

**EVALUACIÓN DE DOS SUSTRATOS Y DOS DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN
CONDICIONES HIDROPÓNICAS BAJO INVERNADERO EN LECHUGA *Lactuca sativa* L.**

**EVALUATION OF TWO SUSTRATOS AND TWO DOSE OF FERTILIZATION UNDER
CONDITIONS HIDROPONICS LOW HOTHOUSE IN LETTUCE *Lactuca sativa* L.**

Benjamín Arcos¹, Orlando Benavides² y Marino Rodríguez³

Fecha de recepción: 10 de julio 2010

Fecha de aceptación: 18 de enero 2011

RESUMEN

En el invernadero de la Universidad de Nariño – Colombia, se realizó una evaluación con el objetivo de determinar el efecto de dos tipos de sustratos granzón de arena y ladrillo molido, y la aplicación de dos dosis de fertilizante para el desarrollo del cultivo de lechuga: las variables evaluadas fueron longitud de la hoja (LH), ancho de la hoja (AH), altura de la planta (AP), número de hojas (NH), diámetro de la cabeza de lechuga (DC), peso de la planta (PP) y rendimiento (RTO). Se utilizó un diseño irrestrictamente al azar (DIA), con un arreglo factorial combinatorio con tres repeticiones; donde el factor A correspondió al sustrato con dos niveles, granzón de arena y ladrillo molido; el factor B la dosis de fertilización, (dosis 1: 3 g de elementos mayores + 3 g de elementos menores y dosis 2: 6 g de elementos mayores + 6 g de elementos menores). Los resultados mostraron que el tratamiento ladrillo molido con dosis de 3 g de elementos mayores + 3 g de elementos menores, presentó los mejores valores para todas las variables evaluadas. En cuanto a sustratos el ladrillo molido tuvo el mejor comportamiento para el cultivo hidropónico de la lechuga, al igual que la menor dosis de fertilización utilizada y la mayor producción con promedio de 21.80 t.ha⁻¹.

Palabras clave: sustrato, ladrillo, arena, dosis.

1 Egresado Programa Ingeniería Agronómica. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. 2010.

2 Profesor Asistente. I.A. M.Sc. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. Colombia
E-mail. Orlando.benavides2@gmail.com.

3 Profesor Catedrático. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia.

ABSTRACT

In the greenhouse at the University of Nariño - Colombia, an assessment was conducted in order to determine the effect of two types of substrates (grazing Sand and crushed brick) and the application of two doses of fertilizer in hydroponic conditions for development Lettuce cultivation. As farming units were used wooden benches, with a total of 12 plants per bed. Variables were evaluated: leaf length (LH) blade diameter (DH), Plant height (PH), number of leaves (NH), Diameter of head lettuce (DC), Weight Plant (PP) and Performance (RTO). We used an unrestricted random design (DIA), with a factorial arrangement with three replications combinatorial, where the factor A corresponded to the substrate with two levels, grazing sand and crushed brick, the factor B, the fertilization rate, Dose 1: 3 g + 3 g major elements and trace elements Dose 2: 6 g + 6 g major elements of minor elements. The results showed that treatment with doses of crushed brick 3 + 3, showed the best values for all variables. As the crushed brick substrates showed better conditions for growing hydroponic lettuce, as well as the lowest dose of fertilizer used.

Key words: dose, brick, fertilization, sand.

INTRODUCCIÓN

La hidroponía, es la técnica agropecuaria más racional que el hombre ha inventado en más de siete mil años de historia civilizada. Su futuro es aun impredecible, ya que el agricultor interviene directamente en el proceso químico de la planta. Los beneficios de esta actividad, incluyen mejoras en la dieta de las poblaciones locales con la introducción de hortalizas y frutas muy diversas (Wiley, 1995). Los cultivos hidropónicos bajo invernadero representan una alternativa en la agricultura moderna, y pueden ser utilizados tanto en las grandes explotaciones como en las pequeñas y medianas, sin la necesidad de profundos conocimientos agronómicos. Su desarrollo y tecnificación se logra a través de la experimentación que se realiza aplicando los conocimientos básicos y teniendo en cuenta las condiciones ambientales de una zona determinada (Fossati, 1997); además por sus grandes ventajas de índole técnica y económica, ha motivado su empleo en grandes explotaciones comerciales en el mundo entero, en Colombia en pequeña escala y experimentalmente en el departamento de

Nariño en donde se ha logrado altos rendimientos en cultivos de lechuga, (15 unidades por m² de 20 a 30 g de peso) pepino 20 t.ha⁻¹, repollo 35 t.ha⁻¹ y tomate 120 t.ha⁻¹ (Secretaría de Agricultura y Medio Ambiente, 2008).

Hoy en día la hidroponía es el método más intensivo de producción hortícola, generalmente es de alta tecnología y de fuerte capital, y es aplicado exitosamente con fines comerciales en países desarrollados. En la última década, el área mundial, destinada a la producción hidropónica se ha incrementado considerablemente al pasar de 12000 ha en 1996 a 40000 en el 2008, destacándose México y Brasil como países hidropónicos con algo más de 2000 ha. (Alpizar, 2010).

En cuanto a la rentabilidad, la lechuga en el mercado presenta una gran demanda; además, es una de las hortalizas que ofrece amplias posibilidades para la exportación debido a que la producción nacional de lechugas ha ido incrementándose, lo que podría ahora no solo cubrir el mercado nacional sino también el mercado internacional, en donde la India, China, Japón y

Estados Unidos son los mayores productores de este tipo de hortalizas. Por otra parte su período vegetativo permite obtener varias cosechas al año con producciones promedias de 29 lechugas por m² siendo un cultivo que genera ingresos permanentes al agricultor (Alpizar, 2010).

