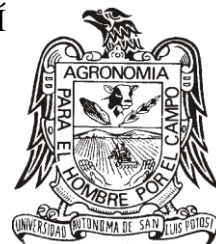




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA



CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE SUSTRATOS ALTERNATIVOS PARA
LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULA DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

Por:

Leidy Esmeralda Navidad Zúñiga

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



CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE SUSTRATOS ALTERNATIVOS PARA
LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULA DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

Por:

Leidy Esmeralda Navidad Zúñiga

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

Asesores

Dr. Federico Villarreal Guerrero

Dr. Pablo Delgado Sánchez

Dra. Paola Elizabeth Díaz Flores

El trabajo titulado “**Caracterización y Evaluación de Sustratos Alternativos para la Producción de Plántula de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.)**.” fue realizado por: **Leidy Esmeralda Navidad Zúñiga** como requisito parcial para obtener el título de “Ingeniero Agronomo Fitotecnista” y fue revisado y aprobado por el suscrito Comité de Tesis.

Dr. Federico Villarreal Guerrero

Asesor

Dr. Pablo Delgado Sánchez

Asesor

Dra. Paola Elizabeth Díaz Flores

Asesora

Ejido Palma de la Cruz, municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. a los cinco días del mes de Diciembre de 2013.

DEDICATORIA

Me he es muy grato llegar a este momento de mi vida, el poder dedicarle a las personas que amo la conclusión de un largo camino; el estudiar y ser una profesionista. A mis queridos y admirables padres MARINA Y JULIAN por su amor, sacrificio para mi superación, siempre creyeron en mí y me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes que hoy puedo ver alcanzada mi meta y sé el orgullo que sienten por mí, fue por eso que seguí hasta el final. Va por ustedes, ya que lo valen, y porque admiro su fortaleza.

A mis hermanos que son una base y unos pilares para mí, por darme la estabilidad emocional, apoyo y cariño para poder llegar hasta este logro, que definitivamente no hubiese podido ser realidad sin ustedes. En especial a mi hermano Jorge Luis por su apoyo incondicional y por qué siempre fomentó el deseo de superación.

A mi asesor de tesis Dr. Federico Villarreal Guerrero que sin conocerme como alumna confió y creyó en mí. Desde lo más profundo de mi corazón le agradezco el haberme brindado todo su apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo por su amistad.

Esta tesis es producto del esfuerzo y pasión por mi profesión.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la bendición concedida de la vida y por permitirme culminar una meta más.

Deseo agradecer el apoyo incondicional del Dr. Federico Villarreal Guerrero, quien depositó en mí la confianza y amistad, me asesoró con voluntad y paciencia desde el planteamiento del tema, hasta la concepción final del presente documento.

Al Dr. Pablo Delgado Sánchez por ser un ejemplo a seguir; por brindarme su confianza, sugerencias y conocimiento.

A la Dra. Paola Díaz Flores por su invaluable apoyo, por impartir su conocimiento y su gran dosis de paciencia en la realización de esta tesis.

A la M.C. Alejandra Hernández Montoya quien me apoyo y guió en el laboratorio de suelos, por su paciencia y gran disposición de compartirme sus conocimientos.

A la M.C. Lucila Sotomayor por su gran paciencia, apoyo brindado en mis resultados de tesis pero sobre todo, por brindarme su amistad.

Al Ing. Hugo Cuevas Sampayo, por su gran apoyo, consejos y conocimientos transmitidos durante y después de mi estancia profesional.

A los profesores de la carrera de ingeniero agrónomo Fitotecnista, por brindarme dedicación, esfuerzo así como sus amplios conocimientos y experiencias que me han servido como ejemplo a seguir.

A la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, y muy en particular a la Facultad de Agronomía y Veterinaria por influir en todas mis lecciones y experiencias, en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida.

CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
CONTENIDO	v
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
SUMMARY	x
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general.....	2
Objetivo específico	2
Hipótesis	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Agave	3
Caña de azúcar	4
Tezontle	5
Definición de sustrato	5
Propiedades físicas, químicas y biológicas.....	6
Cultivo del tomate	9
Sustratos Orgánicos para la Producción de Plántula	7
Semillero	11
MATERIALES Y MÉTODOS	12
Ubicación Geográfica del Área de Estudio	12
Materiales a Utilizar como Sustratos.....	12
Determinación de los Parámetros Físicos y Químicos de los Sustratos	12
Humedad	12
Granulometría	13
pH y conductividad eléctrica	13

Capacidad de intercambio catiónico	13
Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio	13
Evaluación de los Sustratos.....	14
Establecimiento del Semillero y Diseño Experimental.....	15
Fertilización Durante la Producción de las Plántulas	15
VARIABLES A ANALIZAR.....	15
Análisis Estadístico	16
RESULTADOS	17
Caracterización Física de los Sustratos.....	17
pH, Conductividad Eléctrica y Capacidad de Intercambio Catiónico.....	18
Concentración Nutricional de los Sustratos	18
Nitrógeno	18
Fósforo	19
Potasio	19
Germinación y Nutrición	19
Altura de la Plántula	21
Diámetro del Tallo	22
Número de Hojas.....	23
Peso Fresco y Seco del Follaje y Raíz	24
Altura de la Plántula en Bagazo de Agave y Caña.....	26
Número de Hojas en Bagazo de Agave y Caña	26
Diámetro del Tallo en Bagazo de Agave y Caña.....	27
Peso Fresco y Seco del Follaje y Raíz	28
CONCLUSIONES	31
LITERATURA CITADA	32

