

EVALUACIÓN DE SUSTRATOS EN UN 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

Elizabeth Marcela Guerrero¹; Juan Camilo Revelo¹; Orlando Benavides B.²;
Germán Chaves J.³; Carlos Álvaro Moncayo⁴

Fecha de recepción: Abril 24 de 2014

Fecha de aceptación: Mayo 23 de 2014

RESUMEN

La horticultura es un importante renglón económico en Nariño, este proyecto se realizó como una alternativa para mejorar la producción y calidad de lechuga. En el Centro Internacional de Producción Limpia Lope - SENA - Regional Nariño, se realizó la evaluación de los sustratos fibra de coco y cascarilla de arroz con sus respectivas mezclas bajo un sistema hidropónico sobre una estructura en forma de "A" para la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un área de 10 metros² para un total de 200 plantas, donde se evaluaron las variables altura, diámetro, peso total, peso de cabeza, peso de raíz y rendimiento. Se utilizó un diseño irrestrictamente al azar, con 5 tratamientos y 4 repeticiones, con los siguientes tratamientos; sustrato 100% cascarilla de arroz, mezcla de 70% cascarilla de arroz y 30% fibra de coco, mezcla del 50% de cada uno de los sustratos utilizados,

-
- 1 Ingenieros Agrónomos. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia.marcelitag2@yahoo.es/ juancarevelo.2006@yahoo.es
 - 2 Docente Tiempo Completo. I.A. M.Sc. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. orlando.benavides2@gmail.com
 - 3 Docente Hora Cátedra Asociado. I.A. M.Sc. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. g-ch-j@hotmail.com
 - 4 Docente Hora Cátedra. I.A. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia.camoncayo@gmail.com

mezcla 70% fibra de coco y 30% cascarilla de arroz y el tratamiento de sustrato 100% fibra de coco. Las mezclas de los sustratos fibra de coco y cascarilla de arroz obtuvieron mejor respuesta para las variables evaluadas que los sustratos individuales, los cuales dieron plantas con mejor desarrollo fisiológico en las variables diámetro peso de cabeza, y rendimiento. En cuanto a la rentabilidad el tratamiento 70% fibra de coco y 30% cascarilla de arroz fue el mejor con un porcentaje del 12%.

Palabras clave: Fibra de coco, cascarilla de arroz, estructura en A.

ABSTRACT

Horticulture is a strong economic line in Nariño; this project was done as an alternative to improve the production and quality of lettuce. The evaluation of coconut fiber and rice husks substrates for a hydroponic A-frame structure system for the production of lettuce (*Lactuca sativa* L.) was carried out at the International Center for Clean Production Lope, SENA Regional Nariño. A total of 200 plants were cultured in an area of 10 square meters, from which plant height, diameter, total weight, and head and root weight variables were evaluated. An unrestricted random sampling design with 5 treatments and 4 replicates was performed, where treatment 1 corresponded to 100% rice husks substrate, treatment 2 to a mixture of 70% rice husks and 30% coconut fiber, treatment 3 to a mixture of 50% of each of substrate, treatment 4 to a mixture of 70% coconut fiber and 30% rice husks, and treatment 5 to 100% coconut fiber substrate. The results showed that the treatments with a mixture of coconut fiber and rice husks were better compared to the individual substrate treatments, with the former plants showing the best physiological development in diameter, head weight, and performance. In terms of profitability, treatment 4 with 70% coconut fiber and 30% rice husks substrate mixture was the best by 12%.

Keywords: Coconutfiber, rice husks, A-frame structure.

INTRODUCCIÓN

La horticultura en el departamento de Nariño, Colombia, ocupa un renglón muy importante en la producción y la comercialización de hortalizas, sin embargo, es necesario tecnificarla para obtener mayores cosechas y de mejor calidad. En Nariño los principales municipios productores de lechuga son Yacuanquer, Puerres, Pasto, Pupiales y Potosi (MADR, 2009). La producción de lechuga en el departamento de Nariño para el año 2010 fue de 4.525 toneladas con un rendimiento de 35,8 t/ha (AGRONET, 2010), destacándose como uno de los cultivos de

mayor extensión de siembra en el departamento (MADR, 2008). Actualmente el departamento de Nariño está encaminado hacia un moderno y seguro desarrollo económico donde la estrategia de productividad y competitividad, además su desarrollo esta enfatizado en las cadenas productivas en el sector agroindustrial y en la incorporación de tecnologías sostenibles de producción. Su excelente ubicación geográfica, le otorga condiciones climáticas favorables para desarrollar una gran diversidad de cultivos entre ellos las hortalizas y de esta manera aprovechar los tratados que el país tiene vigentes (PROEXPORT, 2012).

Por lo anterior la horticultura en el departamento de Nariño ha tomado mucha importancia, donde se destacan algunos municipios, no obstante, es necesario emplear diferentes alternativas que permitan una constante y mayor producción durante todo el año, como el uso de la hidroponía. Además, es necesario mejorar las técnicas de manejo del cultivo como la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas, o el uso de técnicas como la agricultura urbana que se convierten en una estrategias para el desarrollo socio - económico de esta región.

