los recursos y el manejo sustentable de los mismos se ha convertido en uno de los retos más urgentes para la ciencia actual y el mundo contemporáneo. En diferentes regiones se ha visto cómo los recursos naturales como el agua, suelo, aire y bosques entre otros, se han desgastado a un ritmo acelerado.

Entre los factores que influyen cambios en el desempeño de la productividad agrícola está el crecimiento poblacional que pone en riesgo la seguridad alimentaria de millones de personas alrededor del mundo. Cada año la cantidad de habitantes se incrementa y la disponibilidad de alimentos no es suficiente. Sólo para el 2050 la población mundial se habrá incrementado en un 34% más que la actual con un 9.1 billones de personas. La mayoría de este incremento ocurrirá en países en desarrollo.

Este crecimiento trae consigo también varios efectos desencadenantes como por ejemplo, un mayor desarrollo de la urbanización y para el 2050, el 70% de la población será urbana en comparación al 49% de hoy (FAO. s.f). Sobre esta problemática hay un gran debate sobre las decisiones que se deben tomar sobre sus efectos derivados como hambrunas, desnutrición, contaminación y entre otros factores que motivan al campo de la investigación a generar un futuro sustentable (Alpízar 2008).

Al enfocarse en el recurso suelo, la desertificación asociada con la degradación han cubierto hasta un 40% de la superficie de la Tierra con zonas secas y degradadas donde se encuentra alojada el 1/5 de la población humana (Kassas 1995). Se cree que la desertificación ha sido el resultado de la reducción del potencial biológico y económico de la Tierra para soportar la población humana y los animales domésticos y salvajes aunque haya otros que todavía cuestionan estas teorías (Leach y Mearns 1996).

La falta de espacio cultivable para satisfacer la demanda mundial de alimentos es actualmente innegable. Se estima que un 30% de las tierras arables (40 millones de hectáreas) han sido afectadas por diversos procesos de degradación y que cada año va en aumento en 5 a 7 millones de hectáreas e investigaciones en 1990 indican que 0.25

hectáreas de tierra arable correspondían a cada habitante y que solamente para el año 2,000 dicho estimado disminuyó a 0.23 hectáreas por habitante (Casas 2001).

Sin embargo, entre las decenas de investigaciones y proyectos impulsados por organizaciones como FAO en pro de la seguridad ambiental, se ha desarrollado un sistema agrícola conocido como agricultura urbana. El Programa de Naciones Unidas define la agricultura urbana como la actividad que produce, procesa y comercializa alimentos y otros productos en suelo y en agua, en áreas urbanas y periurbanas, con métodos de producción intensivos y reciclaje de recursos naturales y de desecho (Hernández 2006).

Ya en épocas de la revolución industrial las ciudades habían desarrollado sistemas de agricultura urbana. Los trabajadores llegados desde las áreas rurales para trabajar en las nuevas fábricas producían sus cultivos en pequeños huertos para llevar una vida más tolerable y subsistir en momentos de crisis. Los huertos urbanos también se relacionaron con las grandes guerras ya que fueron usados como un medio de adaptación a la falta de alimentos y para satisfacer los bienes de primera necesidad. (Morán 2010).

Actualmente en el siglo XXI la agricultura urbana ha adquirido una gran importancia de desarrollo, sobre todo en países del Sur. Cada vez más, estrategias de desarrollo con múltiples prácticas, programas e investigaciones han sido lideradas por organizaciones como la FAO, enseñando cómo actuar ante una situación de crisis dentro de un contexto urbano (Morán 2010).

Entre las técnicas que se derivan de la técnica de la agricultura urbana, se encuentra una de las iniciativas que ha desarrollado una gran tendencia a nivel mundial: la producción hidropónica, que propone soluciones ante las problemáticas mencionadas anteriormente. Se entiende por hidroponía a la producción de plantas en ausencia de suelo o materia orgánica la cual nos enseña que no se necesita únicamente tierra para desarrollar agricultura (Douglas 2001)

Al igual que la agricultura urbana, la hidroponía nace de la necesidad de producir cultivos en épocas de intensos conflictos políticos teniendo su impulso en la Segunda Guerra Mundial con la instalación de cultivos en bases militares estadounidenses y británicas. En 1939, la Universidad de Reading en Inglaterra y la Imperia Chemicals Industries adaptaron los cultivos hidropónicos a las condiciones existentes del país, demostrando la adaptabilidad de la técnica en diferentes medios (Espinosa 1994).

Si la hidroponía se fusiona también con otras técnicas como la agricultura orgánica se puede obtener un plus de beneficios que no sólo crean soluciones sino que da oportunidad a los pequeños productores de desarrollar estas tecnologías que muchas veces pueden ser costosas y poco accesibles para el pequeño productor. El desarrollo de un sistema hidropónico orgánico permitirá la provisión de alimentos ambiental y socialmente sensible (Scialabba y Hattam 2003).

Es conocido que la agricultura orgánica comienza a surgir tras la corriente de una nueva práctica de agricultura alternativa, enfocada al concepto de la sustentabilidad de los ecosistemas productivos agrícolas y forestales haciendo uso racional de los recursos

naturales que intervienen en los procesos productivos y excluyendo, obviamente, el uso de agroquímicos (Sosa *et al.* 2003).

La relevancia de este tema se basa no sólo en sus beneficios sino en su enfoque hacia los pequeños productores para quienes es necesario poner a su disposición, alternativas de producción que contribuyan a su subsistencia. Con el uso de materiales reciclados y más económicos, la hidroponía es una técnica muy eficiente para aplicar en las comunidades.

La falta de tiempo es una de las limitantes más importantes en la realización del proyecto ya que puede ser necesario realizar varias pruebas para determinar la eficiencia de más de una solución orgánica y poder desarrollar un paquete tecnológico totalmente orgánico que incluya no sólo soluciones orgánicas nutritivas, sino fertilizantes y plaguicidas orgánicos.

Sin embargo, es importante investigar esta área de la agricultura, ya que la hidroponía se ha convertido en la tendencia actual en la producción agrícola y los países latinoamericanos se suman cada vez más a esta iniciativa. Este sistema de producción nos da la oportunidad de cultivar en zonas donde el acceso a tierras fértiles es escaso y nulo en muchas de las ocasiones.

Con un enfoque sobre todos estos aspectos, los objetivos de este trabajo fueron: evaluar tres contenedores reciclables y de fácil acceso para pequeños productores, para la producción de *Lactuca sativa* en sistemas hidropónicos, evaluar dos soluciones nutritivas, para la producción de *Lactuca sativa* en sistemas hidropónicos, determinar el costo más rentable y la mejor combinación entre contenedor y solución para la producción de *Lactuca sativa*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y área. El proyecto se realizó en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras, a 30 km al Este de Tegucigalpa a una altura de 800 metros sobre el nivel del mar, con una precipitación anual de 1100 mm y una temperatura promedio de 25°C El ensayo de evaluación de sistemas hidropónicos se realizó en los meses de julio, agosto y septiembre en el módulo experimental del Centro Regional de Innovación para Hortalizas y Frutas ubicado cerca del módulo de Conservación de Suelos. Los análisis de compost y soluciones nutritivas se realizaron en el laboratorio de suelos de Zamorano.