Entre las técnicas de cultivo hidropónico utilizadas en hortalizas, los sistemas de cultivo sin suelo son una alternativa productiva para obtener hortalizas con alta calidad sanitaria, con mayores rendimientos y precocidad en relación a las cultivadas en suelo (Carrasco, 2004).

Teniendo en cuenta que la hidroponía produce en pequeñas áreas rendimientos mucho mayores con menores exigencias de mano de obra en comparación con los cultivos tradicionales, actividad que viene a constituirse en una excelente alternativa de producción hortícola en la ciudad, perímetros urbanos y áreas rurales aprovechando espacios físicos sub-utilizados, lo que conlleva a impulsar el desarrollo agroeconómico del departamento de Nariño, en el cual los rendimientos son bajos y los costos de producción muy altos, potenciando nuevas expectativas de auto-subsistencia cuando los medios económicos no alcanzan a abastecer el consumo humano y a suplir necesidades de las grandes familias de bajos recursos.

El cultivo hidropónico utiliza otros sustratos como soporte de las plantas en lugar de agua. No existe el sustrato ideal; cada uno presenta una serie de ventajas e inconvenientes y su elección dependerá de las características del cultivo a implantar, las variables ambientales y de instalación.

El sustrato es un medio inerte, que tiene doble función: anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles la respiración, y contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan. El empleo de sustratos sólidos por los cuales circula la solución nutritiva es la base del cultivo hidropónico en América Latina. La granulación ha de ser tal, que permita la circulación de la solución

nutritiva y del aire. Un sustrato excesivamente fino se vuelve compacto, en especial cuando está húmedo e impide el paso del aire. En general la experiencia señala como mejores, aquellos sustratos que permiten la presencia del 15 al 35% de aire y del 20 al 60% de agua en relación con el volumen total (Domínguez, 2006).

El sustrato debe ser liviano, con cierto grado de porosidad, tamaño apropiado sin bordes cortantes y que sea químicamente inerte. Los sustratos pueden ser orgánicos como por ejemplo, turba o musgo, compost (de diferentes materiales), cascarilla de arroz, aserrín y viruta, fibra de coco; e inorgánicos como la arena de río, grava, cuarzo, ladrillo, perlita, vermiculita, piedra pómez, (Morgan, 2007). Por otra parte para lograr un buen desarrollo, las plantas deben estar bajo apropiadas condiciones nutricionales y ambientales.

El sustrato hidropónico debe reunir un conjunto de características que lo hagan apto para cultivar, por ello a veces se recurre a mezclar diversos materiales, buscando que unos aporten lo que le falta a otros; siendo un aspecto de mucha importancia la retención de humedad que debe ser en cantidades adecuadas y en forma homogénea determinando la posibilidad a la planta de utilizar el agua como vehículo para sus funciones metabólicas; se debe procurar en la zona de las raíces, una proporción del 30% de materiales y un 70% de espacio vacío, el cual será ocupado por partes iguales de aire y agua, pudiéndose reducir la parte sólida del sustrato hasta en un 10% (Moshe Sneh, 2005).

El movimiento del agua dentro del sustrato debe permitir buena permeabilidad cuando se trate de un canal horizontal, mientras si el agua hace un recorrido corto y vertical el sustrato debe tener mayor retención; sin embargo todo tipo de recipiente y sustrato deberán permitir un buen drenaje.

De igual manera la capilaridad influye en el

crecimiento del cultivo, ya que si un sustrato no tiene la capacidad de absorber el agua a través de los microporos y de transportarla en diferentes direcciones, el agua se mueve verticalmente a través del perfil y deja zonas secas en las cuales no se puede desarrollar el sistema radicular (Elimelelech Sapir, 2005).

De los sustratos utilizados el granzón corresponde a pedazos de rocas trituradas artificialmente o encontradas en estado natural en los lechos de los ríos, en tamaños que van desde 5 hasta 25 mm. Las arenas en general son buenos materiales para hidroponía de subirrigación. Tienen magnífico drenaje por lo que se pueden utilizar en cultivos en canaletas, Por lo afilado e irregular de las partículas se evitar utilizar en cultivos de bulbos o raíces. (Samperio, 2004).

Los ladrillos utilizados como sustratos son buenos retenedores de humedad dada su extraordinaria porosidad, sin embargo debe analizarse su origen en cuanto a la presencia de elementos calcáreos. Las partículas entre 0.5 y 2 cm conforman una buena granulometría, tiene buena capacidad de absorción, y al igual que las gravas tienden a degradarse físicamente por lo que no se recomienda utilizarlo por más de 2 años. (Rodríguez de la Rocha, 2006).

La solución nutritiva es el elemento más delicado y más importante dentro de los sistemas hidropónicos, el buen resultado depende en gran parte de las características químicas de la solución nutritiva, las cuales están encaminadas a satisfacer plenamente las exigencias de la planta. Ésta debe contener los nutrientes esenciales para lograr un buen desarrollo del cultivo y su composición dependerá de la especie, variedad, estado de desarrollo y parte aprovechada de la planta. El control del Ph de una solución es importante porque controla la disponibilidad de sales fertilizantes, un pH de 5.8 es considerado óptimo para el sistema de crecimiento de las

lechugas, aunque entre 5.6 y 6.0 es aceptable. La conductividad eléctrica CE es una mediada de las sales disueltas en una solución nutritiva, un ajuste recomendable es de 1150-1250 micro S.cm⁻¹ (Resh, 2004).