Los cultivos hidropónicos tienen algunas ventajas sobre los cultivos tradicionales, como mejorar el control de factores externos como clima, malezas, plagas, enfermedades, deficiencia o exceso de nutrientes, mejorar la calidad de los productos a cosechar, mayor precocidad en la obtención del producto, aumento de la productividad, mejorar el aprovechamiento del área disponible, ya que por medio de este sistema podemos cultivar en varios pisos, aprovechamiento de áreas infértiles, mayor densidad de plantación que nos conduce a un incremento en la producción por unidad de área, además de ser independiente del factor suelo (Llanos, 1988).

En este sistema no es necesaria la rotación de cultivos, no existe la competencia por nutrientes, las raíces se desarrollan en mejores condiciones de crecimiento, mínima pérdida de agua, mínimo problema con malezas, reducción de la aplicación de agroquímicos, se ajusta a áreas de producción no tradicionales, igualmente los cultivos hidropónicos pueden tener algunas desventajas como son el costo inicial alto, se requiere conocimientos de fisiología y nutrición, pueden ocurrir desbalances nutricionales que causen efecto inmediato en el cultivo y es necesario disponer de agua de buena calidad (Gilsanz, 2007).

En la Universidad de Nariño se han realizado estudios en cultivos hidropónicos en lechuga, donde se evaluaron dos sustratos ladrillo

molido y granzón de arena con dos dosis de fertilización bajo invernadero en lechuga *Lactuca sativa* L. donde el ladrillo molido fue el sustrato que presentó el mayor rendimiento (Benavides *et al.*, 2010). En trabajos realizados por Nieto y Flórez (2006) donde se utilizaron los sustratos cascarilla de arroz quemada, fibra de coco, sus mezclas y un cultivo en suelo en clavel no se observaron diferencias en producción y calidad de los tallos florales, en rosa se observó mayor producción de tallos florales en las plantas del tratamiento 100% cascarilla de arroz quemada.

En este sentido el presente trabajo tuvo como objetivo, evaluar los sustratos fibra de coco y cascarilla de arroz en diferentes proporciones en el cultivo de lechuga *Lactuca sativa* L. bajo un sistema hidropónico en el municipio de Pasto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente ensayo se realizó en el Centro Internacional de Producción Limpia LOPE-SENA ubicada en el Oriente de la Ciudad de Pasto, departamento de Nariño, república de Colombia, el cual se encuentra a una altitud de 2630 msnm, con temperatura promedio de 12°C y precipitación de 800 mm por año.

Estructura. Para cultivar las lechugas se construyó una estructura en "A" o también llamada sistema de producción escalonada. Para su elaboración se utilizó madera rolliza con las siguientes dimensiones: 1,50 metros de largo, 3,0 metros de ancho y 1,50 metros de alto; sobre ella se distribuyeron a cada lado 5 tubos de PVC de 4 pulgadas con un largo de 2 metros cada uno, con una pendiente del 2% para facilitar el riego y el drenaje. Estos tubos fueron perforados cada 20 cm dejando a cada lado 10 cm, para un total de 10 plantas por cada tubo (Fig. 1 y 2).



Figura 1. Siembra del cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico sobre estructura en "A"



Figura 2. Cultivo de lechuga sobre Estructura en "A" en periodo de cosecha

Sustratos. Los sustratos utilizados para el ensayo fueron los siguientes:

Fibra de coco. Procedente del mesocarpo del fruto de coco o parte no comestible del fruto, la cual fue molida para la obtención de partículas más pequeñas; se caracteriza por tener buena capacidad de retención de la humedad, ser liviano y poroso. Fue sometida a varios lavados para eliminar taninos y sales, posteriormente se procedió a solarizar el material durante 8 días.

Cascarilla de arroz. Este material es un subproducto de la industria molinera, para su utilización se debió realizar un lavado, se colocó la cascarilla de arroz a fermentar en un tanque con agua durante 15 días, después se retiró el agua y se colocó en un plástico color negro para su solarización durante 8 días, con el objetivo de eliminar taninos, residuos de plaguicidas, desinfectar y quitar algunas impurezas; este material se caracteriza por ser un sustrato liviano y con buen drenaje.

Una vez estuvieron listos los sustratos se humedecieron hasta un punto de saturación y se combinaron en proporciones de acuerdo a volumen, por ejemplo, se mezcló para la proporción 50% fibra de coco y 50% cascarilla de arroz, se toma

de un total de 100 partes iguales, 50 partes de fibra de coco y 50 partes de cascarilla de arroz, de esta manera se realizó las demás mezclas para los diferentes tratamientos propuestos según el diseño experimental.

Riego. Se utilizó manguera para riego por goteo con emisores de 4 litros/hora ubicados cada 20 cm los cuales se instalaron internamente dentro de cada contenedor (tubo de PVC), lo que permitió controlar la humedad en el sistema de manera adecuada; la lámina de riego aplicada se ajustó de acuerdo a los datos proporcionados por la estación meteorológica.

Fertilización. El fertirriego se realizó utilizando una electrobomba de 0,75 HP, que impulsa la solución de los fertilizantes comerciales (Irricol Producción, Tab.1), esta solución se envió hacia los contenedores a través de la manguera para riego por goteo; la solución nutritiva se preparó con sales solubles comerciales Irricol Producción en un tanque de 50 litros durante el ciclo del cultivo y se entregó en forma diaria, además en cada entrega se monitoreo el pH generalmente ácido con un valor de 3.5, la conductividad eléctrica y la temperatura de la solución para el buen desarrollo del cultivo.