Sistema de producción hidropónica de sustrato sólido. El principio de este sistema es la producción de cultivos sin suelo, proveyendo a las plantas de las condiciones óptimas para obtener un máximo potencial. En este sistema se puede controlar rápidamente aspectos como regulación de pH, humedad, conductividad eléctrica y costos (Gutiérrez 2011).

Los sistemas hidropónicos se hicieron con base en diferentes materiales: tubos de PVC de cuatro pulgadas partidos por la mitad con una sierra de mano, botellas recicladas de refresco de 2 L realizando una abertura de 7 ×7 cm en el centro y pseudotallos de banano realizando un corte en forma de canal, con tamaño suficiente para compararse en volumen con los otros contenedores. Los contenedores evaluados se colocaron en cinco estructuras triangulares de 1.50 m de alto, 1,50 m de largo y 1.60 m de ancho.

Cada estructura constó de seis hileras a cada lado con 0.25 m de distancia entre hileras Los sistemas hidropónicos a su vez se protegieron del factor lluvia mediante una estructura de plástico de polietileno de 3.80 m de altura, 6 m de largo y 6 m de ancho. La densidad usada fue de 18 plantas/ m². Se realizó un hoyo de 2 mm en cada contenedor, a una distancia de 25 cm. Esto se realizó con el fin de que el excedente de solución y agua pueda drenar.

Variedad del cultivo. Para este experimento se usó *Lactuca sativa* Var Escarola. La selección de este cultivo se debe a su facilidad para ser cultivado, fácil mercadeo (en caso de ventas) y alta productividad con un índice bajo de mortalidad (Alpízar 2008)

Fertilizantes Se utilizaron:

- Solución química: Nitrato de amonio, Nitrato de calcio, Hidróxido de Potasio, Fosfato mono amónico (MAP), Sulfato de potasio y Sulfato de magnesio.
- Solución orgánica: biofertilizante hecho a base de excremento de vaca, hojas de nacedero, levadura, leche, melaza y agua.

Sustrato (Medio de crecimiento). La función del sustrato en un sistema hidropónico es anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la exposición a la luz, permitir la respiración y contener agua y nutrientes necesarios para la planta. Los sustratos deben poseer buena textura, aireación, retención de humedad, libre de plagas, enfermedades o sustancias tóxicas. (Quesada 2011). En este caso se usó un sustrato preparado con el 50% de cascarilla de arroz y 50% de compost producido en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Todos los sistemas hidropónicos llevaron el mismo sustrato.

Soluciones nutritivas

Solución Química. La primera solución nutritiva fue preparada a partir de la solución adaptada por Cárdenas 2004, que se basó en la establecida por la Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cuadro de fertilizantes utilizados (g/L) para la solución nutritiva en sistema hidropónico.

Fertilizantes	Concentración (%)				
	100	100	50	75	25
	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 5
Macronutrientes (g/L)					
Nitrato de amonio	0.76	0.76	0.38	0.57	0.19
Nitrato de calcio	0.24	0.24	0.12	0.18	0.06
Hidróxido de potasio	&	0.04	0.02	0.03	0.01
MAP (fosfato mono amónico)	0.13	0.13	0.07	0.10	0.03
Sulfato de potasio	0.83	0.83	0.41	0.62	0.21
Sulfato de magnesio	0.22	0.22	0.11	0.16	0.05
Micronutrientes (mg/L)					
Boro	0.023	0.023	0.012	0.017	0.0058
Hierro	0.092	0.092	0.046	0.069	0.023
Manganeso	0.001	0.001	0.001	0.001	0.0003
Molibdeno	0.010	0.010	0.005	0.008	0.0025

&: No se aplicó

Fuente: Cárdenas, 2004 (adaptado por el autor)

La solución utilizada fue la solución 5 con una concentración al 25%. Se midió el pH con tiras indicadoras de color MN (Macherey – Nagel). El pH alcanzado en la soluciones fue de 6.

Solución orgánica. La segunda solución fue obtenida del Manual Práctico El A, B, C de la agricultura orgánica y harina de rocas (Restrepo Rivera 2007). Para la elaboración del biofertilizante se mezcló 10 libras de estiércol fresco de vaca, 200 ml de leche, 200 ml de melaza, una libra de hojas de leguminosas picadas (hojas de nacedero) y 18 litros de agua.

Esta mezcla se colocó en un recipiente hermético (para digestión anaerobia) conectado a una manguera que a su vez se conectó con una botella de plástico llena de agua que sirvió como un sistema de evacuación de gases. Después de eso se esperó 30 días para poder utilizarlo.

Sistema de riego. En todas las estructuras se utilizó un sistema de riego por goteo conocido como “family kit” que consta de 25 m de manguera negra tubing de 16 mm, 12 conectores codo de 16 mm, una válvula abridora $\frac{3}{4}$, 12 conectores “T”, una bolsa de polipropileno con capacidad de 200 L y 324 emisores de gotero pinchado regulable espaciados a 0.25 m, con una descarga de 0.03 L/seg por estructura. La demanda por planta por día fue de 150-270 ml. (Cárdenas 2004) y la recarga de bolsa se realizó cada semana aproximadamente. Adicionalmente se colocaron canaletas recolectoras de metal para el agua drenada de 1.50 m de largo y 0.05 m de ancho.

Temperatura. Los datos de la temperatura diaria promedio fueron tomados de la base de datos meteorológicos de la página web Accuweather de Zamorano diaria, para determinar si se encontraba dentro de los límites adecuados para la producción hidropónica.

METODOLOGÍA

Análisis químico de compost y biofertilizante. Se analizó el compost y biofertilizante utilizado para determinar la cantidad de macro y micronutrientes aportados por cada uno. Los análisis fueron realizados en el laboratorio de suelos de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentración de nutrientes en compost y biofertilizante utilizados para la producción hidropónica de lechuga utilizando sustrato orgánico en cultivo de *Lactuca sativa*, adaptado para pequeños productores., EAP Zamorano, Honduras

Elemento	Concentración	
	Compost g/100g	Biofertilizante g/100g
N	1.3	1.11
P	0.8	0.02
K	0.9	0.30
Ca	1.4	0.09
Mg	0.4	0.04
S	0.2	0.01
	mg/kg	mg/kg
Cu	53.9	1.39
Fe	12,093.4	62.43
Mn	518.9	14.22
Zn	177.6	3.10

En el caso del compost se trabajó en base seca y el biofertilizante directamente. La metodología usada para determinar nitrógeno fue de Kjeldahl. Para K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn se realizó por digestión, determinándose por espectrometría de absorción atómica de llama (AOAC 965.09). Fósforo (P), por digestión determinándose por espectrofotometría de azul de molibdeno, Azufre (S) con digestión y cuantificado por turbidimetría. En el compost: pH en relación 3:50 muestra: agua (AOAC 973.04) y MO por ignición. En el biofertilizante: pH directamente y MO por Walkley & Black.

