



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA



Evaluación de mezclas de sustratos alternativos en la producción de plántula de lechuga *Lactuca sativa* L. complementadas con biosólidos y fosfato diamónico

Por:

Abnner Altamira Santiago

Tesis profesional presentada como requisito parcial para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo Fitotecnista



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA



Evaluación de mezclas de sustratos alternativos en la producción de plántula de lechuga *Lactuca sativa* L. complementadas con biosólidos y fosfato diamónico

Por:

Abnner Altamira Santiago

Asesores:

Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz

Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui

Dr. José Luis Lara Míreles

El trabajo titulado "**Evaluación de Mezclas de Sustratos Alternativos en la Producción de Plántula de Lechuga (*Lactuca sativa L.*) Complementadas con Biosólidos y Fosfato Diamónico**" fue realizado por: **Abnner Altamira Santiago** como requisito parcial para obtener el título de "**Ingeniero Agrónomo Fitotecnista**" fue revisado y aprobado por el suscrito Comité de Tesis.

Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz

Asesor

Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui

Asesor

Dr. José Luis Lara Míreles

Asesor

Palma de la Cruz, Soledad de G. Sánchez, S.L.P. Octubre de 2013, a los dieciséis días del mes de octubre de 2013.

DEDICATORIA

A

Mis padres Alejandro Altamira Escalante y Azalea Santiago Cruz por el orgullo de ser su hijo, por el gran ejemplo que me han dado como padres y por compartir esta dicha de ser todo un profesionalista.

A

Mis hermanos Allexis, Rogelio, Allexio Alejandro, Adrian, Azucena Altamira Santiago gracias hermanos por confiar en mí, por compartir su vida y por el gran apoyo que me han brindado.

A

Familiares, que de una u otra forma siempre están para brindar el apoyo.

A

Compañeros y amigos, generacion 2008 gracias por todos esos grandes momentos que pasamos.

AGRADECIMIENTOS

A

Dios, gracias padre mío por permitir finalizar uno de mis proyectos en la vida.

A

La Universidad Autónoma de San Luis Potosí. En particular a la Facultad de Agronomía, por permitir llevar mi formación como estudiante en dicha institución.

A

Mis profesores de la Facultad, ya que se desempeñan día a día para que el profesionista salga mejor preparado.

A

El señor Gregorio Acosta, por permitir llevar acabo mi experimento en sus instalaciones (invernaderos).

A

Mis asesores:

Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz

Gracias por su disposición en todo momento, su amabilidad, consejos y dedicación para llevar a cabo este proyecto.

Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui

Dr. José Luis Lara Míreles

Gracias por su colaboración prestada en la revisión de la presente.

CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
CONTENIDO	v
INDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
SUMMARY	xi
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo.....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Generalidades del Cultivo de Lechuga.....	4
Importancia económica.....	4
Requerimientos edáficos.....	5
pH.....	5
Requerimientos climáticos.....	6
Sustratos.....	6
Turbas.....	7
Sustratos Alternativos.....	7

Características Generales de un Sustrato Ideal.....	8
Producción de Plántulas con Sustratos Alternativos.....	9
Biosólidos.....	10
Características de los biosólidos.....	10
Características físicas.....	10
Características químicas.....	10
Utilización de los lodos residuales en la agricultura.....	10
Fosfato Diamonico.....	11
MATERIALES Y METODOS.....	13
Localización.....	13
Clima de la Zona.....	14
Primera Fase.....	14
Elección, preparación y características de sustratos.....	14
Tratamientos.....	15
Segunda Fase.....	16
Evaluación agronómica en invernaderos.....	16
Diseño Experimental.....	18
Evaluación de Tratamientos.....	19
RESULTADOS Y DISCUSION.....	20
Primera Fase, Propiedades Fisicoquímicas.....	20
Segunda Fase, Evaluación Agronómica.....	24
DISCUSION.....	28

CONCLUSIONES.....	29
LITERATURA CITADA.....	30
ANEXO.....	33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	pagina
1 Composición de la lechuga por cien gramos de porción comestible.....	12
2 Variable de desarrollo evaluadas de brócoli a treinta días después de la siembra.....	28
3 Análisis nutrimental de la gallinaza y el biosólido.....	34
4 Manejo de producción del productor.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		pagina
1	Área de estudio de la Facultad.....	13
2	Área de estudio en invernadero.....	13
3	Croquis del experimento.....	18
4	Comparación porosidad total.....	20
5	Comparación capacidad de aireación.....	21
6	Comparación capacidad de retención de agua.....	22
7	Comparación de pH.....	22
8	Comparación de conductividad eléctrica.....	23
9	Altura de planta.....	24
10	Área foliar.....	25
11	Unidad SPAD.....	25
12	Peso seco de raíz.....	26
13	Peso seco parte aérea.....	26
14	Peso seco total.....	27
15	Relación peso seco.....	27

RESUMEN

La turba de *Sphagnum* (peat moss) es ampliamente utilizado en México para la producción de plántula de hortaliza ya que posee propiedades físicas y químicas idóneas para su crecimiento. Sin embargo, tiene como desventaja el alto costo, ya que es un material importado, lo que ha orientado a la búsqueda de materiales menos costosos pero con propiedades similares que pudieran sustituirlo de manera total o parcial. Por dicha razón se realizó el presente trabajo donde se evaluaron los siguientes mezclas de sustratos en la producción de plántulas de lechuga: 1) 75% Framboyán + 25% mezcla productor (peat moss y perlita) + 100 g de biosólido por charola; 2) 50% Framboyán + 50% mezcla productor +100 g de biosólido por charola; 3) 25% Framboyán + 75% mezcla productor +100 g de biosólido por charola; 4) 75% Framboyán + 25% mezcla productor +13 g de DAP (fosfato diamónico) por charola; 5) 50% Framboyán + 50% mezcla productor +13 g de DAP por charola; 6) 25% Framboyán + 75% mezcla productor +13 g de DAP por charola; 7) 50% Framboyán + 50% mezcla productor; 8) 100% mezcla productor (testigo: peat moss y perlita). Los resultados muestran que los tratamientos 3 (25% Framboyán + 75% mezcla productor +100 g de biosólido por charola) y 6 (25% Framboyán + 75% mezcla productor +13 g de DAP por charola), si bien no presentaron propiedades ideales de un sustrato, lograron un crecimiento similar al testigo. Ambos tratamientos generan un ahorro de peat moss del 25% por el uso de framboyán, y en el caso del tratamiento 3, hasta de 36% debido al biosólido con el que fue complementada la mezcla.

SUMMARY

Sphagnum peat (peat moss) is widely used in Mexico for vegetable seedling production because it has physical and chemical properties suitable for its growth. However, it has the disadvantage of high cost, as it is an imported material, which has focused on the search for less expensive materials but with similar properties that could replace in whole or in part. For this reason the present study was conducted which evaluated the following mixtures of substrates in the production of lettuce seedlings : 1) 75 % + 25 % Framboyán producer mix (peat moss and perlite) + 100 g of biosolids per tray , 2) 50 % + 50 % mixture Framboyán producer +100 g of biosolids per tray , 3) 25 % + 75 % mixture Framboyán producer +100 g of biosolids per tray , 4) 75 % + 25 % mixture Framboyán producer of DAP +13 g (diammonium phosphate) per tray , 5) 50 % + 50 % mixture Framboyán producer of DAP +13 g per tray , 6) 25 % + 75 % mixture Framboyán producer of DAP +13 g per tray ; 7) 50 % + 50 % Framboyán mix producer ; 8) 100 % mix producer (control : peat moss and perlite) . The results show that treatments 3 (25% + 75% mixture Framboyán producer +100 g of biosolids per tray) and 6 (25% + 75% mixture Framboyán producer DAP +13 g per tray), but showed no ideal properties of a substrate , achieved similar growth to witness. Both treatments generate a saving of 25% peat moss by using flame tree , and in the case of treatment 3, up to 36 % due to the sewage sludge was supplemented with the mixture.

INTRODUCCIÓN

Debido a la gran importancia que tiene la agricultura en la producción de alimentos para la humanidad, se han venido domesticando diversas especies vegetales, llegando a obtener los cultivos que actualmente reconocemos; dentro de las especies cultivadas, las hortalizas juegan un papel importante porque son excelentes productoras de vitaminas, minerales y fibras.

Las hortalizas en México han constituido una de las fuentes principales del mejoramiento del bienestar económico de las sociedades agrícola modernas, ya que su dinámica productiva ha permanecido estable debido a que el producto está relacionado con los mercados más rentables internos y externos. Su producción tuvo un crecimiento acelerado durante los años de 1990-2005, pasando del 12.3% al 19% del valor total de la producción agrícola nacional. Su alta rentabilidad se debe a su alto grado de organización para la producción, inversión y el acceso a modernos canales de comercialización (Villa *et al.*, 2008).

La producción de plántula en invernadero con uso de charolas de poliestireno tiene como fin reducir el periodo de producción, menor costo, brindar las condiciones aptas para tener un mejor crecimiento, disminuir el impacto ambiental, entre otros (Figueroa, 2005).

La turba de *Sphagnum* (peat moss) es ampliamente utilizado en México para la producción de plántula de hortalizas. Sus propiedades de absorción del agua y de retención de los elementos nutritivos son esenciales para el crecimiento y desarrollo.