Tabla 1. Composición Irricol Producción

NUTRIENTE	CONCENTRACION %
Nitrógeno total (N)	5
Nitrógeno amoniacal (N)	1,2
Nitrógeno uréico (N)	3,8
Fósforo asimilable (P2O5)	10
Potasio soluble en agua (K2O)	43
Boro (B)	0,03
Hierro (Fe)	0,05
Manganeso (Mn)	0,02
Molibdeno (Mo)	0,032
Zinc (Zn)	0,02
pH en solución al 10%:	3,12
Solubilidad en agua a 20 °C	21,95 g/100 MI
Conductividad eléctrica (1:1000)	1,09 ds/m

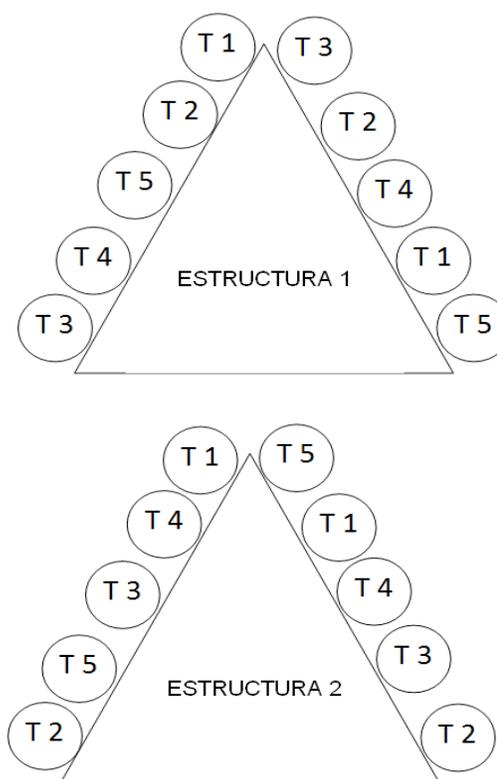
Nombre comercial Irricol Flores y Frutos 5-10-43, registró ICA 5540, Tipo de formulación: Cristales solubles; Presentación: 1 - 25 kg

Plantulación. Las plántulas fueron obtenidas en un vivero comercial, las cuales se trasplantaron a los contenedores cuando cumplieron 25 días, seleccionando las plántulas que presentaron el mejor desarrollo fisiológico y óptima sanidad.

Siembra. Las plantas fueron trasplantadas en los contenedores listos con el sustrato debidamente lavado, desinfectado con fungicidas comerciales y humedecidos con anterioridad al trasplante. Se utilizó como material lechuga variedad Batavia. (Romero *et al.*, 2003).

Manejo agronómico. Teniendo en cuenta que las plantas presentaron excelentes condiciones de sanidad en el cultivo, no fue necesario realizar aplicaciones de plaguicidas, posteriormente se realizó un plan de fertilización y riego de acuerdo a los estados fenológicos del cultivo.

Diseño experimental. Se utilizó un Diseño Irrestrictamente al Azar (DIA) con 5 tratamientos y 4 repeticiones, aleatorizados según la figura 3.

**Figura 3.** Distribución de los tratamientos en las estructuras en A**Tabla 2.** Tratamientos en la evaluación de sustratos en el cultivo de lechuga *Lactuca sativa* L. bajo un sistema hidropónico

TRATAMIENTO	SUSTRATOS
T1	Cascarilla de arroz 100%
T2	Cascarilla de arroz 70% - Fibra de coco 30%
T3	Cascarilla de arroz 50% - Fibra de coco 50%
T4	Cascarilla de arroz 30% - Fibra de coco 70%
T5	Fibra de coco 100%

Cada unidad experimental correspondió a un contenedor con 10 plantas, por 4 repeticiones se obtuvo un total de 40 plantas por tratamiento, por los 5 tratamientos da un total de 200 plantas evaluadas en todo el ensayo.

VARIABLES EVALUADAS

- **Altura de la planta.** Una vez finalizado los 90 días correspondiente al ciclo del cultivo se procedió a medir la altura de las plantas desde la base hasta el extremo superior de la cabeza con una regla métrica (Benavides *et al.*, 2010).
- **Diámetro.** En cuanto se realizó la cosecha de las lechugas, se procedió a medir su perímetro (contorno de la cabeza) con una cinta métrica flexible y se calculó el diámetro por medio de la siguiente ecuación (Bravo *et al.*, 2009).

$$D = \frac{C}{\pi}$$

Donde:

D = Diámetro

C = Contorno de cabeza

$\pi = 3,1416$

- **Peso total.** Una vez realizada la cosecha, se pesaron cada una de las cabezas con sus raíces utilizando una balanza analítica (Bravo y Paspur, 2009).
- **Peso raíz.** Con la balanza analítica se pesó cada una de las raíces en fresco después de realizada la cosecha.
- **Peso de la cabeza.** Se registraron datos individuales del peso de las cabezas de lechuga.
- **Rendimiento.** Se calculó teniendo en cuenta el peso fresco total de las plantas cosechadas para los diferentes tratamientos (Álvarez y Lasso, 2011).