Trasplante. El primer trasplante se realizó el 15 de agosto del 2015 en contenedores de PVC, pseudotallo de banano y botellas de plástico de 1.50 m y se usó como medio de crecimiento el sustrato hecho a base de 50% cascarilla de arroz y 50% compost v/v. Para el trasplante se sumergió el pilón en abundante agua para evitar el estrés de la raíz. Se humedeció el compost previamente, luego se hizo el trasplante y por último se volvió a regar. El trasplante para el segundo ensayo se realizó con la misma metodología y fue realizado el 4 de septiembre del 2015.

Fertilización

Primer ensayo. En el primer ensayo, los dos primeros días no se fertilizó para permitir que la planta se adaptara al medio. Al tercer día se realizó la fertilización. Para la fertilización química se usó la solución 5 (cuadro 1) adaptada por Cárdenas. La solución fue adaptada para 20 litros y se colocó 270 ml por planta.

Para la fertilización orgánica se usó la dosis de 1.5 L de biofertilizante por cada 16 L de agua recomendada en el manual orgánico del ABC de la agricultura, equivalente a 0.09 L de fertilizante por litro de solución. La primera fertilización quemó la raíz por lo que la segunda fertilización se redujo la dosis a 1L y se continuó fertilizando con esa dosis, sin embargo no hubo recuperación en el estado de las plántulas y la mortalidad ascendió. Se redujo la dosis a 0.5 L por cada 16 L y las plántulas empezaron mostrar cambios positivos en crecimiento.

En ambos casos se realizaron las fertilizaciones en períodos de un día de por medio, fertilizando siempre en horas de la mañana entre 7:00 a.m. y 8:00 a.m. En la segunda semana de crecimiento, las plantas empezaron a mostrar manchas blancas que indicaban signos de intoxicación, debido a la alta Conductividad Eléctrica del compost, la cual excedía los niveles adecuados para las plantas, por lo cual se procedió a determinar el peso de las plantas hasta ese momento.

Segundo ensayo. Para el segundo trasplante se hizo un lavado de compost sólo con agua hasta obtener la conductividad eléctrica adecuada. En el segundo trasplante se utilizó la misma dosis de solución química y en la solución orgánica se utilizó una dosis de 0.50 L equivalente al 1/3 de la dosis original tomada del Manual del A, B, C de la agricultura orgánica.

Variables determinadas

Peso de la materia fresca

- **Peso total.** Se tomó como biomasa total la suma del peso de la parte aérea de la planta y el peso de la raíz (Guerrero *et al.* 2014).
- **Peso raíz y cabeza.** Se pesó independientemente el peso de la raíz y la cabeza con una balanza (Guerrero *et al.* 2014).

Peso de la materia seca. Cada planta fue etiquetada con el nombre de la solución y contenedor respectivo para proceder al secado con el fin de obtener su peso seco. Se envolvieron las plantas de lechuga en papel toalla, e identificó cada tratamiento. Se colocaron en un horno deshidratador a una temperatura de 70 °C por 48 horas. Posteriormente, se tomó los datos de los mismos parámetros medidos en masa fresca.

Tratamientos. Los tratamientos consistieron en tres tipos de contenedor: tubo de PVC de 4" de diámetro, botellas recicladas de refresco de 2 L y pseudotallo de banano, los cuales contenían compost en donde se sembraron las plantas. Además se probaron dos soluciones de fertirriego: solución química preparada con fertilizantes y solución nutritiva orgánica con biofertilizante, comparadas con una solución testigo a la que solo se le aplicó agua. (cuadro3). Los contenedores se distribuyeron en cinco estructuras de soporte, con un total de tres réplicas por tratamiento, donde cada réplica constaba de dos hileras con seis plántulas cada una.

Cuadro 3. Descripción de tratamientos aplicados en la evaluación de tres sistemas hidropónicos con sustrato orgánico en cultivo de *Lactuca sativa*, EAP Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Contenedor	Solución
PVC/SQ	PVC	Química
Bot/SQ	Botellas	Química
Pseu./SQ	Banano	Química
PVC/SO	PVC	Orgánica
Bot/SO	Botellas	Orgánica
Pseu./SO	Banano	Orgánica
PVC/Agua	PVC	Agua
Bot/Agua	Botellas	Agua
Pseu./Agua	Banano	Agua

SQ= Solución Química; SO=Solución orgánica; Bot=Botella; Pseu.=Pseudotallo, PVC= Tubo de PVC

Diseño experimental del sistema hidropónico. Se aplicó un diseño experimental de Bloques Completamente al Azar (BCA) con arreglo factorial 3 × 3 (tres soluciones y tres contenedores) (Cuadro 4), colocados en estructuras de madera de manera que cada estructura correspondió a un bloque.

Cuadro 4. Arreglo del experimento en BCA para la evaluación de tres sistemas hidropónicos con sustrato orgánico en cultivo de Lactuca sativa, EAP Zamorano, Honduras.

Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3		Bloque 4		Bloque 5	
Estructura 1		Estructura 2		Estructura 3		Estructura 4		Estructura 5	
Solución Química		Solución química y orgánica		Solución orgánica		Testigo (Agua)		Testigo (Agua)	
PVC	Pseud. ¹	Botella	PVC	PVC	Pseud. ¹	PVC	Pseud. ¹	PVC	
PVC	Pseud. ¹	Botella	PVC	PVC	Pseud. ¹	PVC	Pseud. ¹	PVC	
Botella	PVC	Pseud. ¹	Botella	Botella	PVC	Botella	PVC	Botella	
Botella	PVC	Pseud. ¹	Botella	Botella	PVC	Botella	PVC	Botella	
Pseud. ¹	Botella	PVC	Pseud. ¹	Pseud. ¹	Botella	Pseud. ¹	Botella	Pseud. ¹	
Pseud. ¹	Botella	PVC	Pseud. ¹	Pseud. ¹	Botella	Pseud. ¹	Botella	Pseud. ¹	

¹Pseud.= Pseudotallo

Análisis estadístico. Se utilizó el programa “Statistical Analysis System® (SAS, 1999) y se realizó un análisis de Varianzas (ANDEVA) con modelo lineal (GLM) y una separación de medias “Duncan” y un nivel de significancia exigido de 0.05 (Cárdenas 2004)

Análisis de costos. El análisis de costos se hizo mediante el método de presupuesto parcial para considerar cuál de los sistemas hidropónicos evaluados se adapta mejor al pequeño productor en términos de costos. Los costos fueron evaluados por cada estructura, donde cada área ocupó cuatro m². Posteriormente se obtuvo y analizó los costos por m².

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primer ensayo

Peso de la materia fresca. Se encontraron diferencias significativas entre el peso de las plantas fertilizadas con la solución orgánica, química y el testigo regado con agua, en cuanto a las variables peso fresco total, peso fresco de la cabeza y peso fresco de la raíz. El mayor peso de las plántulas se dio con la solución química, seguida del agua y finalmente con la solución orgánica (Cuadro 5). El bajo desempeño presentado con la solución orgánica fue debido a que la dosis inicial de 0.09 L de biofertilizante/L de solución fue muy alta, elevando los niveles de conductividad eléctrica arriba del rango normal de lechuga de 2.5 dS/m. Esto causó intoxicación en las plantas, dañando el sistema radicular y quemando los bordes de las hojas y por ende causando un porcentaje de mortalidad de 39%, por lo que se debió realizar otro ensayo con una dosis menor.