Según Calderón (2001), en Colombia se ha venido utilizando el cultivo hidropónico en flores, aproximadamente desde 1992. Con anterioridad a esa fecha, fueron muy pocos los ensayos realizados con esta técnica en estas especies. Es necesario mencionar que para esa fecha, ya se habían empezado a utilizar en Colombia los Cultivos Hidropónicos aunque casi exclusivamente en hortalizas. Por su parte COLJAP (1997), desde 1982 viene trabajando en el manejo de sustratos y soluciones, obteniéndose hasta el momento resultados positivos en tomate, en lechuga, en pepino; producciones difícilmente obtenidas en suelo.

Por lo anterior el presente trabajo se realizó con el fin de evaluar la respuesta de la lechuga a dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero, evaluando las variables de crecimiento: altura de plantas, número de hojas por planta, peso de planta y hojas, y rendimiento. Además de realizar un análisis económico utilizando el modelo económico del presupuesto parcial de la lechuga.

MATERIALES Y MÉTODOS Localización.

La evaluación se realizó en el invernadero perteneciente a la Universidad de Nariño, ubicado en Torobajo al noroeste de la ciudad de San Juan de Pasto a una altitud de 2540 msnm, 01° 12'13" LN y 77° 15'23" LO, temperatura promedio de 20°C con un área de 70 m², con diseño de 2 aguas y orientación de oriente a occidente.

Con el fin de registrar los cambios de temperatura se ubicó un termómetro en el invernadero, cuando se incremento la temperatura por encima de 20°C se procedió a abrir las ventanas para que hubiese mejor circulación de aire y así regular la temperatura ideal para el desarrollo del cultivo. Para el control de la humedad relativa, se procedió a aplicarle riego a los pasillos, cuando esta fue mayor del 75%.

Como unidades de cultivo se utilizaron bancadas de madera, de 2 m de largo por 78 cm de ancho y 8 cm de profundidad, elevadas del suelo 30cm y con pendiente del 1%, forradas totalmente con plástico de polietileno calibre de 8 mm. La distancia de siembra fue de 30 cm entre plantas y 20 cm entre surco, obteniendo un total de 12 plantas por bancada. En cada bancada se sembraron dos surcos del cultivo de lechuga.

Se utilizó dos sustratos inorgánicos de fácil adquisición en la zona, que fueron granzón de arena y ladrillo molido, previamente desinfectado con formol del 3% en dosis 0.20 litros por 5 litros de agua y posteriormente lavado a las 24 horas con agua caliente.

En cuanto a la solución nutritiva se utilizó dos dosis de concentración de solución nutritiva comercial SOLUCAT®, la Solución A cuyo grado de concentración fue de 3 gramos de elementos mayores más 3 gramos de elementos menores en un litro de agua y la solución B con de 6 gramos de elementos mayores más 6 gramos de elementos menores en un litro de agua.

Labores culturales. Para la obtención de plántulas se construyó un germinador con la semilla de variedad Coolguard, se sembró en

bandejas plásticas de germinación 60 cm x 40 cm en las cuales se colocaron cubos de espuma de 3.0 x 3.0 x 3.0 cm y se le abrió una ranura de 1 cm en la parte central donde se depositó la semilla, una por cada cubo.

Durante la etapa de semillero y hasta el momento de la emergencia, las bandejas permanecieron tapadas; una vez ocurrió la emergencia se procedió a destapar el semillero para evitar la etiolación de las plántulas, cuando estas alcanzaron 10 cm de altura, se procedió a hacer el trasplante al sitio definitivo con 144 plántulas.

Por otra parte, se utilizó un sistema de riego abierto, es decir, aquel en el cual la solución nutritiva que se le aplicaba a las plantas era justamente la necesaria y el drenaje no fue reutilizado. Para la aplicación de las soluciones y el agua, se hizo utilizando una regadera con capacidad de 2 L. El riego se aplicó en la cabecera de las bancadas para evitar el contacto de las soluciones con las plantas, con una frecuencia de tres riegos por día, iniciando a las 8 de la mañana, al medio día, y seis de la tarde. La solución nutritiva se aplicó cada 2 días en los tratamientos asignados.

Diseño experimental. Se utilizó un Diseño Irrestrictamente al Azar (DIA) con un arreglo factorial con tres repeticiones, donde el factor A correspondió al sustrato con dos niveles granzón de arena y ladrillo molido; el factor B, a las dosis de fertilización, 3 g de elementos mayores + 3 g de elementos menores y 6 g de elementos mayores + 6 g de elementos menores. La conformación de los tratamientos evaluados se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos de la evaluación de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga *Lactuca sativa* L.

TRATAMIENTO	SUSTRATO	DOSIS	
T1	Granzón de arena	6 g de elementos mayores	6 g de elementos menores
T2	Granzón de arena	3 g de elementos mayores	3 g de elementos menores
T3	Ladrillo molido	6 g de elementos mayores	6 g de elementos menores
T4	Ladrillo molido	3 g de elementos mayores	3 g de elementos menores

Las variables evaluadas se sometieron a un Análisis de Varianza, y para establecer la diferencia entre promedios entre las variables que presentaron diferencias estadísticas se utilizó la prueba de Tukey.

Variables evaluadas.

Ancho de hojas. Se hizo mediciones de hojas tanto ancho como de longitud una vez finalizado todo el ciclo del cultivo.

Altura de plantas. Se determinó al medir la altura de las plantas desde la base hasta la parte apical. Número de hojas por planta. En la cosecha (3 meses aproximadamente) y debidamente numeradas todas las plantas, se hizo un conteo del número de hojas producidos por planta.