El uso de turbas (*Sphangnum*) en la producción de plántulas resulta ser muy costoso, en México no existen cifras oficiales del volumen de estos materiales que se importan. Díaz (2006) calculan que solo en el cultivo de brócoli del estado de Guanajuato durante un ciclo (2000-2001) se utilizaron 29,784 bultos de 3.8 pies cúbicos, equivalente a 6'403,666.5 L de sustrato (6 403 m³). Los costos ascienden a \$ 7 446 000 de pesos, equivalente a 647 478.26 dólares.

Los sustratos alternativos, al ser un subproducto de una actividad económica o material que se puede obtener en el lugar de producción, pueden disminuir los costos por la compra de sustratos comerciales. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (México) reporta un ahorro del 37 % en el costo de sustratos al producir plántulas de *Pinus ayacahuite* con una mezcla de peat moss con bagazo de café (INIFAP, 2002).

Ensayos previos realizados en la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UASLP, utilizando mezclas de sustratos a base de vaina framboyán como sustrato alternativo, indican que es recomendable realizar más pruebas en mezcla con otros materiales para potenciar la nutrición y reducción de posibles efectos tóxicos de taninos presentes.

Entre los materiales que pueden ser usados como complemento a las mezclas de sustratos se contempla a los biosólidos y el fertilizante fosfato diamónico (DAP). Los primeros son materiales orgánicos producto del proceso de tratamiento de aguas residuales los cuales poseen elevados contenidos de diversos elementos nutritivos para las especies vegetales; mientras que el DAP es un fertilizante que aporta fósforo y estimula el crecimiento de raíces, el cual es frecuentemente utilizado en la producción de plántulas de hortalizas.

Por lo anterior, se realizó el presente trabajo con la intención de ofrecer a los productores de hortalizas una mezcla de sustratos alternativo de menor costo e igual de eficiente que la turba de *Sphangnum* (peat moss).

Objetivo

Caracterizar física y químicamente siete mezclas de sustratos alternativos a base de vaina de framboyán (*Delonix regia*) complementadas con biosólidos y fosfato diamónico.

Evaluar siete mezclas de sustratos como alternativa al uso de peat moss en la producción de plántula de lechuga (*Lactuca sativa* L.) complementadas con biosólidos y fosfato diamónico.

Hipótesis

Los sustratos alternativos tienen propiedades físicas y químicas deseables para la producción de plántula, por lo tanto, con el uso de al menos uno de las mezclas a evaluar se podrá obtener la misma calidad de plántula de lechuga y a menor costo que el peat moss.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del Cultivo de Lechuga

Importancia económica

El aumento en la producción de lechuga en el mundo no se ha visto favorecido en los últimos años, debido a la diversificación de tipos de varietales. China se ha mantenido como el principal productor en el mundo, en 2008 registró una producción de 4, 014,509 toneladas, seguida por Estados Unidos y España con una producción de 1, 505,500 y 1, 002,800 toneladas respectivamente. México se ubica como el décimo productor de lechuga en el mundo (FAO, 2008).

En México la superficie sembrada con este cultivo oscila entre las 3,171.32 hectáreas siendo las especies orejona y romana las que mayor superficie ocupan. En 2009 la producción se ubicó en 63,556.18 toneladas, con un rendimiento de 53.51 toneladas por hectárea. Los principales estados productores en el país son Puebla, Guanajuato, Baja California, San Luis Potosí y Zacatecas (SIAP, 2009).

En el estado de San Luis Potosí la superficie que se cultivó con esta especie en el ciclo PV mas OI en la modalidad de riego fue de 511.48 hectáreas, las variedades orejona y romana, que son para las que existe información disponible, registraron una producción de 15156 toneladas en 2007 y un rendimiento de 23.47 toneladas por hectárea (SIAP, 2007.)

Es un cultivo que se puede cultivar los 365 días del año y la variedad más utilizada en la región de San Luis Potosí es la Montemar; para tiempo de calor se empieza a sembrar en invernadero el día 15 de diciembre, y se deja de plantar el día 15 de julio. En algunos casos como en la cosecha de septiembre y de febrero se utilizan variedades mixtas que aguanten frío y calor. La forma más común entre cultivar de los potosinos, es la trasplantar en surcos a 1 metro de distancia. Hay algunos productores que prefieren plantar a 90 cm, la distancia entre plantas más usadas en la región es de 25 cm, sin embargo, muy pocos productores usan algún método para confirmar el

trasplante de sus plantas a esta distancia. La densidad de plantación más común es de 6 a 8 plantas por m². (Robledo, 2004).

Requerimientos edáficos

La lechuga es una planta cuyo ciclo tiene una duración relativamente breve. El ciclo del cultivo es de 50 a 60 días para las variedades tempranas, y de 70 a 90 días para las variedades tardías. Su enraizamiento es poco profundo (profundidad de raíz de 25 cm) es además poco significativo en la acumulación total de biomasa ya que las raíces representan aproximadamente 92 kilos de materia seca por hectárea (Vallejo y Estrada, 2004)

De lo anterior puede deducirse que la lechuga, cuyo sistema radicular es muy reducido en relación con la parte aérea encargada de la evapotranspiración, es muy sensible a la falta de agua, y por lo tanto no soporta periodos de sequía aunque sean breves, sin que se vean mermados los rendimientos. Es una especie muy sensible ala sumersión. El suelo más favorable para el cultivo es el franco (Castaños, 2000).

Cuadro 1. Composición de la lechuga por cien gramos de porción comestible.

Nutriente	Aporte
Energía (kcal)	16,7
Agua (ml)	95
Hidrato de carbono (g)	1,4
Fibra (g)	1,5
Proteínas (g)	1,5
Potasio (mg)	240
Magnesio (mg)	5,7
Calcio (mg)	34,7
Vitamina A	29
Folatos (mcg)	33,6
Vitamina C (mcg)	12,2

pH

Varios autores establecen un rango de 6.0 a 7.4 (Castaños, 2000), con óptimo de 6.8 a 6.0, es una planta poco tolerante a la acidez y con un pH de 5.0 el rendimiento alcanza solo 36% del correspondiente al pH de 7.0. Cuando el pH del suelo aumenta por encima de 6.5 en suelos de turba y 7.5 en suelos minerales, los carbonos libres limitan muchas veces la disponibilidad de fosforo, hierro, zinc y magnesio.

Requerimiento climático

El cultivo de la lechuga requiere un clima templado, no tolera temperaturas mayores de 22` C y su temperatura optima es de 15 a 18 `C. el foto-periodo no tiene efecto significativo sobre la lechuga. La incidencia de regímenes continuados de vientos resulta bastante negativa para estas plantas que pueden desecarse ostensiblemente en sus hojas. Se recomiendan riegos ligeros frecuentes. Hay que evitar humedad excesiva. En un ciclo de 40 a 50 días después del trasplante, las necesidades hídricas pueden variar de 200 a 250 mm. (InfoAgro, 2002)

Sustratos

Se definen como el material sólido, distinto del suelo, natural o sintético, mineral u orgánico, en mezcla o sólo, el cual colocado en un contenedor, sirve de soporte a la plantas y medio para el desarrollo de la raíces. Se utilizan para la producción de plántula, propagación vegetativa y para crecimiento y desarrollo del cultivo. Pueden sustituir al suelo cuando este no cuenta con las propiedades físicas y químicas para el crecimiento y desarrollo de las raíces de las plantas, o bien cuando la actividad así lo requiera, como lo es el caso de las plantas de ornato.

Los sustratos se clasifican en cuatro grupos:

Sustratos minerales. Aquí se encuentra la arena, grava y roca volcánica, su función principal es promover de buena porosidad al medio, mayor absorción de agua y nutrientes, así como mayor aeración para la raíz.

Sustratos minerales tratados. Son la perlita, vermiculita, arcilla y lama de roca. Sus contribuciones hacia la planta es mayor retención de agua, buena porosidad, baja densidad aparente y buena aireación hacia la parte radicular.

Sustrato orgánico sintético. La espuma de poliuretano, la cual se caracteriza por su alto grado de porosidad, aireación de un 90% y baja retención de agua.

Sustratos orgánicos naturales. Fibra y polvo de coco, peat moss, composta, musgo, corteza de pino y algún tipo de aserrín, su uso es principalmente para brindar a la planta buena capacidad de aireación, elevada porosidad, y tiene un alto grado de aporte de nutrientes a la planta (Chávez, 2008).

Chávez *et al.* (2008) mencionan que la finalidad de un sustrato es producir una cosecha de calidad y abundante en el periodo más corto, con los costos más bajos de producción. Además no debe causar daños ambientales una vez que se haya utilizado.

Turbas

Material orgánico de estructura mullida, la distribución del tamaño de las partículas estimada por índice de grosor situándose alrededor del 44%, presenta baja densidad aparente (0.07 g cm^3) y real, porosidad total elevada (96%), suficiente contenido de aire (41% en volumen), alta capacidad de retención de agua total (687 mL L^{-1}) y agua disponible (25% en volumen). El pH es extremadamente ácido, inferior a 4.0, poniendo de manifiesto la necesidad de encalado. La conductividad eléctrica del extracto de saturación es muy baja, alrededor de 0.5 dS m^{-1} . En nutrientes también es muy bajo. La capacidad de intercambio catiónico es muy elevada aumenta con su grado de descomposición. Este material es muy usado en la producción de plántula. La gran mayoría es de importación (Castellanos, 2003).

Se distribuye ampliamente en el Hemisferio Norte, sobre todo en el área de tundras húmedas, donde puede cubrir grandes extensiones de territorio. Las poblaciones más septentrionales del musgo de turbera están en el archipiélago de Svalbard. Existen también grandes superficies en el Hemisferio Sur, principalmente en Nueva Zelanda, Tasmania, y el sur de Chile y Argentina, pero estas contienen relativamente pocas especies. Por último algunas habitan en las alturas de Los Andes tropicales, así como también existen varias especies de la cuenca del Amazonas y de las costas del mar Caribe.