Cuadro 5. Efecto de la solución en el peso fresco de lechuga producida en hidroponía durante el primer ensayo, con uso de sustrato orgánico, para pequeños productores, EAP Zamorano, Honduras.

Solución	Peso Fresco total (g/planta)	Peso fresco raíz (g/planta)	Peso fresco cabeza (g/planta)
Química	26.4 a	3.7 a ^E	22.6 a
Orgánica	5.7 c	0.7 c	5.0 c
Agua	17.2 b	3.0 b	14.3 b

^EMedias seguidas de letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (P<0.05).

En lo que se refiere al tipo de contenedor, no se registraron diferencias significativas en el peso fresco de raíz para botella y PVC, mientras que para las demás variables sí se registró diferencia significativa. El mejor peso fresco total y de cabeza se obtuvo en el contenedor de botella, mientras que el mayor peso fresco de raíz se dio en el contenedor de banano (Cuadro 6). Se conoce que el aumento de peso de la raíz está asociado a un menor desempeño de la planta (Arévalo, 2015), lo cual coincide con lo encontrado en este estudio e indica que las plantas en el contenedor de pseudotallo de banano genera un estrés en la planta, ya que por la naturaleza orgánica del mismo, compite con la absorción de agua y requiere mayor cantidad de agua.

Cuadro 6. Efecto del contenedor en el peso fresco de lechuga producida en hidroponía durante el primer ensayo, con uso de sustrato orgánico, para pequeños productores, EAP Zamorano, Honduras.

Contenedor	Peso Fresco total (g/planta)	Peso fresco raíz (g/planta)	Peso fresco cabeza (g/planta)
Botella	22.5 a	2.4 b [£]	20.1 a
PVC	19.7 b	2.5 b	16.3 b
Banano	12.4 c	3.4 a	9.9 c

[£]Medias seguidas de letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (P<0.05).

La interacción entre contenedor y solución, fue significativa en el peso de la cabeza de la lechuga y no significativa en las demás variables. La combinación entre contenedor y solución con mayor peso se dio en el contenedor de botellas y solución química, seguido del contenedor de PVC con solución química (P<0.05), (Cuadro 7).

Cuadro 7. Peso fresco total, de cabeza y de raíz en el primer ensayo a los 15 días de crecimiento después del trasplante, en tres sistemas hidropónicos con sustrato orgánico en cultivo de *Lactuca sativa*, EAP Zamorano, Honduras.

Contenedor	Solución	Peso total (g/planta)	Peso cabeza (g/planta)	Peso raíz (g/planta)
Banano	Química	19.61 b [£]	15.88 cd	3.73 a
Banano	Agua	10.55 c	8.02 e	2.61 ab
Banano	Orgánica	3.98 d	3.52 f	0.52 c
Botella	Química	31.75 a	28.40 a	3.39 a
Botella	Agua	21.22 b	18.91 c	2.32 b
Botella	Orgánica	8.83 cd	7.96 e	0.80 c
PVC	Química	27.64 a	23.55 b	4.09 a
PVC	Agua	19.05 b	15.10 d	3.96 a
PVC	Orgánica	3.87 d	3.26 f	0.64 c
R ²		0.54	0.56	0.41
Coeficiente Variación		49.80	49.30	66.72
Significancia				
Contenedor		***	***	**
Solución		***	***	***
Contenedor × Solución		ns	*	ns

[£]Medias seguidas de letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (P<0.05).

*** (P< 0.0001), ** (P 0.0001-0.001); * (P<0.05-0.01); ns= no significativo.

Peso de la materia seca. En lo que se refiere al peso en masa seca de las plantas, obtenida con cada solución utilizada; hubo diferencia significativa para todas las variables. El mejor desempeño en peso fue para las plantas fertilizadas con solución química, seguido de agua y finalmente la solución orgánica (Cuadro 8), mostrando el mismo comportamiento que el peso de la materia fresca.

Cuadro 8. Efecto de la solución en el peso seco de lechuga producida en hidroponía durante el primer ensayo, con uso de sustrato orgánico, para pequeños productores, EAP Zamorano, Honduras

Solución	Peso Seco total (g/planta)	Peso seco raíz (g/planta)	Peso seco cabeza (g/planta)
Química	1.3 a	0.5 a [£]	0.9 a
Orgánica	0.3 c	0.12 c	0.2 c
Agua	0.9 b	0.4 b	0.5 b

[£]Medias seguidas de letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (P<0.05).

Según el tipo de contenedor utilizado, no hubo diferencia significativa en el peso seco total entre botella y PVC, pero sí la hubo de estos en relación al contenedor de pseudotallo. En peso seco de raíz no hubo diferencia significativa entre PVC y pseudotallo de banano, pero sí hubo del contenedor de botellas con respecto a los otros dos contenedores. El mejor peso seco de cabeza se dio en los contenedores de PVC y botella (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto del contenedor en el peso seco de lechuga producida en hidroponía durante el primer ensayo, con uso de sustrato orgánico, para pequeños productores, EAP Zamorano, Honduras

Contenedor	Peso Seco total (g/planta)	Peso seco raíz (g/planta)	Peso seco cabeza (g/planta)
Botella	1.1 a	0.3 b [£]	0.8 a
PVC	1.0 a	0.4 a	0.6 b
Banano	0.8 b	0.4 a	0.4 c

[£]Medias seguidas de letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (P<0.05).

En la interacción entre contenedor y solución, no hubo significancia estadística en peso seco total y de raíz, habiendo significancia sólo para el peso en cabeza. De igual forma, la mejor combinación entre contenedor y solución con mayor peso seco se dio en el contenedor botellas y solución química (Cuadro 10).

Cuadro 10. Peso seco total, de cabeza y de raíz durante el primer ensayo a los 15 días de crecimiento después del trasplante, en tres sistemas hidropónicos con sustrato orgánico en cultivo de *Lactuca sativa*, EAP Zamorano, Honduras.

Contenedor	Solución	Peso total (g/planta)	Peso cabeza (g/planta)	Peso raíz (g/planta)
Banano	Química	1.19 ab [‡]	0.60 c	0.39 b
Banano	Agua	0.71 c	0.30 d	0.41 a
Banano	Orgánica	0.25 d	0.14 de	0.11 c
Botella	Química	1.44 a	1.44 a	1.44 a
Botella	Agua	1.02 b	0.70 c	0.32 b
Botella	Orgánica	0.43 d	0.29 d	0.13 c
PVC	Química	1.40 a	0.89 b	0.51 a
PVC	Agua	1.05 b	0.56 c	0.49 a
PVC	Orgánica	0.24 d	0.12 e	0.11 c
R ²		0.48	0.56	0.34
Coeficiente de Variación		49.40	48.82	69.43
Significancia				
Contenedor		**	***	*
Solución		***	***	***
Contenedor × Solución		ns	*	ns

[‡]Medias seguidas de letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (P<0.05).