Peso de planta y hojas. Se pesaron todas las plantas y luego se procedió a pesar las hojas con características deseables, con la ayuda de una balanza común con capacidad de 5 kg.

Diámetro de cabeza. Se registró el diámetro promedio en la parte media de cada una de las lechugas, mediante el empleo de una cinta métrica graduada en centímetros.

Rendimiento. Se pesaron en una balanza las lechugas de cada bancada, a cada una se le cortó la raíz y se determinó únicamente el peso de la cabeza (parte comestible). Se sumó el peso obtenido en cada unidad experimental y se obtuvo el peso en fresco en kilogramos.

Análisis Económico. Se empleó el presupuesto parcial de la lechuga cuyo método se utiliza para organizar los datos experimentales con el fin de obtener los costos y las utilidades de los tratamientos alternativos. El presupuesto parcial es una manera de calcular el total de los costos que varían y la utilidad neta de cada tratamiento. El presupuesto parcial incluye los rendimientos medios para cada tratamiento, los rendimientos ajustados y los ingresos, basados de acuerdo al precio de campo del cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Largo y diámetro de hojas (LH, DH). El largo y el ancho de las hojas presentan diferencias significativas en la interacción de tratamientos, (Cuadro 4), que indica que el mayor largo y el mayor ancho de la hoja se obtuvo con el sustrato ladrillo molido cuando se utilizó la dos dosis de fertilizante de 3 y 6 g de elementos mayores más 3 y 6 g de elementos menores con promedio de 16 cm y 16.36 cm respectivamente. Mientras que los menores resultados se obtuvieron con el granzón de arena con dosis de 3 y 6 g de elementos mayores y elementos menores con promedios de 13.33 cm y 15.15 cm respectivamente.

Número de Hojas (NH). Con respecto al número de hojas el ANDEVA (Cuadro 2) y la prueba de Tukey (Cuadro 4) muestran diferencias estadísticas de la interacción de sustrato y dosis, apreciándose igualmente, que el mayor número de hojas 24.25 y 20.61 se presentó con el ladrillo

molido en las dos dosis de fertilizante, similar al sustrato arena con 6 g de fertilizante. El sustrato de arena y dosis de 3 g de fertilizante presentó el menor número de hojas a nivel del 95% de probabilidad estadística.

Marschner (2002) e Izco (1997), señalan que las hojas, al ser el principal órgano sintetizador de carbohidratos de la planta deben tener un buen sustrato que le garantice un suministro adecuado de nutrientes. El ladrillo molido presenta un buen porcentaje de aireación mayor al 40 %, (INFOAGRO, 2010), esto hace que las raíces tengan buena disponibilidad de oxígeno, lo que favorece los procesos de división celular y por tanto, el crecimiento de las raíces (Fonteno, 1996), dando lugar a que la parte aérea de la planta tenga mejor actividad, debido a que se incrementa la producción de esqueletos de carbono y de ATP, importantes para la formación de proteínas, almidón, sacarosa, fructanos, ácidos nucleicos y lípidos (De Visser, 1997). De esta manera, el proceso respiratorio de crecimiento se vio favorecido por lo que se generó una mejor formación de hojas. Los principales efectos de los sustratos se manifiestan sobre las raíces, influyendo sobre el crecimiento de la parte aérea de la planta (Hartmann *et al.*, 1990).

Altura de planta. (AP). La prueba de Tukey (Cuadro 4) mostró efecto del sustrato que indica que los tratamientos de sustrato ladrillo molido fueron los que presentaron plantas más altas con valores de 18.97 cm y 17.94 cm con dosis 3 y 6 g de elementos mayores y elementos menores respectivamente, mientras que el granzón de arena presentó los menores valores de 15.47 cm y 15 cm.

Resultados anteriores señalan al ladrillo como el mejor sustrato en cuanto a altura de planta, esto debido a sus condiciones adecuadas de aireación y retención de humedad (Llurba, 1997), lo cual garantiza las mejores condiciones para el desarrollo de las plantas.

El crecimiento de las plantas en altura es dependiente del aporte de agua, nutrientes, energía y aire que un medio pueda aportarle (Singh y Sainju, 1998). La altura de la planta es un indicador de que el medio proporcionó cantidades adecuadas de nutrimentos y que la disponibilidad del mismo también fue la adecuada, lo que permitió el crecimiento vigoroso de las plantas; en este sentido, el ladrillo ofreció mejores condiciones para el desarrollo de las plantas de lechuga. Estas condiciones están relacionadas con factores físicos y químicos como el pH, contenido nutricional, capacidad de intercambio gaseoso, agua disponible y temperatura, entre otros (Singh y Sainju, 1998).

Diámetro de la cabeza de lechuga (DC). Entre las relaciones de las variables morfológicas utilizadas para evaluar la calidad de plántulas, el diámetro constituye uno de los más importantes atributos morfológicos para estimar el crecimiento de las plántulas de lechuga después del establecimiento (Carneiro, 1995).

En el Cuadro 2 se puede apreciar que se presentó interacción significativa entre sustratos y las dosis, que muestran que las plantas de lechuga de mayor diámetro ecuatorial se obtuvieron con el sustrato de ladrillo molido y las dosis de 3 y 6 g con un valor promedio de 31.81 cm y 31.06 respectivamente; mientras que con granzón de arena y 3 g de fertilizante se obtuvo el menor diámetro registrado con 24.28 cm, si se compara aun con el granzón de arena y 6 g de fertilizante. Dadas las buenas propiedades físicas que ofreció el sustrato ladrillo, también se puede añadir que la capacidad de retención de nutrientes fue adecuada, esto debido a que las lechugas sembradas en este medio exhibieron valores de crecimiento similares a las reportadas por Lazcano *et al.* (2006).