Sustratos Alternativos

Los sustratos convencionales o comerciales como lana de roca, perlita, tezontle, entre otros, no siempre están disponibles al productor y los costos suelen representar un gasto inicial fuerte para un productor de nivel tecnológico intermedio.

Es importante considerar el costo del sustrato; es posible que un sustrato barato no posea todas las propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas de un sustrato caro, sin embargo es importante considerar que éstas se pueden adecuar por medio del

manejo, de tal manera que la relación costo/beneficio se puede incrementar utilizando un sustrato más económico (Díaz, 2006).

Por lo anterior resulta de suma importancia que el productor logre realizar una buena elección del sustrato e incluso que sea capaz de elaborarlo con los materiales disponibles en su zona, a los cuales se les denomina “sustratos alternativos”.

Además de la reducción de costos, algunos sustratos alternativos como la composta, pueden ser utilizados para la producción orgánica de alimentos. En ese caso los sustratos se obtienen a partir de materias primas aprobadas por la normatividad orgánica, siendo una opción, mezclar en un contenedor, composta, por la alta cantidad de elementos nutritivos, con medios inertes, con el objetivo de mejorar las características físicas y químicas y evitar la hipoxia (Márquez, 2008).

Características Generales de un Sustrato Ideal

A continuación se enlistan las características generales que debe tener un buen sustrato, con la finalidad de ayudar a la elección.

Propiedades físicas: buena retención de humedad (40% - 65%), adecuada porosidad (75% - 85%) suficiente aireación (10% - 35%); baja densidad (100 – 350 Kg·m³), y estructura estable (que no se contraiga o hinche).

Propiedades químicas: mínima velocidad de descomposición, baja o nula salinidad, pH estable, buena capacidad de intercambio catiónico.

Otras propiedades: libre de enfermedades, no contener semillas de otras plantas, libre de sustancias tóxicas, amplia disponibilidad, relación costo-beneficio adecuado y facilidad de manejo.

Producción de Plántulas con Sustratos Alternativos

Díaz *et al.* (2006) evaluaron seis sustratos de paja de trigo en la emergencia y el desarrollo de plántulas de brócoli (*Brassica oleracea var. Italica*) cv. Patriot. Se trituró el material en un molino de martillos y se tamizó con mallas de 2, 1, y 0.5 mm, seleccionando partículas menores de 2 mm y mayores e iguales de 1 mm, y menores de 1 y mayores e iguales a 0.5 mm. Con las partículas seleccionadas se elaboraron seis sustratos de paja de trigo con las siguientes granulometrías, en porcentaje: 100-00, 90-10, 80-20, 70-30, 60-40 y 50-50; correspondiente a porcentajes en volumen de partículas menores de 2 mm y mayores e iguales a 1mm, y menores de 1 mm y mayores e iguales a 0.5 mm, respectivamente. Treinta días después de la siembra, las plántulas, en los sustratos con granulometrías 80-20, 70-30 y 60-40, presentaron un desarrollo similar al de las plántulas en los sustratos comerciales (Sogemix VT-M y Sunshine) en las variables de diámetro de tallo, peso de materia fresca y seca de la parte aérea de la plántula (Cuadro 2). También concluyen que las concentraciones de fenólicos solubles.

Cuadro 2. Variables de desarrollo evaluadas en plántulas de brócoli a treinta días después de la siembra (Díaz *et al.*, 2006).

Sustrato	LP (cm)	DT (mm)	PMFPA (g)	PMSPA (g)
100-00	16.59b	2.65ab	27.15d	2.83c
90-10	16.77b	2.68ab	32.61bc	3.36abc
80-20	17.59b	2.73ab	36.82abc	3.71ab
70-30	16.89b	2.76ab	34.53abc	3.46ab
60-40	17.60b	2.78a	37.63ab	3.70ab
50-50	16.79b	2.60b	32.08cd	3.319bc
Sogemix VT-M	19.54a	2.66ab	38.57a	3.382a
Sunshine	17.36b	2.68ab	33.99abc	3.41abc
Significancia	**	*	**	**
DHS (Tuker, $\alpha = 0.05$)	1.39	0.17	5.37	0.62

*= Existe diferencia significativa.

**= Existe diferencia altamente significativa.

LP=Longitud de plántula; DT=Diámetro de tallo; PMFPA=Peso de materia fresca de parte aérea; PMSPA=Peso de materia seca de parte aérea.

Biosolidos

Características de los biosólidos

Los lodos se definen según la NOM-004-SEMARNAT-2002 como sólidos con un contenido variable de humedad, proveniente del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipales, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización, a diferencia de los biosólidos que son los lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, pueden ser susceptibles de aprovechamiento (Diario Oficial de la Federación, 2003).

Características físicas

La principal característica física de los biosólidos es el contenido de humedad. Dependiendo del método de estabilización y deshidratado, el porcentaje de sólidos varía de cinco a 90 por ciento. Respecto a el color de los biosólidos es negro y el olor fuerte (EPA, 2000 citado por Potisek, 2006).

Características químicas

Contenido de nutrientes. En general, los biosólidos son ricos en Nitrógeno (N), y fósforo (P); una tonelada de biosólidos puede contener en promedio de 37 a 50 Kg de N y de 13 a 24 Kg de P (Stehower, 1999 citado por Potisek, 2006), además de otros nutrientes. Contenido de metales pesados. La concentración de metales pesados en los biosólidos define si estos pueden incorporarse en suelos agrícolas o de pastizales.

Utilización de lodos residuales en la agricultura

Tamariz indica que tras cuatro ciclos agrícolas en los que se ha experimentado con la aplicación de biosólidos en tierras cultivables de la sierra norte de Puebla, así como en la Mixteca, se observó un incremento de 30 por ciento en la producción de maíz, de 25 por ciento en frijol y 15 por ciento en hortalizas, en comparación de suelos que no contienen biosólidos.

En el Valle de Juárez, Chihuahua, Figueroa *et al.* (2000) evaluaron dos fuentes de biosólidos, con diferentes procesos de estabilización (estabilizados con cal y biosólidos digeridos), en el cultivo del algodón, comparándose con fertilizantes inorgánicos y una combinación de biosólido + fertilizante. Las parcelas que recibieron

biosólidos dirigidos tuvieron un rendimiento similar entre ellas y superior a los que recibieron fertilizantes químicos.

Martínez de la Cerda (2004) menciona que los mejores rendimientos de forraje por parcela se obtuvieron con 8 ton ha¹ de lodo líquido y fertilizante inorgánico, y no encontró diferencia entre lodos deshidratados. Además en sus conclusiones coincidió con otros trabajos en donde se indica que con la aplicación de lodos en dosis iguales o superiores a 6 ton ha⁻¹ en aplicaciones únicas, se iguala o supera el rendimiento respecto a la aplicación de fertilizantes inorgánicos.

Andrade (2000) menciona que el aporte de lodos aumenta el contenido de Nitrógeno, Fosforo asimilable y Potasio en los suelos. La producción de materia seca maíz aumento aumento con la cantidad de lodos añadida. Los rendimientos medios fueron mayores en los suelos tratados con lodos que en los fertilizados inorgánicamente, por que los lodos incrementan los niveles de otros nutrientes que la fertilización inorgánica no aporta.

Fosfato Diamónico

El Fósforo desempeña un papel importante en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transferencia de energía, la división y el crecimiento celular y otros procesos de las plantas. Sólo una pequeña cantidad del fósforo del suelo (que proviene de degradación de minerales) es posible disponerlo para las plantas, por lo que hay que mejorarlas con fertilización (Bolland, 1998).

El Fósforo aportado, en un 100 % asimilable por las plantas, del que un porcentaje muy elevado (más del 95 %) es soluble en agua y pasa directamente a la solución de suelo, garantiza un excelente resultado agronómico. Los fosfatos amónicos tienen una reacción residual ácida, aunque inicialmente tienen una reacción alcalina, por lo que son muy adecuados para suelos neutros o básicos (Bolland, 1998).

La fertilización con fósforo es clave, no sólo para restituir los niveles de nutriente en el suelo, sino también para obtener plantas más vigorosas y promover la rápida formación y crecimiento de las raíces, haciéndolas más resistentes a la falta de agua. El Fósforo también mejora la calidad de frutas y granos, siendo vital para la formación de las semillas. La deficiencia de fósforo retarda la madurez del cultivo.

Los fosfatos de amonio poseen excelentes propiedades físicas, resultando actualmente los fertilizantes fosfatados más populares. Entre otras ventajas son los fertilizantes más concentrados del mercado, entre 62 y 64% de nutrientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Este trabajo se realizó, en su primera fase, en el laboratorio de suelos, aguas y plantas de la Facultad de Agronomía de la U.A.S.L.P. (Figura 1) Ubicado en el ejido Palma de la Cruz, municipio de Soledad de Graciano Sánchez, SLP, (México) en el Km. 14.5 de la carretera San Luís-Matehuala. Sus coordenadas Geográficas 22° 14' 5.8" de latitud norte y 100° 51'48.5" de longitud oeste, con una altitud de 1835 msnm, perteneciente a la Provincia Mesa del Centro (INEGI, 1985).



Figura 1. Área de estudio de la Facultad.