*** (P< 0.0001), ** (P 0.0001-0.001); * (P<0.05-0.01); ns= no significativo.

Segundo ensayo

Masa fresca. Para el segundo ensayo, con la dosis de solución orgánica corregida, hubo diferencias significativas según el tipo de solución tanto para el peso fresco total como para el peso fresco de cabeza, siendo la solución química como la mejor en peso, seguida de la solución orgánica y por última la solución sólo con agua. Para el peso fresco de raíz no hubo ninguna diferencia en peso entre soluciones. (Cuadro 11).

Cuadro 11. Efecto de la solución en el peso fresco de lechuga producida en hidroponía durante el segundo ensayo, con uso de sustrato orgánico, para pequeños productores, EAP Zamorano, Honduras

Solución	Peso fresco total (g/planta)	Peso fresco raíz (g/planta)	Peso fresco cabeza (g/planta)
Química	25.7 a	2.4 a [‡]	23.3 a
Orgánica	19.8 b	2.3 a	17.5 b
Agua	17.8 c	2.2 a	15.6 c

[‡]Medias seguidas de letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (P<0.05).

Según el tipo de contenedor utilizado, el contenedor de botellas fue el mejor tanto en peso fresco total como en peso fresco de cabeza, seguido del contenedor de PVC y pseudotallo de banano. Caso contrario sucedió con el peso fresco de raíz donde los pesos más altos se registraron en el contenedor de pseudotallo de PVC y botellas (Cuadro 12).

Cuadro 12. Efecto del contenedor en el peso fresco de lechuga producida en hidroponía durante el segundo ensayo, con uso de sustrato orgánico, para pequeños productores, EAP Zamorano, Honduras

Contenedor	Peso Fresco total (g/planta)	Peso fresco raíz (g/planta)	Peso fresco cabeza (g/planta)
Botella	25.7 a	1.9 c [£]	23.8 a
PVC	22.2 b	2.7 a	19.4 b
Banano	15.2 c	2.3 b	12.9 c

[£] Medias seguidas de letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (P<0.05).

En la interacción entre contenedor y solución, sólo el peso en raíz fue significativo pero no en el peso de cabeza y peso total no se halló significancia estadística. La combinación de contenedor de botella con solución química continuó siendo la más alta en peso total y de cabeza, sin embargo el mayor peso fresco de raíces fue en contenedor de pseudotallo con solución química (Cuadro 13).

Cuadro 13. Peso fresco total, de cabeza y de raíz en el primer ensayo a los 15 días de crecimiento después del trasplante, en tres sistemas hidropónicos con sustrato orgánico en cultivo de *Lactuca sativa*, EAP Zamorano, Honduras.

Contenedor	Solución	Peso total (g/planta)	Peso cabeza (g/planta)	Peso raíz (g/planta)
Banano	Química	20.05 c [£]	17.21 c	2.84 a
Banano	Agua	12.53 d	10.71 d	1.83 b
Banano	Orgánica	12.34 d	10.31 d	2.03 b
Botella	Química	30.60 a	28.68 a	1.91 b
Botella	Agua	24.80 b	19.66 c	2.05 b
Botella	Orgánica	21.71 bc	23.06 c	1.75 bc
PVC	Química	26.25 b	23.89 b	2.36 b
PVC	Agua	21.40 c	15.70 c	2.66 a
PVC	Orgánica	18.37 c	18.27 c	3.12 b
R ²		0.42	0.46	0.12
Coeficiente de Variación		31.90	33.02	54.81
Significancia				
Contenedor		***	***	*
Solución		***	***	***
Contenedor × Solución		ns	*	ns

[£] Medias seguidas de letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (P<0.05).

*** (P< 0.0001), ** (P 0.0001-0.001); * (P<0.05-0.01); ns= no significativo.

Masa seca. El peso seco total y de cabeza tuvieron diferencia significativa en el tipo de solución utilizada, donde la solución química se mantuvo como la mejor en peso. El peso seco de raíz no tuvo diferencia en la solución química y orgánica y solamente hubo diferencia de soluciones con respecto a la solución testigo sólo con agua (Cuadro 14).

Cuadro 14. Efecto de la solución en el peso seco de lechuga producida en hidroponía durante el segundo ensayo, con uso de sustrato orgánico, para pequeños productores, EAP Zamorano, Honduras

Solución	Peso seco total (g/planta)	Peso seco raíz (g/planta)	Peso seco cabeza (g/planta)
Química	1.4 a	0.2 b [£]	1.2 a
Orgánica	1.2 b	0.2 b	1.0 b
Agua	1.1 c	0.3 a	0.9 c

[£]Medias seguidas de letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (P<0.05).

Según el tipo de contenedor utilizado, el contenedor de botellas continuó como el mejor tanto en peso fresco total como en peso fresco de cabeza, seguido del contenedor de PVC y pseudotallo de banano, sin registrar ninguna diferencia en el peso seco de raíz en los tres tipos de contenedores (Cuadro 15).

Cuadro 15. Efecto del contenedor en el peso seco de lechuga producida en hidroponía durante el segundo, con uso de sustrato orgánico, para pequeños productores, EAP Zamorano, Honduras

Contenedor	Peso seco total (g/planta)	Peso seco raíz (g/planta)	Peso seco cabeza (g/planta)
Botella	1.4 a	0.2 a [£]	1.2 a
PVC	1.3 b	0.2 a	1.0 b
Banano	1.0 c	0.2 a	0.8 c

[£]Medias seguidas de letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (P<0.05).

En la interacción entre contenedor y solución, sólo el peso en raíz fue significativo mientras que en el peso de cabeza y peso total no se halló significancia estadística. La combinación de contenedor de botella con solución química continuó siendo la más alta en peso total y de cabeza, y esta vez el mayor peso seco en raíces se registró en el contenedor de PVC con solución química (Cuadro 16).

Cuadro 16. Peso seco total, de cabeza y de raíz en el primer ensayo a los 15 días de crecimiento después del trasplante, en tres sistemas hidropónicos con sustrato orgánico en cultivo de *Lactuca sativa*, EAP Zamorano, Honduras.

Contenedor	Solución	Peso total (g/planta)	Peso cabeza (g/planta)	Peso raíz (g/planta)
Banano	Química	1.19 b [£]	0.94 bc	0.25 ab
Banano	Agua	1.00 b	0.69 c	0.20 bc
Banano	Orgánica	0.89 c	0.74 c	0.26 a
Botella	Química	1.48 a	1.29 a	0.19 c
Botella	Agua	1.30 a	1.10 ab	0.21 b
Botella	Orgánica	1.41 a	1.20 ab	0.18 c
PVC	Química	1.44 a	1.24 a	0.21 b
PVC	Agua	0.98 b	0.77 c	0.21 b
PVC	Orgánica	1.31 a	0.99 b	0.32 a
R ²		0.19	0.11	0.29
Coeficiente de Variación		34.01	55.62	34.32
Significancia				
Contenedor		***	**	***
Solución		***	*	***
Contenedor × Solución		ns	**	ns

[£]Medias seguidas de letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (P<0.05).