Análisis económico. Para la realización del análisis económico del rendimiento obtenido, se tuvo en cuenta el precio de venta de la lechuga para la época de cosecha \$1000 pesos colombianos por kilo y los costos de producción para un área de 10 metros cuadrados (Perrin *et al.*, 1976).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó un análisis de varianza para las variables altura, diámetro, peso total, peso de raíz, peso de cabeza y rendimiento que permitió establecer diferencias significativas entre los tratamientos realizados entre la fibra de coco y cascarilla de arroz en el cultivo de lechuga bajo condiciones hidropónicas. (Tab. 3).

Tabla 3. Análisis de varianza de altura, diámetro, peso total, peso raíz, peso cabeza y rendimientos evaluados en los sustratos fibra de coco y cascarilla de arroz en el cultivo de lechuga *Lactuca sativa* L. bajo un sistema hidropónico

F.V	ALTURA	DIAMETRO	PESO TOTAL	PESO RAIZ	PESO CABEZA	RTO
MODELO	27,7**	17,09**	57071,4**	308,73**	21210,74**	2282,86**
SUSTRATO	27,7**	17,09**	57071,4**	308,73**	21210,74**	2282,86**
ERROR	5,79	2,43	2792,24	17,06	1441,95	111,69
CV	19,85	21,78	15,71	13,92	25,23	15,71

** Altamente significativo

Altura de la planta. Según la prueba comparación de promedios de Tukey (Tab. 4), mostró que utilizando los sustratos de cascarilla de arroz y fibra de coco en mezclas se obtiene mayores alturas de planta, comparado con la utilización de sustratos individuales o que no tengan mezclas.

Los sustratos mezclados en diferentes proporciones, además de suministrar agua y aire, proveen los nutrientes minerales necesarios para que a través de la raíz la planta los tome de la solución nutritiva y así garantizar mejores condiciones para el desarrollo de las plantas. De igual manera, Ansonera (1994), señala que los sustratos actúan como reserva de nutrientes a través de la capacidad de intercambio catiónico y esta a su vez depende en gran medida de la acidez o pH del medio; se obtuvo una buena adaptación de la lechuga a medios ácidos con pH de 3,5. Además, el crecimiento de las plan-

tas en altura, es un indicador de que el medio proporcionó las cantidades necesarias y adecuadas de elementos minerales, permitiendo el crecimiento vigoroso de las lechugas. En este sentido, se observó que el tratamiento 2 (70% cascarilla de arroz y 30% fibra de coco) fue el que ofreció mejores resultados, sin embargo no difiere de los demás tratamientos excepto del tratamiento 1 (100% cascarilla de arroz).

Ansonera (1994), manifiesta que la fibra de coco y la cascarilla de arroz posiblemente generaron propiedades diferentes al estar en mezcla, brindando mejores condiciones para el desarrollo de la planta, por el contrario, los sustratos 100% fibra de coco y 100% cascarilla de arroz de manera individual poseen diferentes propiedades. Según Calderón (2001), el principal inconveniente que presenta la cascarilla de arroz es su baja capacidad de retención de humedad.

Tabla 4. Prueba de comparación de promedios de Tukey para las variables altura, diámetro, peso total, peso raíz, peso cabeza y rendimiento evaluados en los sustratos fibra de coco y cascarilla de arroz en el cultivo de lechuga *Lactuca sativa* L. bajo un sistema hidropónico.

TRATAMIENTO	ALTURA (cm)	DIAMETRO (cm)	PESO TOTAL (gr)	PESO RAÍZ (gr)	PESO CABEZA (gr)	RENDIMIENTO (ton .ha ⁻¹)
TRATAMIENTO 1 100% C	7,75 b	5,05 b	141,23 c	15,65 c	68,68 b	28,25 c
TRATAMIENTO 2 70% C 30% F	14,28 a	8,73 a	435,13 a	26,35 b	218,85 a	76,26 ab
TRATAMIENTO 3 50% C 50% F	13,53 a	8,18 ab	416,43 ab	34,73 ab	122,85 b	83,29 ab
TRATAMIENTO 4 70% F 30% C	13,45 a	9,06 a	381,28 ab	35,55 a	235,25 a	87,03 a
TRATAMIENTO 5 100% F	11,65 ab	4,80 b	307,90 b	36,08 a	106,95 b	61,58 b
DMS	5,26	3,40	115,37	9,01	82,92	23,07

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), C: Cascarilla de arroz, F: Fibra de coco

Diámetro. El diámetro constituye uno de los más importantes atributos morfológicos para estimar el crecimiento de las plantas de lechuga después del establecimiento (Carneiro, 1995). En la tabla 3, se puede apreciar que el mayor diámetro ecuatorial se presentó en los tratamientos T4 y T2, donde se utiliza la mezcla de los sustratos a excepción de tratamiento T3 que fue igual a los tratamientos donde se utilizó solamente un sustrato.

Las diferentes mezclas de sustratos con fibra de coco y cascarilla de arroz, se destacaron posiblemente a que se generó un medio adecuado para el desarrollo de la planta, no obstante para Singh y Sainju (1998), el crecimiento de las plantas en altura y diámetro, es dependiente del aporte de agua, nutrientes, energía y aire que un medio pueda aportarle.