Una segunda fase o fase de invernadero (producción de plántula de lechuga) se realizó en los invernaderos de producción de plántula de nombre “El Goyo” (Figura 2), ubicado en la delegación de Villa de Pozos, San Luis Potosí, propiedad del Sr. Gregorio Acosta.



Figura 2. Área de estudio en Invernadero.

Clima de la Zona

De acuerdo con la clasificación climática según Köepen modificada por García (1973) el clima es seco estepario frío Bskw (w)(i) con lluvias en verano, siendo los meses de Julio, Agosto y Septiembre cuando se presentan más lluvias significativamente. La precipitación media anual es de 292.8 mm. Los vientos dominantes ocurren de noroeste a sureste. Las temperaturas medias anuales oscilan entre los 14.4° C la menor y 22° C la mayor, siendo los meses de diciembre y enero donde se presentan más las temperaturas bajas, pudiendo llegar hasta los -3.2° C, y los más cálidos entre junio y agosto (Departamento de Agro climatología de la Facultad de Agronomía, 1997)

Primera Fase

Elección, preparación y caracterización de sustratos

La primera fase de este estudio fue la elección y preparación de los sustratos a evaluar. Se eligió como sustrato alternativo a la vaina de Framboyán (*Delonix regia*). Se seleccionó este material principalmente por su carácter de poder ser colectado de manera fácil y sencilla, con un costo mínimo por su recolección, disponible, sustentables y al observar que al ser triturados en granos de aproximadamente 2 mm presentaban al tacto y vista una consistencia y cuerpo similar a otros sustratos convencionales como la vermiculita.

Se lavaron las vainas de framboyán a chorro de agua, Una vez secados los materiales al sol, se trituraron en un molino, y se utilizó una malla de 15 mm para colar la mezcla de framboyán.

Ya teniendo la vaina de framboyán triturada se procedió a darle dos lavados más, esto consistió en sumergir la mezcla por 60 minutos en un recipiente con agua caliente a una temperatura de 80°C.

Tratamientos

Se prepararon siete mezclas con la vaina de framboyán, biosólidos y DAP (18-46-00) con el sustrato que utiliza el productor hecha de turba (marca Berger®) más perlita (marca Ortiper®) relación 2:1 (v/v). Considerando al peat moss como testigo facilitada por el productor, teniendo los siguientes tratamientos experimentales.

1. 75% Framboyán + 25% mezcla productor + 100 g de biosólido por charola
2. 50% Framboyán + 50% mezcla productor +100 g de biosólido por charola
3. 25% Framboyán + 75% mezcla productor +100 g de biosólido por charola
4. 75% Framboyán + 25% mezcla productor +13 g de DAP por charola
5. 50% Framboyán + 50% mezcla productor +13 g de DAP por charola
6. 25% Framboyán + 75% mezcla productor +13 g de DAP por charola
7. 50% Framboyán + 50% mezcla productor
8. 100% Mezcla productor (Testigo: peat moos+perlita)

Las características del biosólido se presentan en el cuadro 3. Este material fue facilitado por la empresa Proagua del Potosí, S. A. de C. V., así como los análisis.

Cuadro 3. Análisis nutrimental de la gallinaza y el biosólido.

Elemento	Biosólido
pH	5.85
C.E.	3.4 dSm ⁻¹
M.O.	74.5%
Nitrógeno	5.92%
Fósforo (P ₂ O ₅)	5.69%
Calcio	2.55%
Azufre	0.74%
Magnesio	0.58%
Potasio (K ₂ O)	0.5%
Fierro	0.5%
Cobre	1365 ppm
Manganeso	110 ppm
Zinc	108 ppm

*Dilución 1:10 (masa/volumen).

Las cantidades de biosólido y DAP aplicados por charola son equivalentes en cuanto a fósforo, debido a la relevancia de este elemento en el crecimiento y desarrollo de raíces. La cantidad aplicada es de 6 g de P_2O_5 por charola.

Para la caracterización física de las mezclas de sustratos se recurrió a la metodología descrita por Castellanos (2008).

Para la determinación de la porosidad del sustrato se llenó un recipiente con la mezcla (sustrato) con capacidad de un litro, se agrega agua poco a poco para evitar que el material fino se vaya a el fondo del recipiente, se deja reposar por lo menos 12 h en el caso de sustratos minerales y 24 en caso de sustratos orgánicos, hasta que el sustrato este completamente saturado, cuantificando el volumen de agua que se utilizó.

Para determinar la capacidad de aireación. Se colocó el recipiente encima de una maceta de 1 L. esto se realiza para captar el agua que se drena del primer recipiente por un espacio de 30 min. A esto se le llama proporción del espacio poroso total ocupado por aire.

Para determinar la capacidad de retención de agua. Se calcula restando el volumen de agua drenado del volumen de agua aplicado al sustrato para saturarlo.

La obtención del pH y Conductividad Eléctrica. Se tomaron los drenajes de la prueba de capacidad de retención de agua y se determinaron estos parámetros con equipos medidores de potenciómetro y conductímetro.

Segunda Fase

Evaluación agronómica en invernadero

En el experimento se utilizó lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad “Montemar” que es resultado del cruce de Empire y Vanguard; posee parte de la tolerancia a floración de las Empire y las cualidades de las Vanguard; tamaño grande y crecimiento vigoroso, por lo que con viene abonarla ligeramente desde el principio: color verde medio y hoja de textura lisa; forma cabeza segura: tolerante a floración y algunas cepas de Cenicilla Velloso; se adapta a los periodos de calor para cosechar en verano (Shamrock, 2011). El material genético fue facilitado por el Sr. Gregorio Rocha Cordero.

La siembra se realizó en las instalaciones del invernadero “El Goyo”, se utilizaron charolas de siembra de poliestireno de 338 cavidades, cada charola se dividió en tres partes para ubicar tres tratamientos, tomando en cuenta que el tamaño de la cavidad sea el adecuado para que no afecte el crecimiento de la raíz. Por lo que se usaran siete charolas para distribuir los siete tratamientos alternativos (113 alveolos por tratamiento), el tratamiento testigo se considera a las charolas completas que sembró con turba el productor.

Las charolas llevaron un proceso de desinfección, en el que se sumergieron en un recipiente con agua con cloro al 1 % durante un periodo aproximado de 5 min.

Se llenaron las charolas con las distintas mezclas, para ello utilizamos un recipiente donde depositamos el sustrato y posteriormente añadimos agua para humedecerlo. Este procedimiento lo realizaremos con todas las mezclas para hacer el llenado de las charolas.

Teniendo las charolas con las mezclas, realizamos la siembra que fue el día 07 de mayo de 2013, depositando de una semilla de lechuga por cavidad, para la identificación de los tratamientos, se anotó con marcador indeleble el nombre del cultivo y la mezcla a evaluar. Se realizó este proceso con todas las mezclas.

Las charolas se depositaron una junta a la otra en los soportes que posee el semillero para tal fin.

Los riegos se realizaron 2 veces al día, llevándose a cabo en un principio con una regadera manual, y posteriormente se utilizó el riego mediante difusión existente en el interior del semillero.

Se sembraron manualmente las semillas de lechuga de la variedad “Montemar” de la empresa de semillas Seminis®.

Se siguió el manejo de producción del productor que se muestra en el cuadro 4.

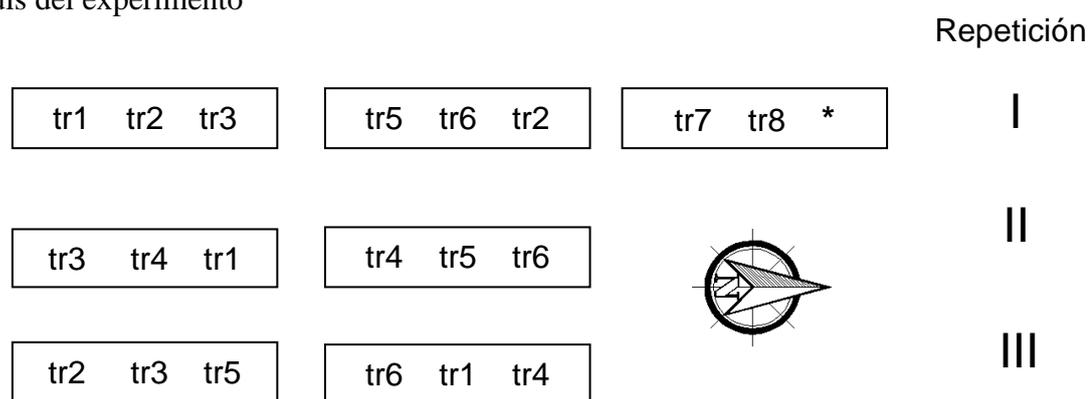
Cuadro 4. Manejo de producción del productor.

Día	Fertilizante/invernadero (600 m ²)	Fungicida o Insecticida/invernadero (600m ²)
Lunes	MAP 400 g (1era semana) MAP 600 g (2da semana)	
Martes		Flonex 500 ml Latigo 50 ml
Miércoles	Magic root 500 gr	
Jueves		Previcur 100 ml Derosal 100 ml Muralla 100 ml
Viernes	MAP 400 g (1era semana) MAP 600 g (2da semana)	
Sábado		Sulfocup 500 ml Amoch 50 ml
Domingo	Solo agua	Solo agua

Diseño Experimental

El diseño experimental fue en bloque al azar con tres repeticiones, cada unidad experimental estuvo representada por una tercera parte de charola que contenían 112 plántulas. La distribución de los tratamientos se presenta en la figura 3.

Croquis del experimento



*Los tratamientos 7 y 8 no tuvieron repeticiones.
Figura 3. Croquis del experimento.