Cuadro 2. Cuadrados medios de las variables: longitud de hojas (LH), diámetro hoja (DH), altura de planta (AP), número de hojas (NH), diámetro de cabeza (DC), peso (PP) y rendimiento (RTO), evaluadas de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga *Lactuca sativa* L.

F.V.	LH	DH	AP	NH	DC	PP	RTO
Modelo	38,23**	15,06*	15,14*	8,23*	74,18*	129,23**	49,68**
Sustrato	107,75**	41,75**	42,77**	17,46**	170,39*	129,23**	129,23**
Dosis	1,53*	3,25*	2,32*	0,31ns	35,58*	5,66*	5,66*
Sustrato* Dosis	5,42*	0,18*	0,32ns	6,9*	16,57**	14,14**	14,14**
CV	7,93	16,19	10,13	12,4	4,75	18,83	18,84

ns = No significativo

* = Diferencias estadísticas significativas (95%)

** = Diferencias estadísticas significativas (99%)

Cuadro 3. Prueba de Tukey, para los sustratos de las variables: longitud de hojas (LH), diámetro hoja (DH), altura de planta (AP), número de hojas (NH), diámetro de cabeza (DC), peso (PP) y rendimiento (RTO), evaluadas de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga *Lactuca sativa* L.

FACTOR A	LH (cm)	DH (cm)	AP (cm)	NH (No)	DC (cm)	PP (g)	RTO (t.ha ⁻¹)
Arena	12,74 b	11,75 b	15,24 b	15,1 b	26,26 b	460,80 b	18,96 b
Ladrillo	16,18 a	15,93 a	18,46 a	22,43 a	31,43 a	515,17 a	21,20 a
DMS	0,66785	1,30475	0,99359	3,53892	0,79823	9,64422	0,39679

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Cuadro 4. Prueba de Tukey para la interacción entre sustratos y dosis de las variables: longitud de hojas (LH), diámetro hoja (DH), altura de planta (AP), número de hojas (NH), diámetro de cabeza (DC), peso (PP) y rendimiento (RTO), evaluadas de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga *Lactuca sativa* L.

TRATAMIENTO	LH (cm)	DH (cm)	AP (cm)	NH (No)	DC (cm)	PP (g)	RTO (t.ha ⁻¹)
Arena 6+6 g	12,15 b	12,47 b	15 b	17,89 ab	28,25 b	464,10 c	19,09 c
Arena 3+3 g	13,33 b	11,03 b	15,47 b	12,31 b	24,28 c	457,50 c	18,82 c
Ladrillo 6+6 g	16,36 a	16,38 a	17,94 a	20,61 a	31,81 a	500,49 b	20,59 b
Ladrillo 3+3 g	16 a	15,49 a	18,97 a	24,25 a	31,06 a	529,85 a	21,80 a
DMS	1,2518	2,4456	1,86235	6,63327	1,49619	18,07693	0,74373

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Resultados al respecto mostraron Quesada y Méndez (2005), donde se apreció respuesta a mayores dosis de macronutrientes N P K, al observar una tendencia a incrementar el diámetro al final del ciclo productivo siendo más notorio para el fósforo y el potasio, sin embargo se obtuvo el diámetro recomendado con las menores dosis aplicadas. 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 aportar.

Peso. Según la prueba de Tukey (Cuadro 4), la mayor acumulación de biomasa en promedio se obtuvo con ladrillo molido con dosis de fertilizante de 3 g de elementos mayores y 3 g de elementos menores, registrando pesos de 529,85 g; presentando diferencias estadísticas con el sustrato ladrillo y dosis de fertilizante 6 g de elementos mayores y 6 g de elementos menores que registraron peso de 500,49 g. El sustrato granzón de arena presentó los menores pesos de 457.50 g para la dosis de fertilizante 3 g de elementos mayores más 3 g de elementos menores y 464.10 g para la dosis de 6 g de elementos mayores más 6 g de elementos menores.

Esta combinación de sustrato ladrillo y la menor dosis de fertilizante propició el mejor desarrollo de la raíz y de la parte aérea porque crearon un ambiente favorable, hecho que se debe a la adecuada relación entre aire, agua y disponibilidad de nutrientes, lo que se vio reflejado en mayor acumulación de biomasa, según Cárdenas (1999), la acumulación de materia fresca es un indicador del estado de vigor de una plántula.

Los pesos encontrados, especialmente con el ladrillo molido, coinciden con los reportados por Semillas Arroyave (2009), donde afirman que este tipo de lechuga, en condiciones favorables, puede llegar a alcanzar hasta 1/2 kg de peso, evidenciando el buen desempeño de este sustrato y la dosis del fertilizante. El potencial de este medio es alto, si se considera la tendencia hacia materiales físicamente aptos, pero de escaso

aporte nutricional (Guzmán, 2003). Con respecto a la arena, se atribuye los menores resultados, debido a la baja retención de humedad y de nutrientes, provocando daños en el sistema radical que afectaron el desarrollo de la planta, evidenciando raíces de color cobre sobre todo en la periferia. Manson (1990) y Ansorena (1994), sugieren sustratos livianos, que presente cierto grado de porosidad, tamaño apropiado sin bordes cortantes y que sea químicamente inerte.