La fertilización fue ajustada según la absorción de nutrientes de la lechuga de acuerdo a su estado fenológico, donde se brindó una solución nutritiva adecuada con elementos mayores y menores, que de acuerdo a los resultados presentados por Quesada y Méndez (2005), permitieron mostrar una respuesta a mayores dosis de macronutrientes N,P,K, al observar una tendencia al aumento del diámetro al final del ciclo productivo, siendo más notorio para el fósforo y el potasio. De igual manera, los micronutrientes están presentes en los sustratos principalmente óxidos o hidróxidos y otras sales insolubles y cuya solubilidad es mínima a pH básicos (Cadahia *et al.*, 2005). Esta condición puede generar en los sustratos mayores contenidos y así permitir su lenta liberación al medio.

El boro es un microelemento importante para el acogollado de la lechuga, el cual funciona muy bien al ser puesto en contacto con sustratos orgánicos como es el caso de la fibra de coco y la cascarilla de arroz. Según Cadahia *et al.* (2005), una vez

que el boro se encuentra en el sustrato no es muy reactivo y se podrá perder por lixiviación, entre tanto, los materiales orgánicos lo pueden retener mejor. En el sustrato, el boro podría formar uniones con otras moléculas orgánicas de forma más estable fijándose más al sustrato de naturaleza orgánica. Este comportamiento se aprecia especialmente en el sustrato con mayor contenido de fibra de coco (Botero y Flórez, 2006).

Peso total. Según la comparación de promedios de Tukey realizada para esta variable (Tab. 4), mostró que las mezclas de los sustratos cascarilla de arroz y fibra de coco se obtuvieron los mayores valores comparado con los tratamientos donde no se utilizó mezclas. La cascarilla de arroz favoreció la porosidad y oxigenación del sustrato y la fibra de coco aportó su alta capacidad de retención de humedad. Según HydroEnvironment (2011), la cascarilla de arroz es un sustrato muy liviano y su capacidad de retención de humedad del 40% es baja. Por otro lado, la fibra de coco tiene una alta relación carbono/nitrógeno que le permite mantenerse químicamente estable; además, la retención de humedad del 57% es muy buena.

Con respecto a los tratamientos 100% fibra de coco y 100% cascarilla de arroz (T1 y T5, respectivamente), se obtienen los resultados de peso más bajos posiblemente debido a la falta de equilibrio de retención de humedad, provocando que la planta no tenga un ambiente propicio en la parte radicular para la acumulación de biomasa, por esta razón se debe mantener la humedad del suelo a un nivel determinado de agua utilizable, evitando las situaciones extremas (Fueyo, 1998), es decir un exceso de humedad en el caso del tratamiento 5 (100% fibra) y una deficiencia para el caso del tratamiento 1 (100% cascarilla de arroz). Por lo anterior, la mezcla de sustratos es un complemento ideal en la circulación de agua y aire para la planta, así que

las plantas toman sus alimentos minerales de las soluciones previamente preparadas en forma adecuada y sus elementos orgánicos los elaboran autotróficamente por procesos de fotosíntesis y biosíntesis (Alvarado *et al.*, 2001).

Otro factor importante a tener en cuenta y que favoreció la acumulación de biomasa, es la forma como está ubicada la estructura en "A" para el aprovechamiento de la luz, desde el punto de vista interno de la planta. Morgan (2000), señala que luego de la absorción de nitrato, las plantas deben utilizar energía para desarrollar sus procesos fisiológicos, la cual se obtiene de la luz y la fotosíntesis, por lo tanto, la asimilación y reducción del nitrato está estrechamente relacionado con la tasa de fotosíntesis. Bajo condiciones de alta luminosidad, donde la planta tiene una alta tasa de fotosíntesis, el nitrato es rápidamente asimilado y convertido, lo que sucede en forma contraria bajo condiciones de baja luminosidad, donde las plantas están forzadas a producir suficiente energía para la conversión de nitratos y se tiende a reducir la energía disponible para el crecimiento (Fig. 4).



Figura 4. Fase final del desarrollo de la lechuga hidropónica

Para Marulanda (2003), el criterio más importante es que se tengan como mínimo 6 horas de luz al día, para esto es recomendable utilizar espacios con buena iluminación y cuyo eje longitudinal mayor esté orientado hacia el norte.

Peso de la raíz. Al realizar la prueba de comparación de promedios Tukey, se destacan los mayores promedios de peso fresco de raíz en los tratamientos 5 y 4 con resultados de 36,08 y 35,55 g, respectivamente; no difiere, sin embargo, T3 con 34,73 g, que a su vez no fue diferente del tratamiento T2 con 26,35; también se observó el valor más bajo para la característica evaluada en el tratamiento T1 con 15,65 g. Al variar las proporciones entre los sustratos varían también sus propiedades como la capacidad de aireación y retención de agua (Astiz *et al.*, 2010), esto se observa en los resultados obtenidos para los tratamientos T3, T2 y T1, donde el peso intermedio de los cinco tratamientos está en T3 cuya mezcla de proporciones es 50% cascarilla de arroz y 50% fibra de coco; los menores valores de peso de raíz fresca corresponden a T2 (70% cascarilla de arroz y 30% fibra de coco) y por último T1 (100% cascarilla de arroz). Según Calderón (2001), el principal inconveniente que presenta la cascarilla de arroz es su baja capacidad de retención de humedad, puesto que los sustratos principalmente deben retener humedad, permitir buena aireación, tener buena estabilidad física, inerte químicamente y biológicamente, buen drenaje, capilaridad, liviano, de bajo costo y estar disponible. Por otro lado, la fibra de coco es un sustrato con mayor capacidad de retención de agua, además de cierta amortiguación en caso de falta de suministro (Astiz *et al.*, 2010). Este sustrato es uno de los mejores sustratos orgánicos actuales para conjugar en él la economía del recurso agua y las propiedades de este producto, puesto que sus condiciones naturales ayudan principalmente, al buen crecimiento radicular (EcoAgricultor, 2012).