Evaluación de Tratamientos

A los 30 días después de la siembra del cultivo, se procedió a realizar la evaluación tomando las siguientes variables:

1. Unidades SPAD: Se realizó una medición de la cantidad de clorofila presente en las hojas de la planta (Medidor Konica Minolta- Spad 502). Se muestrearon 6 plántulas de cada tratamiento.
2. Altura de plántula: Se midió la planta con una regla de 30 cm. Tomando la lectura desde la base de la plántula hasta la parte apical de la hoja. Se muestrearon 6 plántulas de cada tratamiento.
3. Área foliar: Se estimó mediante el método del papel. Se muestrearon 6 plántulas de cada tratamiento.
4. Peso seco raíz: Se determinó dividiendo la planta de la base del tallo y secándolo en la estufa a 65°C por 24 h, y posteriormente se pesaron en la balanza analítica de precisión de 0.0001 g.
5. Peso seco parte aérea: Se determinó dividiendo la planta de la base del tallo y secándola en la estufa a 65°C por 24 h, se pesaron en la balanza analítica de precisión de 0.0001 g.
6. Peso seco total: Se calculó sumando los pesos secos de raíz + parte aérea.
7. Relación parte aérea-raíz: Se obtuvo mediante el cociente de la división entre peso seco de raíz y metería.

Se realizó el análisis de varianza para todas las variables. Al haber diferencias significativas se procedió a realizar la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). El software utilizado fue el de diseños experimentales FAUANL (Olivares, 1994).

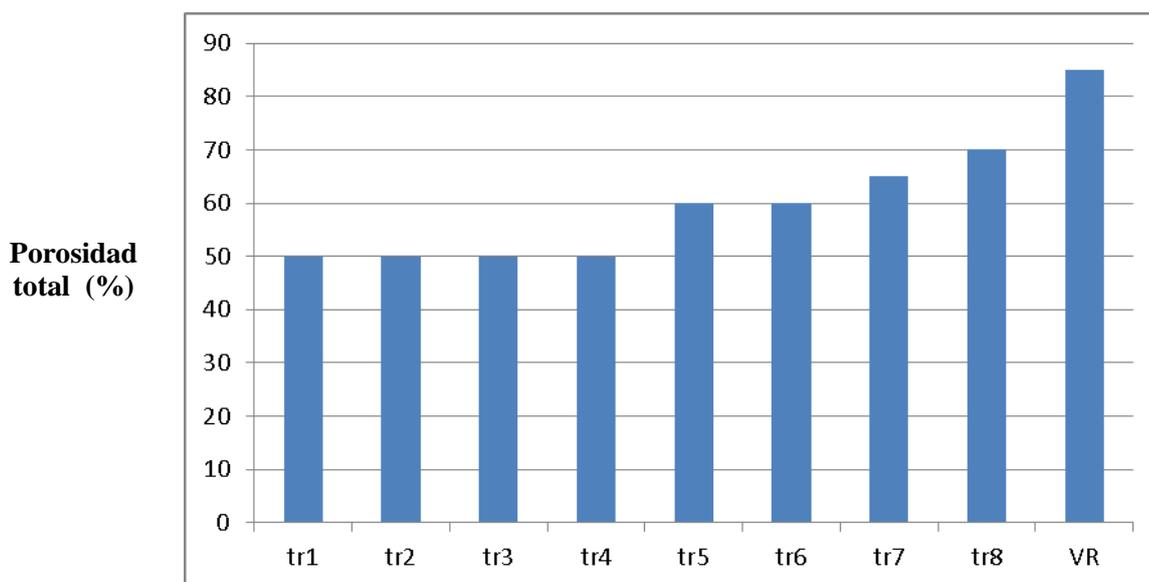
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primera Fase, Propiedades Físico-Químicas

En base a los valores de referencia (características del sustrato ideal) descrito por Abad (1997), se describen los siguientes resultados:

Porosidad total

El valor de referencia es de 85 %, el tratamiento que más se aproxima a este valor es el 8 (testigo, solo peat-moss). De las mezclas alternativas, el tratamiento 7 resultó el de porosidad más alta con 65 % (50% Framboyan + 50% Peat moss) (Figura 4).

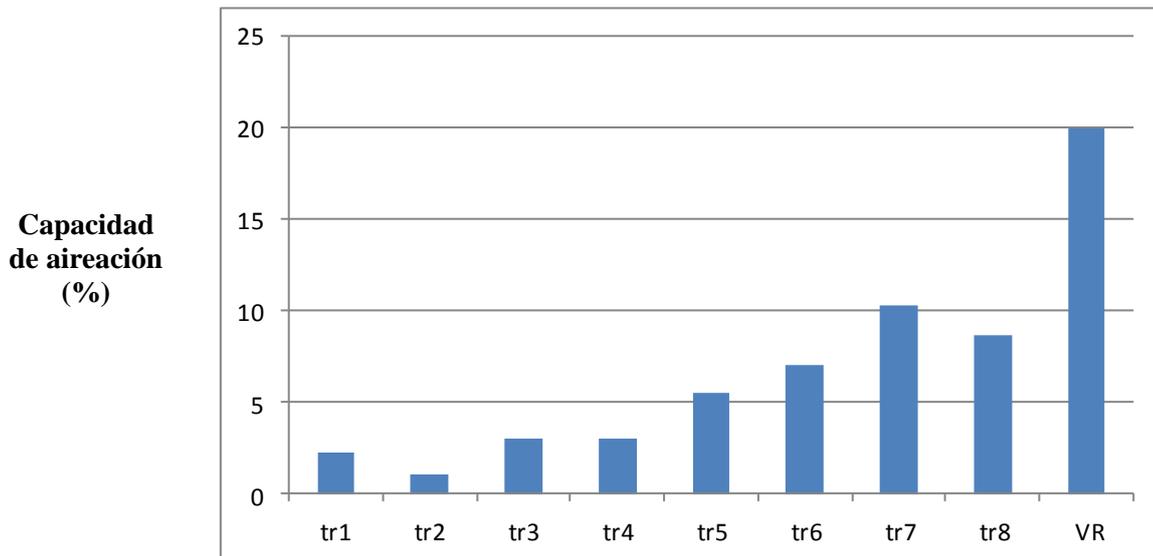


VR= Valor de referencia.

Figura 4. Comparación porosidad total.

Capacidad de aireación

Abad (1993) menciona que el valor ideal para la capacidad de aireación en sustratos oscila entre el 20-30 %, por lo que el tratamiento 7 fue el que más se aproximó al ideal logrando un 10.3 % de capacidad de aireación (Figura 5).

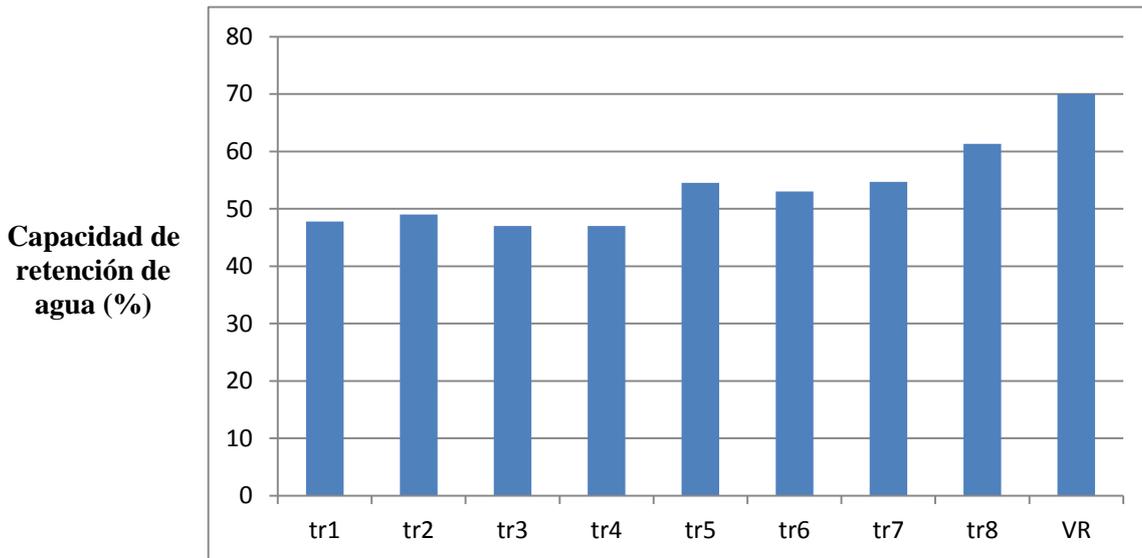


VR=Valor de referencia.

Figura 5. Comparación capacidad de aireación.

Capacidad de retención de agua

Abad (1997) menciona que el valor de referencia ideal para la capacidad de retención de agua oscila entre 55-70 %, por lo que el testigo fue el más sobresaliente con 61.3%. Dentro de las mezclas sobresale fue la mezcla 7 con 54.7% (Figura 6).