Finalmente se observa en el Cuadro 4 que existe una relación directamente proporcional entre el diámetro y el peso fresco de la lechuga, esto debido a la mayor cantidad de biomasa acumulada en la planta. Esto sugiere que a mayor diámetro de cabeza, mayor será el peso fresco dado por una mayor acumulación de fitomasa fresca. Lo anterior coincide con lo manifestado por Melgares *et al.* (2004), quienes reportaron mayor peso comercial al incrementarse el diámetro de las cabezas. La madurez en la lechuga Batavia está basada en la compactación de la cabeza, una cabeza compacta es la que requiere de una fuerza manual moderada para ser comprimida, siendo considerada apta para ser cosechada. Una cabeza muy suelta esta inmadura y una muy firme o extremadamente dura es considerada sobre madura. Cantwell y Suslow (2002).

Rendimiento. En el Cuadro 4 se pueden apreciar que se encontraron diferencias significativas en los rendimientos de lechuga, a nivel del 99% de probabilidad estadística para la interacción, lo cual, indica que el mayor rendimiento de 21.80 t/ha se obtuvo cuando se utilizó como sustrato el ladrillo molido con 3 g de elementos mayores y 3 g de elementos menores, que cuando se utilizó el mismo sustrato con 6 g de elementos mayores y 6 g de elementos menores con 21.59 t.ha⁻¹.

De otra parte, los menores rendimientos de 19.09 t.ha⁻¹ y 18.82 t.ha⁻¹ se obtuvieron cuando se utilizó el granzón de arena con 3 y 6 g de elementos mayores y menores respectivamente, los cuales no presentaron diferencias estadísticas entre sí.

El efecto de la dosis solo cuando se utilizó ladrillo y los mayores rendimientos con la menor dosis en las condiciones en las cuales se llevó a cabo el experimento, puede estar relacionado con alguna acción deprimente de los nutrientes sobre el cultivo que se hace más evidente con el sustrato de granzón de arena. Al respecto Calderón (2001), afirma que las dosis más altas de fertilizantes en cultivos hidropónicos, por lo general, se recomiendan en los primeros estados de desarrollo, mientras que las dosis más bajas, en épocas de floración y de llenado de frutos. Sin embargo Córdor y Villagarcía (2002), afirman que conforme aumentan las dosis de fertilización se incrementan también los rendimientos, notándose el efecto directo de los fertilizantes en el sustrato utilizado, por lo que la producción total de biomasa de la lechuga depende de las condiciones de cultivo y del material vegetal utilizado (Cantliffe *et al.*, 1998; Sánchez, 2000; Thompson y Doerge, 1996).

Las diferencias encontradas entre sustratos, pueden explicarse por las diferencias en retención de la humedad y de nutrientes, y en particular, de sus características físico-químicas, ya que el desarrollo y el funcionamiento de las raíces están directamente ligados a las condiciones de aireación y contenido de agua, además de tener una influencia directa sobre el suministro de nutrimentos necesarios para las especies que se desarrollen en él. Todas estas interacciones se reflejarán positiva o negativamente en la presentación comercial final de las especies cultivadas (Bunt, 1992). En este sentido la densidad en función de la granulometría y las partículas en el sustrato ladrillo pudo haber proporcionado mayor porosidad, favoreciendo un mayor almacenamiento de agua y nutrientes por el sustrato y su consecuente disponibilidad para la planta a diferencia de la arena utilizada, demasiado gruesa, donde el principal problema fue la infiltración (Ecke *et al.*, 1990). Las propiedades físicas de un sustrato son consideradas las más importantes, ya que si éstas son inadecuadas, difícilmente se podrán mejorar

una vez que se ha establecido el cultivo, por lo que su caracterización previa es imperativa (Ansorena, 1994; Cabrera, 1999).

Por otra parte los rendimientos registrados en este ensayo estuvieron por arriba del promedio de producción para lechuga Batavia en campo, cuyo rendimiento según Hiraoka (2001), es de 18 t.ha⁻¹. Corroborando lo expuesto por COLJAP (1997), quien afirma que la hidroponía produce en pequeñas áreas rendimientos mucho mayores y con menores exigencias de mano de obra en comparación con los cultivos tradicionales.

Análisis Económico. En el Cuadro 5, se presentan los costos de producción de lechuga con dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero, donde se evidencia que para producir lechugas bajo cultivo hidropónico en 1000 m², se tiene un costo de \$10.987.179 para el T1 de \$8.217.949 para el T2, el T3 con \$10.630.769 y el T4 con un costo de \$6.615.385 utilizando sustratos de granzón de arena y ladrillo molido. Cabe resaltar que la vida útil de costos fijos (ver anexo 1) es de 5 años.

Se evidencia que existe un mayor gasto en los tratamientos 1 y 3, esto debido principalmente al mayor consumo de solución nutritiva al utilizar las mayores dosis tanto para elementos mayores como para los menores.

En el Cuadro 6 se presenta el resumen de la rentabilidad obtenida para cada tratamiento, calculada con un valor promedio por kilogramo de lechuga de \$1.400 y para cuatro ciclos de cultivo al año. Se observa que los tratamientos 1 y 3 presentan rentabilidades bajas de 1% y 8% respectivamente, debido principalmente al mayor consumo de solución nutritiva lo cual ocasiona un aumento en los costos de producción y una reducción en el ingreso neto, donde el primero tiene un valor de \$156.821 mientras que para el segundo fue de \$849.231.

Por su parte los tratamientos de sustrato arena y dosis más baja y sustrato ladrillo y dosis baja se obtuvieron las mejores rentabilidades con valores de 28% y de 85% respectivamente, debido a un menor consumo de solución nutritiva. Además de esta característica el T4 cuyo sustrato fue de ladrillo molido y con las menores dosis de elementos mayores y menores también presenta

la mayor producción del ensayo, lo cual se ve reflejado en el ingreso neto el cual fue de \$5.592.615 presentando las mejores condiciones económicas. También se debe considerar que el precio de la lechuga es muy variable, ya que en un mismo mes se pueden tener diversos precios en el mercado los cuales pueden oscilar entre \$1000 hasta \$3000 por kg de lechuga.