Peso cabeza. La prueba de comparación de promedios de Tukey para esta variable, mostró que los valores más altos se obtuvieron con los tratamientos T4 y T2 respectivamente comparados con el tratamiento T3 y T5, por consiguiente se observa que existe una relación directamente proporcional en los valores de los promedios de la variable peso de cabeza con la variable diámetro de cabeza (Tab.4) ya que a mayor diámetro, mayor cantidad de biomasa acumulada. Lo anterior coincide con lo reportado por Melgares *et al.* (2004) quienes señalan que a mayor peso comercial el diámetro de la cabeza se incrementa, evidenciándose así que la mezcla de sustratos utilizados en diferentes proporciones en este ensayo aumenta la acumulación de biomasa en la parte aérea de la planta.

El valor de temperatura de acuerdo con Resh (2006), es equilibrado y no puede perjudicar el crecimiento de las plantas, pues ésta no deberá exceder los 30 °C. La temperatura mínima registrada en el presente ensayo fue de 12 °C, que de acuerdo con el mismo autor, es favorable también para el desarrollo de la cabeza de la planta de lechuga, obteniendo así buen peso y por consiguiente una buena calidad.

En el presente ensayo se utilizaron plantas de lechuga, variedad Batavia, teniendo en cuenta que las condiciones ambientales de la finca Lope-SENA son favorables para su normal desarrollo fisiológico ya que esta variedad prefiere una altitud de 1800 a 2800 msnm, una precipitación promedio de 1200 a 1500 mm y temperaturas en el día entre 13° C a 27°C y durante la noche entre 3 y 8° C (Suquilandia, 2003).

Otro indicador que se tuvo en cuenta en este ensayo, es la conductividad eléctrica la cual determina el contenido de sales totales en la solución nutritiva y es uno de los parámetros más útiles para determinar la cantidad de fertilizante

a aplicar; se midió la conductividad eléctrica con un multiparamétrico cada vez que se aplicaba la solución, donde el valor promedio fue de 1,8 mS/cm, valor favorable para el adecuado desarrollo de la planta ya que, según Soto (2006), se debe reemplazar la solución cuando la conductividad eléctrica tenga un valor menor a 1,5 mS/cm.

Rendimiento. Los valores más altos se obtuvieron con el tratamiento 4 (70% fibra de coco - 30% cascarilla de arroz), seguido del tratamiento 3 (50 % cascarilla de arroz- 50% fibra de coco) y el tratamiento 2 (70% cascarilla de arroz - 30% fibra de coco) en los cuales no se presentaron diferencias; los valores más bajos se obtuvieron con el tratamiento 5 (100% fibra de coco) y el tratamiento 1 (100% cascarilla de arroz) que a su vez difieren de los demás tratamientos, evidenciándose así, que los mejores promedios de rendimiento se obtuvieron en las mezclas de sustratos los que conformaron iguales características fisicoquímicas en retención de humedad, está directamente ligado a las condiciones de aireación y contenido de agua en el sustrato, estas interacciones se reflejan positiva o negativamente en la presentación comercial final de las especies cultivadas (Bunt, 1992).

En este sentido, la cascarilla de arroz por su porosidad pudo haber proporcionado el ambiente propicio de aireación en la raíz y la fibra de coco por su gran retención de humedad proporcionó el ambiente perfecto para la absorción y circulación de agua y nutrientes necesarios para el correcto desarrollo fisiológico de las plantas.

Otra labor favorable para el adecuado rendimiento de las plantas cultivadas en el desarrollo de este cultivo hidropónico, es la humedad ya que como se utilizó un sistema de irrigación que estaba directamente en contacto con la raíz lo que posiblemente permitió obtener un mejor rendimiento. Según Devia (1991), la condición de humedad constante, independiente del clima o de la etapa de crecimiento del cultivo y asegurando

una irrigación en toda el área radicular, evita el gasto inútil de agua y fertilizantes y reduce los problemas de enfermedades producidas por patógenos del suelo aumentando el rendimiento de las hortalizas.

Análisis económico. En la tabla 5, se presentan los costos de producción de la lechuga en los sustratos fibra de coco y cascarilla de arroz en condiciones hidropónicas, donde se indica que los costos para producir 10 m² de lechuga fueron mayores en los tratamientos T1 y T2, esto debido a que el precio de la cascarilla de arroz es mayor que la fibra de coco.