*** (P< 0.0001), ** (P 0.0001-0.001); * (P<0.05-0.01); ns= no significativo.

Análisis químico. El análisis químico obtenido del compost y biofertilizante muestra un exceso de macro y micro nutrientes para la planta que sobrepasan el requerimiento de nutrientes establecido para lechuga. (Bertsch 2009). Los niveles más altos de nutrientes se dan especialmente en Nitrógeno y Calcio. El exceso de Nitrógeno, tanto en el compost como en el biofertilizante, causó oscurecimiento de las hojas, especialmente en los bordes, y el número y largo de pelos radicales disminuyó. Otro elemento encontrado en gran cantidad, en este caso en el compost, fue el Calcio. La alta concentración en Calcio creó manchas blancas en las hojas (Bulnes 2015) (Cuadro 17)

Cuadro 17. Aporte de nutrientes en compost, biofertilizante y fertilizantes para la producción hidropónica de *Lactuca sativa*, adaptada para pequeños productores. EAP Zamorano, Honduras.

Elemento	Aporte							Requerimiento (30 t/ha)		
	Compost g/planta	Biofertilizante g/planta	Compost kg/ha	Biofertilizante kg/ha	Total orgánico kg/ha	Fertilizante kg/ha	Total químico kg/ha	Bertsch kg/ha	Fintrac kg/ha	Otra kg/ha
N	5.72	2.40	1016.2	423.00	1439.1	29.3	1045.4	90	104	90
P	3.84	0.10	661.4	8.52	669.9	2.7	664.1	12	13	15
K	4.01	0.60	725.3	113.12	838.4	33.9	759.2	120	158	133
Ca	6.25	0.20	1112.9	36.20	1148.8	4.3	1117.1			
Mg	2.02	0.10	351.7	14.40	365.6	1.9	353.6			9
S	0.85	0.02	145.5	3.83	149.3	19.4	164.9			5
Cu	0.02	0.001	4.5	0.11	4.5					
Fe	5.43	0.03	977.2	5.05	982.3					
Mn	0.21	0.01	41.9	1.15	43.1					
Zn	0.10	0.001	14.4	0.25	14.6					

La solución química de fertilizantes, en cambio, mostró que la cantidad utilizada para este tipo de producción hidropónico no es suficiente, sin embargo al combinarse con el sustrato de compost y casulla, se completa el requerimiento nutricional de lechuga (Cuadro 18).

Cuadro 18. Relación de exceso o deficiencia de macro elementos esenciales en la producción hidropónica de *Lactuca sativa*

Elemento	Exceso o deficiencia					
	Biofertilizante		Compost		Fertilizantes	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
N	318.9	306	912.1	876.1	-74.8	-71.9
P	-4.4	-29	646.0	4194.9	-12.7	-82.7
K	-44.5	-28	567.7	360.2	-123.7	-78.5

Conductividad eléctrica y pH. La conductividad eléctrica en la solución orgánica y compost, durante el primer ensayo fue mayor que el rango normal de 2 dS/cm para cultivo de lechuga. Ya en el segundo período, con la dosis de solución orgánica corregida y el lavado de compost, la conductividad eléctrica bajó drásticamente y se mantuvo en un rango menor a 1 dS/m, lo que permitió un desarrollo adecuado del cultivo. Sin embargo, la conductividad eléctrica en la solución nutritiva química se mantuvo en ambos períodos con un nivel menor a 1 dS/m.

El pH durante el primer y segundo ensayo fluctuó entre 4.92 y 6. Se observaron fluctuaciones debido al cambio de concentraciones de la solución para regular la dosis ideal. En el segundo ensayo, el compost presentó una disminución de pH debido al lavado. Por otro lado, el biofertilizante presentó un aumento de pH a medida que se fue regulando la dosis ideal de biofertilizante al 33% de la concentración normal (Cuadro 19). El pH de la solución debe mantenerse entre 6-5, aunque en su período inicial presenta pH entre 5-6 (Benton 1997). Sin embargo un rango ideal también puede ser menor de 7 (6.5-5.5); es decir, ligeramente ácida (Alpizar 2008), así que el segundo ensayo se pudo cumplir estos parámetros, tanto en las soluciones como en el compost.

Cuadro 19. Descripciones de pH y conductividad eléctrica en solución química, orgánica y compost usadas en la producción hidropónica de *Lactuca sativa*. EAP Zamorano, Honduras.

Solución/sustrato	pH	CE (dS/m)
Solución nutritiva química	5.5	0.8
Biofertilizante	4.9	13.9
Biofertilizante 33%	5.9	0.8
Compost sin lavar	7.6	11.8
Compost lavado	6.0	0.6

Temperatura. Las temperaturas durante el primer ensayo variaron entre 15 °C y 34 °C en promedio (Figura 1). Las mayores variaciones en temperatura máxima diaria promedio se dan entre el 21 y 25 de agosto y posteriormente se mantuvieron normales. En este caso la temperatura durante el primer ensayo se mantuvo dentro del estándar de temperatura promedio usada para hidroponía que es de 20 °C, sin causar ninguna complicación (Benton J. 2000) (Figura 1).

En las temperaturas registradas durante el segundo ensayo se mantuvo una temperatura diaria promedio parecida a la anterior con variaciones mínimas. La temperatura diaria máxima promedio registrada fue de 32 °C con una mínima de 16 °C, lo cual se mantuvo nuevamente dentro del rango normal de temperatura para la producción hidropónica (Figura 2)

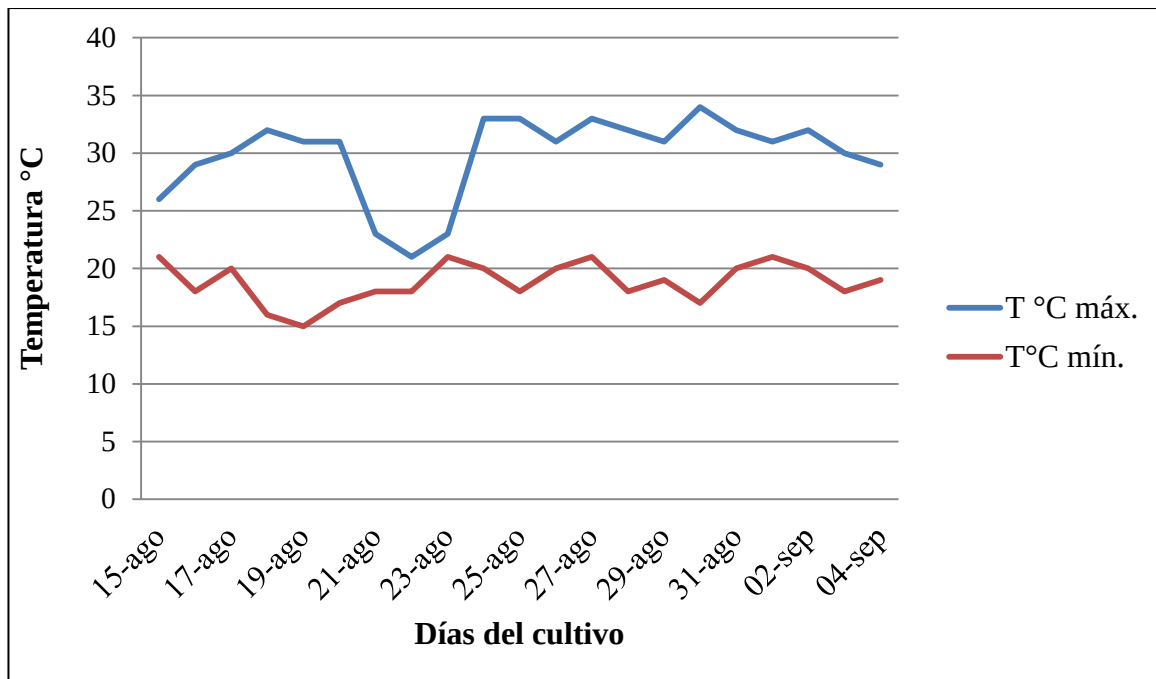


Figura 1. Temperatura diaria promedio del período 15 de agosto – 4 de septiembre, 2015 durante los días del cultivo en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