Cuadro 5. Costos de producción de lechuga bajo cultivo hidropónico para 1000 m².

DETALLE		PRECIO	UNID	\$	T1. 1000m ²	\$	T2. 1000m ²	\$	T3. 1000m ²	\$	T4. 1000m ²	OBSERVACIONES
Caja hidropónica (bancadas)		15000	Unidad	1.000	641.026	1.000	641.026	1.000	641.026	1.000	641.026	Vida útil de 5 años
Sustrato	Arena	15000	Bulto	2.500	1.602.564	2.500	1.602.564		0		0	Se utiliza para 6 ciclos
	Ladrillo	10000	Bulto		0		0	1.944	1.246.154	1.944	1.246.154	Se utiliza para 6 ciclos
Mano de obra		10000	Jornal	5.000	3.205.128	5.000	3.205.128	5.000	3.205.128	5.000	3.205.128	Contratación por horas
Solución fertilizante	Elementos Mayores	15000	Kilo	4.320	2.769.231	2.160	1.384.615	4.320	2.769.231	2.160	1.384.615	288 g para T1 y T3, 144 g para T2 y T4
	Elementos Menores	15000	Kilo	4.320	2.769.231	2.160	1.384.615	4.320	2.769.231	2.160	1.384.615	288 g para T1 y T3, 144 g para T2 y T4
COSTOS TOTALES					10.987.179		8.217.949		10.630.769		6.615.385	

Cuadro 6. Resumen de la rentabilidad obtenida en cada tratamiento.

TRATAMIENTO	DESCRIPCION	COSTOS DE PRODUCCION (\$.1000 m ²)	PRECIO Kg DE LECHUGA (\$)	PRODUCCION (T/1000 m ²)
T1	G.A + 6 gr de EM + 6 gr de em	10.987.179	1.400	1,99
T2	G.A + 3 gr de EM + 3 gr de em	8.217.949	1.400	1,88
T3	L.A + 6 gr de EM + 6 gr de em	10.630.769	1.400	2,05
T4	L.A + 3gr de EM + 3 gr de em	6.615.385	1.400	2,18
TRATAMIENTO	INGRESO BRUTO (\$.1000 m ²)	INGRESO BRUTO x 4 ciclos (\$.1000 m ²)	INGRESO NETO (\$)	RENTABILIDAD (%)
T1	2.786.000	11.144.000	156.821	1
T2	2.632.000	10.528.000	2.310.051	28
T3	2.870.000	11.480.000	849.231	8
T4	3.052.000	12.208.000	5.592.615	85

G.A Granzon de arena; L. A ladrillo molido ; E.M elementos mayores; em elementos menores

Anexo 1. Costos de producción de lechuga bajo cultivo hidropónico para 1000 m².

COSTOS FIJOS	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNITARIO	V/TOTAL
Invernadero	Total	1000 m ²	12.000	1.200.000
Camas	Total	300	20.000	6.000.000
Granzón de arena	Bultos	85	12.000	1.200.000
Ladrillo molido	Bultos	85	10.000	1.200.000
Regadera	Unidad	5	15.000	75.000
Clavos	Libras	10	7.000	70.000
COSTO X 5 AÑOS				9.745.000
COSTO ANUAL				1.949.000
COSTOS VARIABLES				
Semilla híbrida	Sobre	1	15.000	60.000
Desinfectante de sustratos	Litro	1	12.000	48.000
Aplicación de desinfectante	jornales	1	12.000	48.000
Aplicación de riego	jornales	1	12.000	48.000
Plástico 6 mm	Metros	100	700	280.000
Mano de obra	jornales	2	12.000	96.000
Cosecha	jornales	1	12.000	48.000
Nutriente mayor 20-20-20	kilogramos	1	14.000	56.000
Nutriente menor 25-5-5	kilogramos	1	8.000	32.000
Aplicación de fertilizante	jornales	1	12.000	60.000
Mano de obra	Total	60	12.000	720.000
				1.528.000
COSTO TOTAL 1000 m².				3.445.000

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las cuales se llevo a cabo el experimento la utilización del sustrato ladrillo con 3 g de elementos mayores más 3 g de elementos menores presentó el mayor rendimiento, el mayor peso de planta, el mayor comportamiento en cuanto al desarrollo de raíces y por ende la parte aérea de la planta de la lechuga

Económicamente el sustrato ladrillo molido con dosis 3 g de elementos mayores más 3 g de

elementos menores presento la mejor rentabilidad con un 85%, esto debido al menor costo del fertilizante y a los mayores rendimientos de lechuga obtenidos.

RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar nuevas investigaciones con distancias menores que las utilizadas en este ensayo para así lograr mayores producciones y obtener mejor rentabilidad.

Se recomienda en futuras investigaciones realizar un análisis físico-químico de los sustratos con el fin de evitar que interfieran con la solución nutritiva que se vaya a utilizar.