En la tabla 6, se presenta la rentabilidad obtenida para cada tratamiento calculado con un costo promedio por kilo de lechuga de \$1000 pesos. El tratamiento T4 fue el más rentable con un porcentaje del 12% con un ingreso bruto por 10 ciclos de \$860000 seguida del tratamiento T3 con un porcentaje del 7% con un ingreso bruto por 10 ciclos de \$820000; por otra parte, se observa que el tratamiento T1 fue el de más baja rentabilidad con -66%, es decir el cultivo no es rentable para este tratamiento, seguido del tratamiento T5 con un valor de -21% y el tratamiento T2 con un valor de -3%; las pérdidas producidas en el cultivo ocurrieron en los T1 y T2.

Tabla 5. Costos de producción de lechuga en posos colombianos, bajo cultivo hidropónico para 10m²

DETALLE	PRECIO	CANT.	UNIDAD	CANT.	T1 10m ²	T2 10m ²	T3 10m ²	T4 10m ²	T5 10m ²
Estructura en "A"	300000	2	Estructuras	600000	600000	600000	600000	600000	600000
Sustrato fibra de coco	15000	2	Bultos	30000	0	9000	15000	21000	30000
Cascarilla de arroz	20000	2	Bultos	40000	40000	28000	20000	12000	0
Mano de obra	15000	6	Jornales	90000	90000	90000	90000	90000	90000
Fertilizante	4000	10	Kilogramos	40000	40000	40000	40000	40000	40000
Costos totales					770000	767000	765000	763000	760000

Tabla 6. Resumen de la rentabilidad obtenida para un cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico

TRAT	DESCRIPCIÓN	COSTO DE PROD.	RTO g/10m ²	PRECIO (\$) Kg DE LECHUGA	ING. BRUTO \$/10m ²	ING. BRUTO 10 CI- CLOS	UTILIDAD \$/kg	RENTAB %	PERDI- DAS	RENTAB TOTAL
T1	100%C	770000	0,14	1000	28000	280000	-490000	-64	2,5	-66,14
T2	70%C30%F	767000	0,38	1000	76000	760000	-7000	-1	2,5	-3,41
T3	50%C50%F	765000	0,41	1000	82000	820000	55000	7	0	7,19
T4	70%F30%C	763000	0,43	1000	86000	860000	97000	13	0	12,71
T5	100%F	760000	0,3	1000	60000	600000	-160000	-21	0	-21,05

C = Cascarilla F = Fibra

CONCLUSIONES

Las mezclas de los sustratos fibra de coco y cascarilla de arroz obtuvieron mejor respuesta para las variables evaluadas que los sustratos individuales, los cuales dieron plantas con mejor desarrollo fisiológico en las variables diámetro peso de cabeza, y rendimiento. En cuanto a la rentabilidad el tratamiento 70% fibra de coco y 30% cascarilla de arroz fue el mejor con un porcentaje del 12%.

Por lo anterior, los sustratos fibra de coco y cascarilla de arroz en mezcla en el cultivo de lechuga para producción bajo el sistema hidropónico sobre una estructura en forma de "A", son una alternativa de producción rentable para los agricultores minifundistas ya que les permite tener una opción para mejorar sus ingresos y competir a nivel comercial, por lo tanto, la adopción de este tipo de tecnologías hidropónicas es una alternativa eficiente para la seguridad alimentaria, así como el uso responsable del recurso hídrico en la producción de plantas bajo sistemas hidropónicos.

AGRADECIMIENTOS

A los Ingenieros Agrónomos Marino Rodríguez por apoyar y colaborar en este proyecto, al Centro Internacional de Producción Limpia LOPE - SENA Regional Nariño Colombia, al Instructor del SENA Ingeniero Agrónomo Alexis Guerrero y al tecnólogo Camilo Navarro.

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, D.; CHAVEZ, F. y ANNA, K. 2001. Seminario de Agronegocios. Lechugas Hidropónicas. Universidad del Pacífico. Quibdó, Chocó. 10 p.

ÁLVAREZ, M y LASSO, A. 2011. Fertilización con azufre y magnesio en el cultivo de brócoli *Brassica oleracea* var. Itálica sobre suelos Vitric Haplustand y Tipicdistrandep del Altiplano de Pasto. Tesis de grado Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, Pasto. 23 p.

ANSONERA, J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. 172 p.

ASTIZ, M. DEL CASTILLO; J. URIBARRI; A. AGUADO; G. APESTEGUÍA, M. y SÁDABA, S. 2010, Tomate hidropónico, Ed. Navarra Agropecuaria. Lima, Perú. 42 p.

BENAVIDES, L. ARCOS, B y BENAVIDES, O. 2010. Evaluación de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga *Lactuca sativa* L. Tesis de Grado Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, Pasto. 20 p.

BOTERO, A. y FLOREZ. V. 2006. Cambios en la composición química de los sustratos en el cultivo de clavel. Ed: Universidad Nacional de Colombia Unibiblos. Bogotá, Colombia. 231 p.

BRAVO, S., PASPUR, J., UNIGARRO, A. Y ESPAÑA, J. 2009. Evaluación de la fertilización con fósforo en lechuga *Lactuca Sativa* L. en el Altiplano de Pasto, Nariño. Tesis de grado Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, Pasto. 20 p.