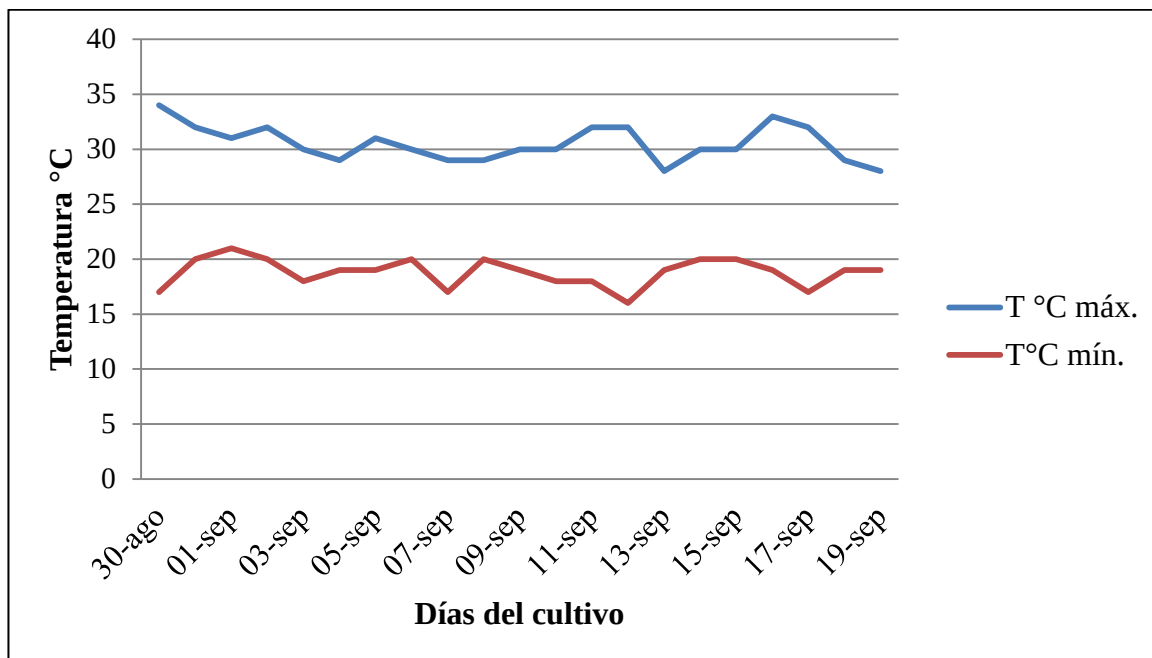


Figura 2. Temperatura diaria promedio del período 4 de septiembre – 19 de septiembre, 2015 durante los días del cultivo en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Análisis de costos. En el análisis de costos por metro² para cada uno de los tratamientos se observa una gran variación, sin embargo el costo más viable en la producción hidropónica de lechuga es con contenedor de botellas de plástico y agua a un precio de \$ 0.33. La aplicación más costosa de sistema de hidroponía para lechuga es la combinación de PVC con solución química con un costo de \$0.51 (Figura3). Los costos de mayor relevancia se dan en la construcción de los sistemas hidropónicos y la adquisición de plántulas debido a la gran cantidad de volumen que se debería solicitar (Cuadro 20).

En una evaluación similar de sistemas hidropónicos en el municipio de Pasto, Colombia, el reporte de costos para la producción de m² del cultivo se encuentra en alrededor de los \$2,50 con una ingresos brutos después de los diez ciclos. El autor también añade, que este tipo de sistema de producción con sustratos similares y estructura triangular, son una alternativa de producción rentable para dueños de minifundios o pequeños agricultores ya que les permite tener una opción para mejorar sus ingresos (Guerrero et. Al 2014).

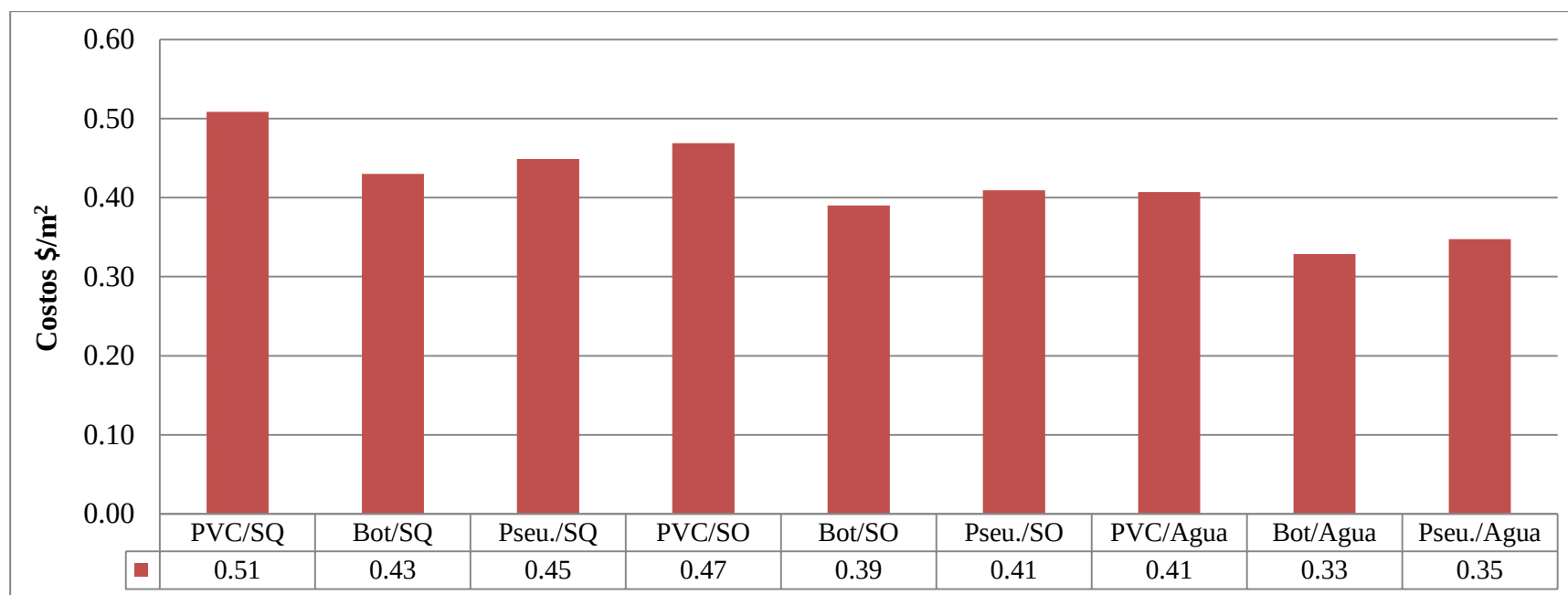


Figura 3. Costos (\$/m²) de producción de cultivo de lechuga bajo hidroponía según contenedor × solución. EAP Zamorano, Honduras.