BIBLIOGRAFÍA

- ALPIZAR, L. 2010. Hidroponía, cultivo sin tierra. Editorial TECNOLÓGICA DE Costa Rica. A04 p
- ANSORENA, M.J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- BUNT, A.C. 1992. Media and mixes for container-grown plants. Unwin Hyman. London, Great Britain. 13 p.
- CABRERA, R., I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Revista Chapingo-Serie Horticultura. 5: 5-11p.
- CALDERÓN, F. 2001. Actualización y producción en cultivos hidropónicos: Bogotá. Colombia. 70p.
- CANTLIFFE D.J., HOCHMUTH G.J., KARCHI I., SECKER I., BEN-YEHOSHUA S., 1998. Nitrogen fertility requirement for iceberg lettuce grown on sandland with plastic mulch and drip irrigation. Proc. Fla. State. Hort. Soc. 110, 306-309p.
- CANTWELL M. Y SUSLOW T. 2002. Department of Vegetable Crops, University of California, Davis, CA 95616 Traducido por Reinaldo Campos Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Chile. Produce/Producefacts/Espanol/Lechuga. shtml updated June 10.
- CÁRDENAS, M. 1999. Manual de plantas económicas de Bolivia. Segunda edición. Editorial Los Amigos del Libro, Bolivia. 333 p.
- CARNEIRO JGA. 1995. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba, Brasil. FUPEF. 451 p.
- CARRASCO, G. 2004. El NFT. En: Urrestarazu, M. (ed.). Manual de cultivo sin suelo. Mundi-Prensa. Madrid. 541-554 p.
- COLJAP, 1997. Cultivos hidropónicos. Bogotá, Colombia, COLJAP. Nota técnica No 21. 30 p.
- CONDOR A. y VILLAGARCIA G. (2002). Evaluación de mezcla formulada de fertilizante con dosis crecientes y aplicación de materia orgánica en el rendimiento de tabaco negro en un suelo arenoso bajo condiciones de invernadero. Rev. Peru. biol. 9 (2): 121 -126 p.
- DE VISSER, R. 1997. On the integration of plant growth and respiration.. En: Moore, A. y R. Beechey (eds.). Plant mitochondria. Plenum Press, Nueva York. 331- 340 p.
- DOMINGUEZ, A. 2006. Fertirrigación. 4da. Editorial Mundi-Prensa Madrid. España. 200p
- ECKE, P; Matkin, O y Hartley, D. 1990. The poinsettia manual, 3 ed. Paul Ecke Poinsettias. 87 p.
- ELIMELELECH SAPIR 2005. Diseño de riego a presión. Estado de Israel. MASHAV 124p
- FONTENO, W. 1996. Growing media: types and physical/chemical properties. En: Reed, D. (ed.). Water, media, and nutrition for greenhouse crops. Ball Publishing Inc., 93-122 p.
- GUZMÁN, J. M. 2003. Sustratos y tecnología de almácigo. In: Memoria de cursos de producción en ambientes protegidos. UCR-CYTED. San José, Costa Rica. 25 p.
- HARTMANN, H.T.; D. KESTER.; P. DAVIS, .1990. Plant Propagation: Principles and Practices, 5th ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 647 p.
- HIRAOKA, 2001. Datos de producción de hortalizas hidropónicas. Boletín mensual. Lima Perú 24p.

- INFOAGRO, (2010). www.infoagro.com/tipo_sustratos.htm. Consulta, Febrero de 2010.
- IZCO, J. 1997. Botánica. Primera edición. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A., Madrid.
- LAZCANO, I. ; CARRILLO y R. NIÑEZ, R. 2006. Nutrición potásica del brócoli y la lechuga *Brassica oleraceae* y *Lactuca sativa* con manejo convencional y fertiirrigación en un vertisol en invernadero. *Agrociencias* 40 (1):1-11p.
- LLURBA, M. 1997. Parámetros a tener en cuenta en los sustratos. *Revista Horticultura* N° 125, 43 p.
- MANSON, J. 1990. Comercial hydroponics. In *Vegetable Crops*. First edition. Colorcraft Ltd. Hong Kong. 170 p.
- MARSCHNER, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. 2nd. edition. Editorial Academic Press, London. 889 p.
- MELGARES A., GONZALEZ, D., GUTIERREZ, A., HONRUBIA, M. 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 SEASE. 1589-1596 p.
- MORGAN, L. 2007. El cultivo hidropónico de lechugas. Casper Publication Pty.Ltd. Australia 84p
- MOSHE SNEH, 2005. Riego por goteo y aspersión. Estado de Israel. Segunda edición. MASHAV. 179p
- QUESADA G., MÉNDEZ C. 2005. Análisis Físicoquímico de materias primas y sustratos de uso potencial en almácigos de hortalizas. *Revista de Agricultura Tropical* 35:01-13p.
- RESH, H.M. 2004. Cultivos hidropónicos: Nuevas técnicas de producción. 4ª Ed. Ediciones Mundiprensa. Madrid. 509 p.
- RODRIGUEZ de la ROCHA, S. 2006. Hidroponía: Agricultura y bienestar. Universidad Autónoma de Chihuahua., Mexico. 175p
- SANCHEZ, C. 2000. Response of lettyce to water and nitrogen on sang and the potential for leaching of nitrate – N. *HortScience* 35: 73-77 p.
- SAMPERIO 2004. Cultivos hidropónicos, Universidad Agraria LA MOLINA. Lima, Perú. 98 p
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE 2008. Medellín. Informe anual agropecuario. .120 p
- SEMILLAS ARROYAVE. 2009. En: <http://www.semillasarroyave.com>. Consulta Abril de 2010. SINGH, B. y U. Sainju. 1998. Soil physical and morphological properties and root growth. *HortScience* 33(6), 966-971p.
- THOMPSON T.L., DOERGE T.A., 1996. Nitrogen and water interactions in subsurface trickle-irrigated lettuce. *Agronomic, economic and environmental outcomes. Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 168-173p.