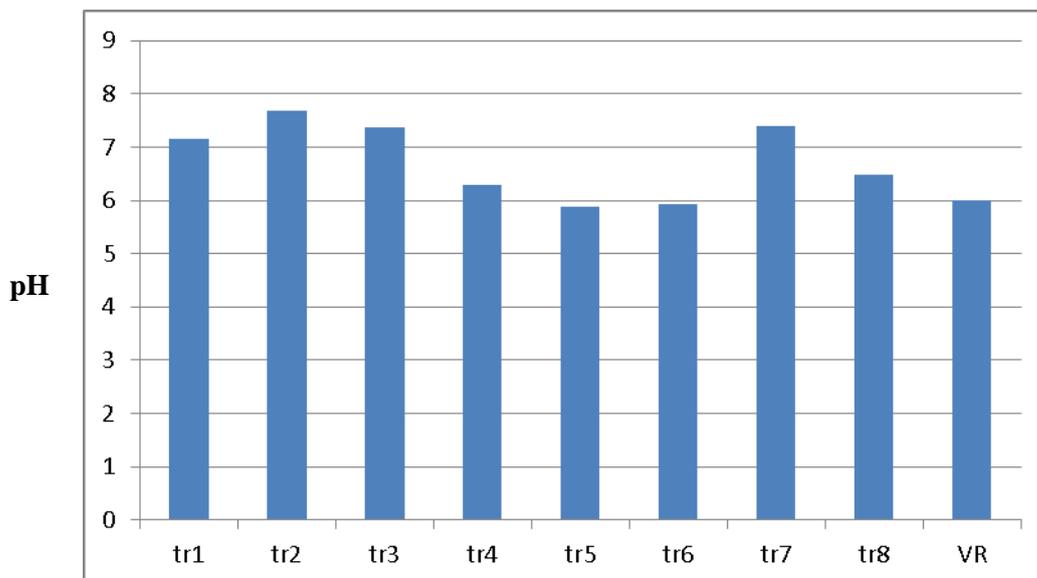


VR=Valor de referencia.

Figura 6. Comparación capacidad de retención de agua.

pH

Los datos que se obtuvieron de las mezclas nos permiten darnos una idea de la forma que se encuentra de manera individual y al combinarse. Según Abad el valor de referencia oscila entre 5.5-6, los tratamientos 5 y 6 son los más apegados al valor ideal, ambos contienen DAP el cual es un fertilizante de reacción ácida, lo que pudo haber contribuido a este resultado (Figura 7).

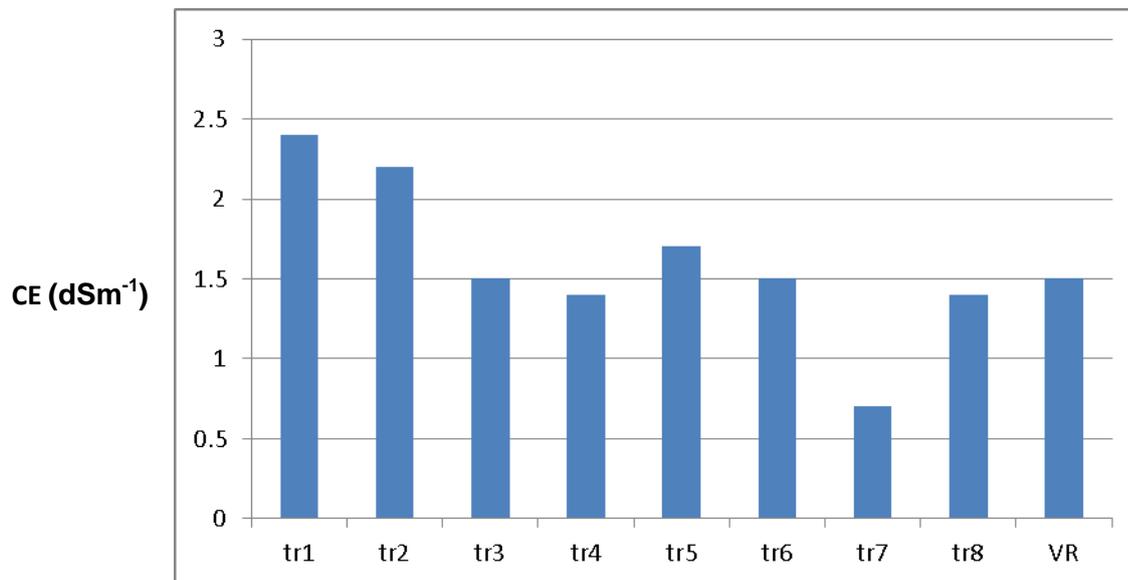


VR= Valor de referencia

Figura 7. Comparación de pH.

Conductividad eléctrica

El valor de referencia marca que debe ser $< 1.5 \text{ dS m}^{-1}$, en esta ocasión, la mezcla 7 (50% Framboyan + 50% Peat moss) fue el mejor ya que obtuvo un valor de 0.7 dS m^{-1} , que es menor a lo propuesto. Dentro de las mezclas que contienen biosólidos la que mejor valor presenta es la mezcla 3 ya que esta dentro del valor ideal. En el grupo de las mezclas con DAP la que mejor valor presenta es la mezcla 4 (Figura 8).



VR= Valor de referencia

Figura 8. Comparación de conductividad eléctrica.

Segunda Fase, Evaluación Agronómica

Altura de planta

Los tratamientos más destacados en esta variable fueron el 8 (testigo), el 3 y 6, siendo estadísticamente iguales entre ellos (Figura 9).

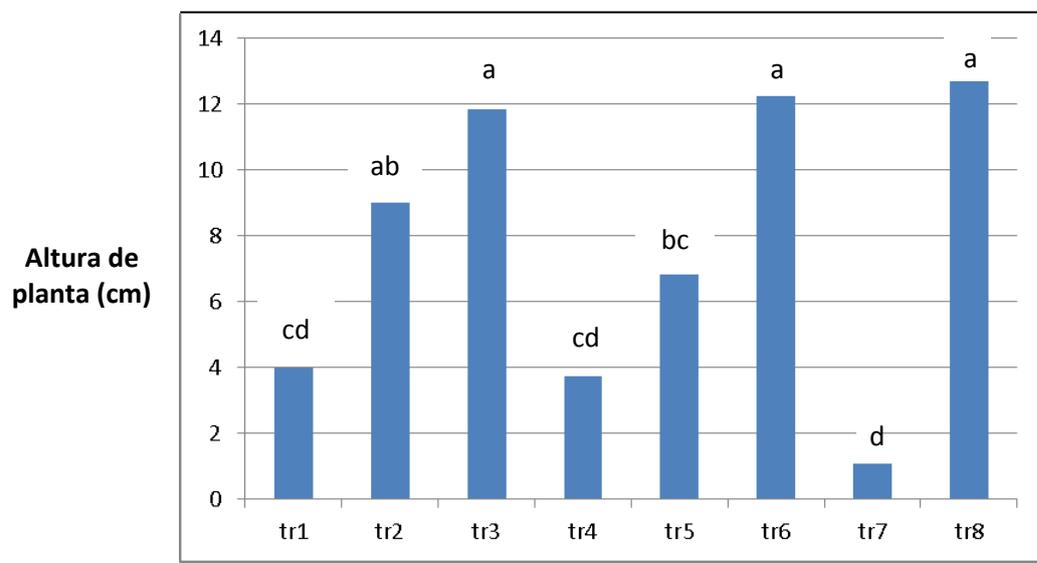


Figura 9. Altura de planta.

Área foliar

Los tratamientos que más sobresalen son el 3 y el 6, quienes presentan igualdad estadística con el tratamiento testigo (Figura 10).

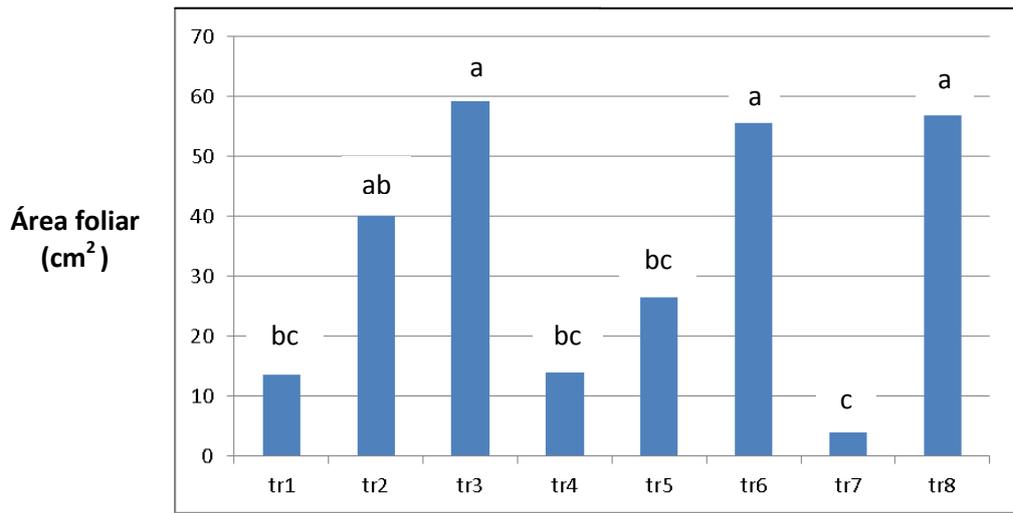


Figura 10. Área foliar.

Unidades SPAD

El tratamiento 6 logró obtener el valor más alto de unidades SPAD, seguido del tratamiento testigo. Esto evidencia que el complemento hecho a las plántulas a través de la aplicación del DAP permite mejorar la nutrición de las plántulas y que el peat moss de la mezcla retuvo los nutrientes los cuales pudieron haberse perdido en las otras mezclas que tienen menos de este material. Los tratamientos 1, 4 y 7 no fueron evaluados por no ser posible su medición debido a que el tamaño pequeño de la hoja no pudo ser introducida a la fotocelda del clorofilómetro.