SQ= Solución Química; SO=Solución orgánica; Bot=Botella; Pseu.=Pseudotallo, PVC= Tubo de PVC

Cuadro 20. Resumen de costos en dólares para la producción hidropónica de 1 m² de lechuga y duración según el tipo de material. EAP Zamorano, Honduras.

Costos	PVC SQ	Botellas SQ	Pseud¹ SQ	PVC SO	Botellas SO	Pseud¹ SO	PVC Agua	Botellas Agua	Pseud¹ Agua
Construcción	2.10	0.69	1.03	2.10	0.69	1.03	2.10	0.69	1.03
Fertilizante	1.83	1.83	1.83	1.11	1.11	1.11	-	-	-
Sustrato	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
Plántulas	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27
Sistema de riego	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
Total \$/estructura/ ciclo	9.16	7.74	8.08	8.44	7.02	7.37	7.33	5.91	6.26
Total \$/m²/ciclo	0.51	0.43	0.45	0.47	0.39	0.41	0.41	0.33	0.35
Duración estructura (años)	5.00	1.00	0.08	5.00	1.00	0.08	5.00	1.00	0.08

¹Pseud.= Pseudotallo

4. CONCLUSIONES

- En la evaluación de contenedores reciclables, el contenedor de botella es la mejor opción en la producción hidropónica de *Lactuca sativa*, ya que el peso obtenido en este tipo de contenedor fue mayor en relación a PVC y pseudotallo de banano.
- Entre las soluciones nutritivas evaluadas, la mejor opción para suplir el requerimiento nutritivo de la planta es la solución química a base de fertilizantes.
- La mejor combinación para producción hidropónica de *Lactuca sativa* es contenedores de botella con solución química.
- En relación a los costos, hubo una gran variación en el costo de sistemas según contenedor y solución, sin embargo el precio más bajo fue para contenedor de botellas y agua a un precio de \$0.33/m².

5. RECOMENDACIONES

- Usar botellas de refresco de 2 L recicladas en la producción hidropónica de lechuga con sustrato de compost y casulla (50:50%) con fertilización de solución química a base de fertilizantes.
- Lavar el compost antes de realizar el trasplante de las lechugas para evitar intoxicación por exceso de nutrientes o que exceda los niveles de Conductividad Eléctrica mayores a 2dS/m y pH mayor a siete o menor a cinco.
- No usar pseudotallo de banano para la producción hidropónica de *Lactuca sativa* ya que crea competencia por agua.
- Realizar el análisis de macro y micronutrientes del compost y biofertilizante antes de la primera fertilización para determinar los excesos o las deficiencias de nutrientes según los requerimientos del cultivo.
- En la práctica de este sistema de producción, no es necesario agregar hidróxido de potasio, ya que la variación que se presenta en pH no es significativa. Para ello debe tomarse en cuenta la calidad de agua.
- Realizar otro ensayo con el período completo de 36 días para producción hidropónica de cultivo de *Lactuca sativa* usando sustrato orgánico.

6. LITERATURA CITADA

- Alpízar, L. 2008 Hidroponía. Cultivo sin tierra. Cartago, Costa Rica. Editorial tecnológica de Costa Rica. Primera edición. 108 p.
- Arévalo, G. 2015. Determinación de la eficiencia de manejo de nutrientes y de agua en tres variedades de pimiento de color (*Capsicum Annuum* L.) en hidroponía bajo condiciones de invernadero en MULACAGUA, Departamento de Comayagua, Honduras. Tesis en doctorado en Agroplasticultura, Agrónica y Desarrollo Rural Sostenible. Universidad de Armería. España. 207 p.
- Benton, J. 1997. Hydroponics. A practical Guide for the Soilless Grower. Boca Raton. Florida. St. Lucie Press. 229 p.
- Bulnes, R. 2015. Síntomas de intoxicación de lechuga en hidroponía. Empresa productora de plántulas de *Lactuca sativa* “Pilones y Flores”, Tegucigalpa, Honduras. (Comunicación personal)
- Casas, A., J, Caballero1995. Domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. Revista Ciencias N°40. CENCAS. 37-38 p.
- Casas, R. 2001. La Conservación de los Suelos y la Sustentabilidad de los Sistemas Agrícolas. 202-203 p.
- Cárdenas, C. 2004. Determinación de los efectos en rendimiento de la producción de lechuga hidropónica y convencional en condiciones de El Zamorano, Honduras. Tesis Ing. Agr. Tegucigalpa, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 2-21 p.
- Douglas, J. 2001. Hidroponia: Cultura sem terra. Brasil. NBL editora. 1-2p.
- Espinosa, T. 1994. ¿Qué es la hidroponia. Revista del Centro de Investigación. vol. 1, n°3. Universidad La Salle. 10-12 p.
- Food Agricultural Organization (FAO) . s.f. How to feed the World in 2050. (En línea). Consultado el 23 de Agosto de 2015. Disponible en <http://www.fao.org/search/en>.
- Guerrero, M., I, Revelo., O, Benavides., O., G, Chaves., A, Moncayo. 2014. Evaluación de sustratos en cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico en el Municipio de Pasto

- >Evaluation of substrates in a hydroponic lettuce culture system in the municipality of Pasto. *Revista de Ciencias Agrícolas* vol . 32, nº1. 5-7 p.
- Gutiérrez, J. 2011 Producción hidropónica de lechuga con y sin recirculación de solución nutritiva. Tesis maestro en ciencias en horticultura. Universidad Autónoma de México. 66 p.
- Hernández, L. 2006. La agricultura urbana y caracterización de sus sistemas productivos sociales, como vía para la seguridad alimentaria en nuestras ciudades. Revisión bibliográfica. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. Vol. 27, N°2, 13-25p.
- Kassas, M. 1995. Desertification:a general review. *Journal of arid environment*. vol. 30, nº2. 116 p.
- Leach, M., R, Mearns. 1996. *The lie of the Land: Challenging recieved wisdom on the Africa environment*. James Currey Ltd.
- Morán, A. 2010. Agricultura urbana: un aporte a la reahabilitación integral. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, nº111. 100-111 p.
- Quesada, P. 2011. Uso de compost y arena volcánica como sustratos en un sistema hidropónico abierto para cultivo protegido de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Teis Ing. Agr.*, San Carlos, Costa Rica, Tecnológico de Costa Rica. 82 p.
- Scialabba, N., C, Hattam. (eds.) 2003 *Agricultura orgánica, ambiente y seguridad alimentaria*. FAO (Food Agriculture Organization). vol. 4. Roma. 1, 8, 9 p.
- Sosa, E., M, Hernández., A, Alarcón., C, Vázquez. 2003. *Agricultura Orgánica*. Sociedad Mexicana de la Cienia del Suelo A.C., Facultad de Agricultura y Zootecnia. México. COCyTED. 1p.