BUNT, A.C 1992. Media and mixes for container - grown plants. Unwin hyman. London, Great Britain Ltd. 288 p.

- CADAHIA L. C.; E. EYMAR A. y J.J. LUCENA. M. 2005. Materiales fertilizantes utilizados en fertirrigación. En: Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales, 3ª. Ed. Madrid: Mundi - Prensa, 94 - 132 p.
- CALDERÓN, F. 2001. Los sustratos. Bogotá D.C., Colombia S.A. Disponible en: http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.htm; consulta: octubre 2012.
- CARNEIRO, J.G.A. 1995. Producción y control de las cualidades de las plántulas forestales. CuritibaUFPR-FUPEF/Campos: UNEF. Brasil. 451 p.
- DEVIA, J. 1991. Cultivo Hidropónico. Chile Hortofrutícola .4(23):8 - 10.
- ECO AGRICULTOR. 2012. El Sustrato con fibra de coco. Disponible en: <http://www.ecoagricultor.com/2012/08/el-sustrato-con-fibra-de-coco/>. consulta: Octubre, 2012.
- FUEYO M. 1998. Producción de Lechuga. Tecnología Agroalimentaria. CIATA. Edición especial. Madrid España. 3 - 6 p.
- GILSANZ, J. 2007. Hidroponía. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Ed Andes. 31 p.
- HIDRO ENVIRONMENT, 2011. Productos para Hidroponía, tipos de sustratos para Hidroponía Disponible en: http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=32&chapter=1. Consulta: marzo, 2013.
- LLANOS, P. 1988. Manual hidropónico. Ed. Diario del Agro. Bogotá. 30 p.
- MARULANDA, C. 2003. Manual técnico: La Huerta Hidropónica Popular. 3ª ed. Santiago, Chile. 132 p.
- MELGARES, A.; GONZALES, D.; GUTIERREZ, A.; HORNUVIA, N y MORTE, A. 2004. Efectos del hongo endomicorrítico *Glomus intradices* en el cultivo ecológico de lechuga tipo Iceberg. España comunicaciones al VI Congreso de la SEA-SA. 1589 - 1596 p.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). 2009. Proyecto de alianzas productivas. Disponible en: <http://www.potosi-narino.gov.co/apc-aa>. Consulta: Octubre, 2012.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). 2008. Guía Ambiental Hortofrutícola de Colombia. Disponible en: [http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_30_GUIAhortifruticultura\[1\].pdf](http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_30_GUIAhortifruticultura[1].pdf). Consulta: octubre, 2012.
- MORGAN, L. 2000. El gran debate: Amonio vs Nitrato. In: Red hidroponía, La Molina. Disponible en: <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin9.htm>. Consulta: octubre, 2012.
- NIETO, D. y FLÓREZ. V. 2006. Producción y calidad de rosa y clavel cultivados en cascarilla de arroz y fibra de coco. Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana. Universidad Nacional de Colombia, Asocolflores. 129 p.
- PERRIN, R., WIKELMAN, D., MOSCARDIE y ANDERSON, J. 1976. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. México. CYMMIT. 54 p.
- PROMOCIÓN DEL TURISMO INTERNACIONAL, LA INVERSIÓN EXTRANJERA Y LAS EXPORTACIONES NO TRADICIONALES EN COLOMBIA. PROEXPORT. 2012. Revista de las oportunidades. Exportaciones Nariño. 5 p. Disponible en: <http://www.proexport.gov.co/revista>

ponible en: http://www.proexport.com.co/sites/default/files/cartilla_narino_exportaciones.pdf. Consulta: octubre, 2012.

QUESADA G. y MENDEZ C. 2005. Análisis físico-químico de materias primas y sustratos de uso potencial en almácigos de hortalizas. *Revista de Agricultura Tropical* 35:01 - 13p.

QUINTERO C, M.F, GONZALEZ M, C.A. y GUZMAN P, J.M. 2011. Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. En: Flórez R., V.J. (Ed.). *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. 79 -108 p.

RED DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN ESTRATÉGICA DEL SECTOR AGROPECUARIO (AGRONET). 2010. Sistema de Información de Precios e Insumos y Factores Asociados a la Producción. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co>. Consulta: octubre, 2012.

RESH, H. 2006. *Cultivos hidropónicos*. Madrid. Ed 5ta. Mundo Prensa. 364 p.

ROMERO, M.; RAMIREZ, A.; PULIDO, S.; UBAQUE, L.; FUENTES, L.; GOMEZ, S.; MEJIA, J.; LEE, R.; CURE, J.; MENDEZ, H.; HERRERA, J.; ESCOBAR, H. y PRIETO, G. 2003. *Producción Ecológica de Hortalizas de Clima frío. Ficha técnica lechuga batavia*. 2003. Bogotá. Colombia. 135 p.

SINGH, B. y SAINJU, U. 1998. Soil physical and morphological properties and root growth. *HortScience*. 33(6): 966 - 971 p.

SOTO, F. 2006. *Producción de lechuga con la técnica de lámina de nutrientes modificada (NFT)*. San José (CR): INA, 38 p.

SUQUILANDIA, M. 2003 *Producción Orgánica de cinco hortalizas en la Sierra centro norte de Ecuador*. Editorial Universidad Central. Quito, Ecuador. 337 p.