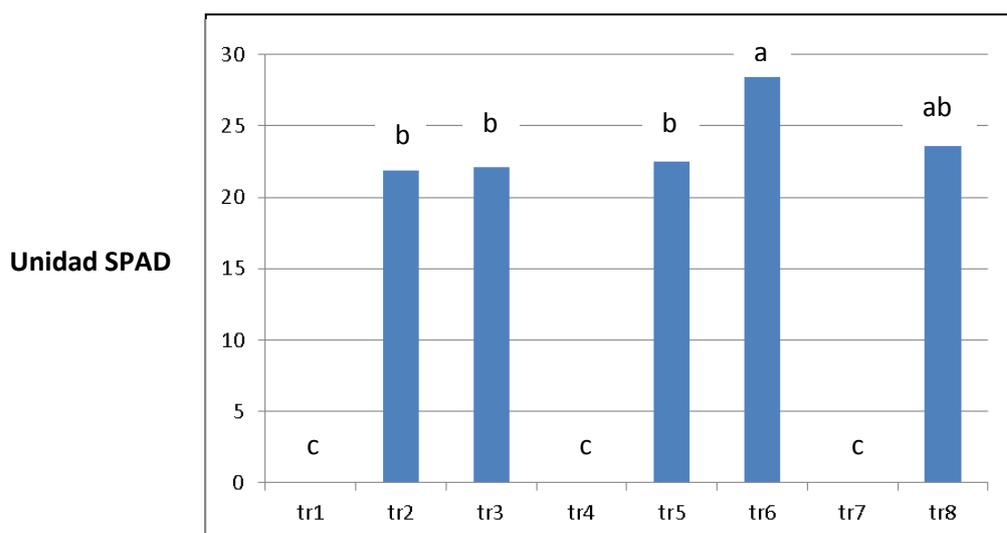


Figura 11. Unidad SPAD

Peso seco de raíz

Nuevamente el testigo obtiene niveles altos al igual que el tratamiento 3 mostrando igualdad estadística entre ellos.

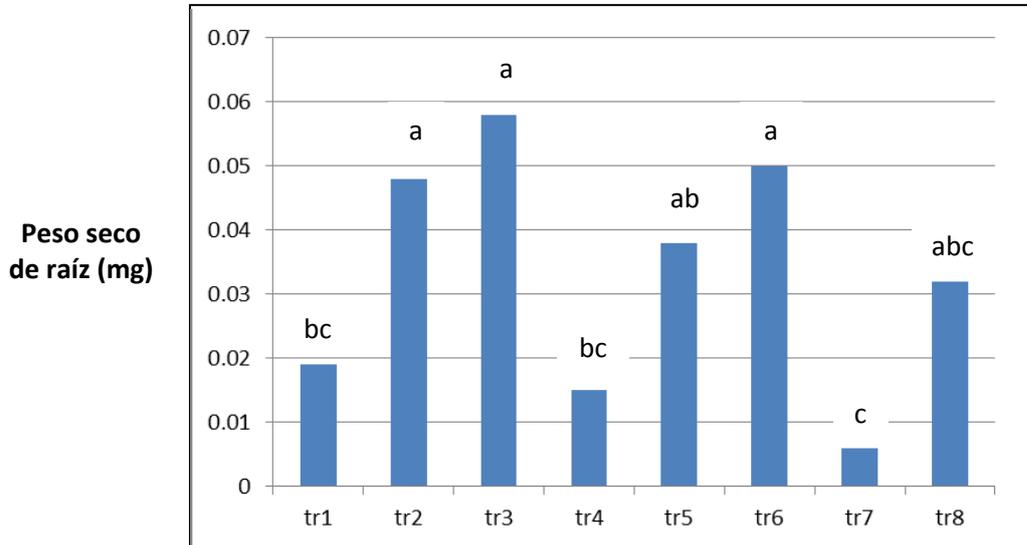


Figura 12. Peso seco raíz.

Peso seco parte aérea

En este parámetro sobresale ante los demás los tratamientos 2 y 3 de manera altamente significativo.

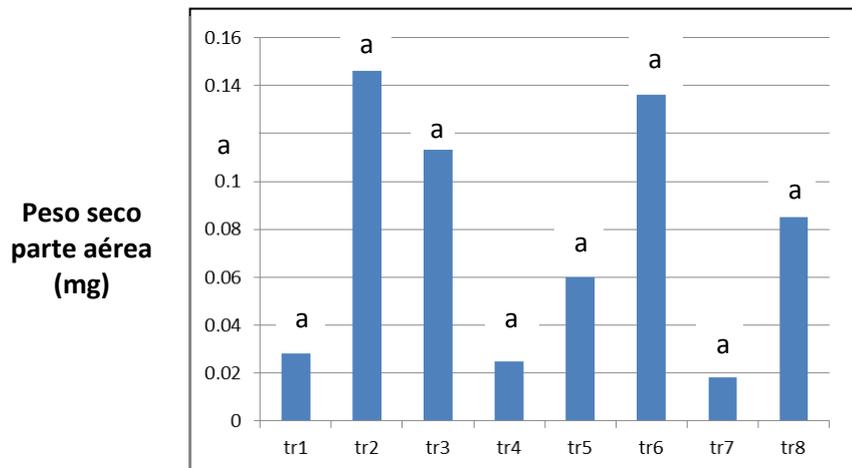


Figura 13. Peso seco parte aérea.

Peso seco total

Debido a la diferencia tan marcada entre el peat moss y las mezclas en el peso seco de la parte aérea, se dio como resultado una diferencia igual en el peso seco total, siendo el tratamiento 6 el que sobresalió.

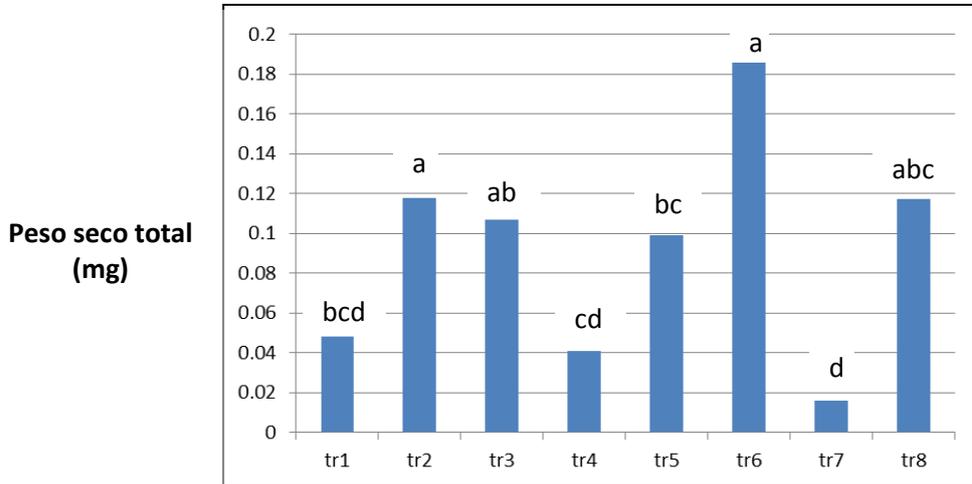


Figura 14. Peso seco total.

Relación peso seco

El tratamiento 6 nuevamente tiene diferencia significativa superando a los demás tratamientos.

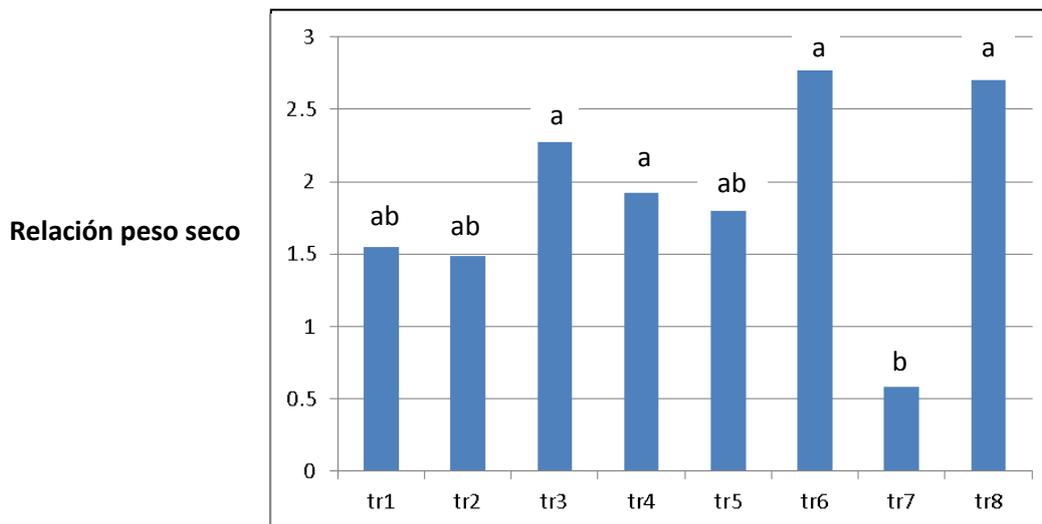


Figura 15. Relación peso seco.

DISCUSIÓN

En base al conjunto de resultados descritos, podemos mencionar que, entre los tratamientos con framboyán y complementados, los más destacados son el número 6 (25% framboyán + 75% mezcla del productor + 13 g de DAP por charola) y el 3 (25% framboyán + 75% mezcla del productor + 100 g de biosólido por charola), quienes igualaron al testigo en la evaluación agronómica, más no en la caracterización fisicoquímica. Ambos tienen en común los contenidos de framboyán (25%) y mezcla del productor (75 %). Los tratamientos con más de 25% de framboyán decrecen las tallas de las plántulas de lechuga significativamente. Esto se puede corroborar en lo observado en los tratamientos que contenían 50 y 75 % de framboyán, quienes lograron tallas demasiado pequeñas, aún cuando las propiedades fisicoquímicas fueron muy aceptables como en los tratamientos 7 y 5.

Este efecto fue observado en ensayos previos, que al ser analizados se encontró la presencia de niveles altos de taninos, quienes pueden ser la causa de intoxicación de las plántulas. Los cuales son considerados compuestos alelopáticos muy comunes junto con los ácidos fenólicos, terpenos y alcaloides. La alelopatía es la producción de un compuesto por una planta, que cuando es liberada al ambiente, tiene un impacto estimulante o inhibitorio sobre otros organismos (Gliessman, 2002). Es importante evaluar la manera de eliminar los taninos del framboyán debido a que este material presentó aceptables propiedades físicas. Entre las técnicas que se pueden aplicar para su eliminación se tienen desde el lavado con agua hasta el uso de solventes como el alcohol y acetona.

El hecho de que las plántulas de lechuga hayan podido crecer apropiadamente con un 25% de framboyán puede ser explicado a un efecto de dilución de los taninos o un efecto de adsorción de estos por las partículas de peat moss y perlita contenidos en la mezcla hecha por el productor.

Cabe resaltar que de acuerdo a los resultados obtenidos en los tratamientos 3 y 6, si bien no presentaron propiedades ideales de un sustrato, lograron un crecimiento de plántula de lechugas similar al testigo. Ambos tratamientos generan un ahorro de peat moss del 25% por el uso de framboyán, y en el caso del tratamiento 3, hasta de 36% debido al biosólido con el que fue complementada la mezcla.

CONCLUSIONES

En base a la caracterización fisicoquímica de las mezclas que consiste en: porosidad total, capacidad de aireación, capacidad de retención de agua, pH y conductividad eléctrica. Se concluye que el tratamiento 7 (50% framboyán + 50% peat moss) presentó los valores más adecuados a un sustrato ideal en: porosidad total, capacidad de aireación, capacidad de retención de agua y conductividad eléctrica.

El tratamiento 5 (50% Framboyán + 50% mezcla productor +13 g de DAP por charola) y 6 (25% Framboyán + 75% mezcla productor +13 g de DAP por charola), presentaron un valor de pH adecuado para un sustrato (6)

La mayoría de los sustratos alternativos estuvieron por debajo de 2 dS m^{-1} .

En cuanto a la evaluación agronómica, los tratamientos 3 (25% framboyán + 75% mezcla productor +100 g de biosólido por charola) y 6 (25% framboyán + 75% mezcla productor +13 g de DAP por charola), si bien no presentaron propiedades ideales de un sustrato, lograron un crecimiento en plántulas de lechuga (12cm) similar al testigo (13cm). Ambos tratamientos generan un ahorro de peat moss del 25% por el uso de framboyán, y en el caso del tratamiento 3, hasta de 36% debido al biosólido con el que fue complementada la mezcla.

LITERATURA CITADA

- Abad, M. y Noguera, P. 1997. Los Sustratos en los Cultivos sin Suelo. In: Manual de cultivo sin suelo. Ed. Universidad de Almería. pp. 101-150.
- Andrade M., Marcet P. 2000. Evolución de nutrientes y productividad en un suelo tratados con lodos residuales urbanos. Edafología. Volumen 7-3. Septiembre 2000. Pag 21-29.
- Bollan M. D and R. J. Gilkes. 1998. The relative effectiveness of super phosphate and rock phosphate for soils where vertical and lateral leaching of phosphate occurs. Nutrient cycling in agroecosystems, pp 139-153.
- Castaños M. C. 2000. Horticultura Manejo Simplificado, Universidad Autónoma de Chapingo. México, Páginas: 194-198.
- Castellanos, J. Z. 2003. Los Sustratos en la Producción Hortícola bajo Invernadero. In: Memorias en CD de cursos internacionales de producción de tomate en invernadero. Eds. INTAGRI, Cuernavaca, Morelos, México.
- Castellanos, J. Z. y P. Vargas. 2008. Los Sustratos en la Hortícola bajo Invernadero. In: Manual de Producción de Tomate en Invernadero. Editor Castellanos, J.Z. INTAGRI. Mexico. Pp.55-72.
- Chávez N. 2008. Desinfección de suelos y sustratos en la agricultura. . México, editorial Universidad Autónoma de Chapingo, pp 9-28.
- Diario Oficial de la Federación 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-052-EGOL-1993 Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

- Díaz S., F. R. 2006. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. Memorias de IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos, Diseños, Manejo y Producción. Torreón, Coahuila, México.
- FAO, 2008. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://fao.org/site/339.aspx>. fecha de consulta 04 de junio de 2013.
- Figuroa C. 2005. Producción de plántula de hortalizas en Invernadero. In: de Riego. Especial invernaderos. Pp 34-39
- Gliessman, S. R. 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, Costa rica. CATIE.
- INEGI, 1985. Síntesis geográfica del estado de San Luis Potosí. SPP. México.
- INEGI, 2000. Síntesis geográfica del estado de San Luis Potosí. SPP. México.
- INIFAP, 2002. Sustratos Alternativos para la Producción de *Pinus Ayacahuite* en Vivero. Ficha Tecnológica. Disponible en: <http://infoagro.net/shared/Tec>. Fecha de consulta 15 de mayo de 2013.
- Infoagro 2012. El cultivo de la lechuga. Disponible en; <http://www.infoagro.com/hortalizas/lechuga.htm>.
- Martinez de la Cerda, J. 2004 Efecto residual del lodo en trigo (*Triticum* spp. L) Revista Internacional de botánica experimental 237-242 53° Aniversario, Argentina.
- Marquez M, 2008. Sustratos Alternativos para Propagación. Universidad católica. Tesis Ingeniero Agronomo.

Hernández N. 2012. En busca del sustrato ideal.
<http://www.hortalizas.com/articulo/30762/en-busca-del-sustrato-ideal>

SIAP, 2007. Resumen Nacional de la Producción Agrícola. Lechuga.
In:<http://www.siap.gob.mx/index>. Fecha de consulta 28 de mayo 2013.

SIAP, 2009. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. www.SIAP.gob.mx/index. Fecha de consulta 28 de mayo de 2013.

Potisek, M. del C. 2006. Potencial de Uso de Biosolidos en un Suelo de Matorral Desértico, Folleto Técnico 6. INIFAP, Gómez Palacios Durango CENID-RASPA.

Robledo, V., Ramírez F., Hernández J., Domínguez A., Portos N. 2004. Comportamiento agronómico de plántulas de lechuga desarrolladas en micro túneles con cubiertas foto selectivas.
http://www.uaaan.mx/DirInv/Resul_PI04/MEMORIA_2004/HORTALIZAS/VRobledoTorres.doc

Vallejo F. y Estrada E. 2004, Manual de Fertilidad de Suelo. Universidad Nacional de Lajo. Area Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. P. 84.

Villa Issa Manuel R. 2008. ¿Qué hacemos con el campo Mexicano?, Editorial Mundi-prensa, México, pp. 121-124.

ANEXO

Anexo 1. Análisis de varianza del área foliar

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	7	10314.12305	1473.446167	16.7709	0
BLOQUES	2	150.287109	75.143555	0.8553	0.551
ERROR	14	1230.001953	87.857285		
TOTAL	23	11694.41211			

C.V.=27.83%

Anexo 2.- Análisis de varianza Relación Peso Seco

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	7	10.851555	1.550222	7.4896	0.001
BLOQUES	2	0.3759	0.18795	0.908	0.571
ERROR	14	2.897781	0.206984		
TOTAL	23	14.125237			

C.V=24.02%

Anexo 3.- Análisis de varianza Peso Seco Parte Aérea

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	7	0.062808	0.008973	3.3491	0.026
BLOQUES	2	0.004615	0.002307	0.8612	0.553
ERROR	14	0.037508	0.002679		
TOTAL	23	0.104931			

C.V= 66.24%

Anexo 4.- Análisis de varianza Peso Seco Total

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	7	0.08774	0.012534	17.5793	0
BLOQUES	2	0.000461	0.000231	0.3233	0.0733
ERROR	14	0.009982	0.000713		
TOTAL	23	0.098183			

C.V.=26.12%

Anexo 5.- Análisis de varianza Peso Seco Raíz

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	7	0.007316	0.001045	11.4883	0
BLOQUES	2	0.000058	0.00009	0.3203	0.735
ERROR	14	0.001274	0.000091		
TOTAL	23	0.008648			

C.V.=28.41%

Anexo 6.- Análisis de varianza Unidades SPAD

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	7	3261.086426	465.869476	138.1882	0
BLOQUES	2	5.36377	2.681885	0.7955	0.526
ERROR	14	47.197754	3.371268		
TOTAL	23	3313.647949			

C.V.= 12.36%

Anexo 7.- Análisis de varianza Altura de Planta

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	7	418.955811	59.85083	24.7774	0
BLOQUES	2	7.723999	3.862	1.5988	0.236
ERROR	14	33.81767	2.415545		
TOTAL	23	460.497437			

C.V.=20.19%

Anexo 8.- Fotos de framboyán



Árbol de framboyán (*Delonix regia*)

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Delonix_regia



Vaina de framboyán completa (a) y triturada para su uso como sustrato (b)



Vista comparativa del efecto de los ocho tratamientos en el crecimiento de las plántulas de lechuga