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Número de productores de caña de azúcar por entidad federativa en México	5
2	Características de los tratamientos	16
3	Determinación de humedad en los sustratos	17
4	Peso de partículas en gramos por número de malla del tamíz	17
5	Concentraciones totales de nitrógeno, fosforo y potasio	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Cantidad de semillas germinadas por día en una charola de 200 cavidades en los diferentes sustratos.....	20
2	Emergencia de plántulas en las combinaciones de los cuatro tratamientos....	21
3	Altura de plántulas de tomate en tres sustratos diferentes. Letras diferentes representan diferencias significativas de sus medias ($\alpha=0.05$)...	22
4	Diámetro de tallo de plántulas de tomate en tres sustratos diferentes. Letras diferentes representan diferencias significativas de sus medias ($\alpha=0.05$)	23
5	Número de hojas de plántulas de tomate en tres sustratos diferentes. Letras diferentes representan diferencias significativas de sus medias ($\alpha=0.05$)	24
6	Peso fresco de plántulas de tomate a los 35 días de edad, crecidas en diferentes sustratos. Letras diferentes representan diferencias significativas de sus medias ($\alpha=0.05$)	24
7	Peso seco de plántulas de tomate a los 35 días de edad, crecidas en diferentes sustratos. Letras diferentes representan diferencias significativas de sus medias ($\alpha=0.05$)	25
8	Altura de plántulas de tomate en las mezclas de sustratos. Letras diferentes representan diferencias significativas de sus medias ($\alpha=0.05$)....	26
9	Efectos de las combinaciones de sustratos en el número de hojas	27
10	Grosor del tallo de los dos sustratos alternativos en los cuales se observa que al evaluar el diámetro del tallo de las plántulas, no existieron interacciones entre los factores en estudio	28
11	Peso fresco del follaje (a) y de la raíz (b) de los diferentes tratamientos....	29
12	Peso seco del follaje (a) y de la raíz (b) de los diferentes tratamientos.....	30

RESUMEN

Una de las consideraciones más importantes a la hora de establecer un semillero es la selección adecuada del sustrato para que las semillas puedan germinar y las plántulas puedan desarrollarse y garantizar su establecimiento. Por esa razón el objetivo principal de este trabajo fue caracterizar y evaluar sustratos alternativos con mezclas de bagazo de caña y agave, los cuales cumplan con los requerimientos nutricionales y de confort que requieren las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Dos experimentos fueron establecidos, el primero consistió en evaluar cuatro sustratos: Peat moss, Tezontle, Bagazo de caña y Bagazo de agave. Se registró el porcentaje de germinación y a los 35 días después de la germinación el grosor de tallo, altura de planta, número de hojas, peso de follaje y peso de raíz. El sustrato comercial Peat moss fue el que mostró los más altos porcentajes de germinación y desarrollo de las plántulas. El segundo experimento consistió en mezclar los sustratos junto con el testigo en relación 100:00, 75:25, 50:50 y 25:75 cada uno para evaluar hasta qué punto se puede hacer un ahorro en la utilización del sustrato comercial sin afectar significativamente la producción de plántula. El diseño experimental consistió en un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Se encontró que las plántulas no desarrollaron todo su potencial; sin embargo, tuvieron algunas características agronómicas que las hacen interesantes para seguir investigando, una de ellas es la acumulación de biomasa.

SUMMARY

One of the most important considerations when a nursery is going to be established is the substrate selection, looking for the best conditions for seeds to germinate and the plants to grow to its maximum potential and guarantee the success of the process. For that, the main objective of this research was to characterize and evaluate alternative substrates made of “Bagazo de caña” and “agave” to accomplish the requirements on nutrition and comfort for a tomato crop (*Solanum lycopersicum* L.). Two experiments were conducted, the first consisted on the evaluation of four substrates: Peat moss, “Tezontle”, “Bagazo de caña”, and “Bagazo de agave”. The percentage of germination and stem diameter, plant height, number of leaves, shoot weight, and root weight at 35 days after the emergence. The substrate made of peat moss showed the highest germination percentages and plant development. The second experiment consisted on mixing the substrates with the treatment control in proportions of 100:00, 75:25, 50:50, and 25:75 to evaluate how much use of peat moss can be saved without significantly affecting seedling production. The experimental design consisted of blocks completely randomized with three repetitions. It was found that the seedlings did not develop all their potential compared to the control; however, they got some agronomic features that make them interesting for future research, one of them was the biomass production.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la agricultura se orienta al logro de altos rendimientos y calidad al menor costo, la necesidad de cumplir con una continuidad en oferta y calidad, ha llevado a que la producción de almácigos de hortalizas se desarrolle de tal forma que actualmente sea una especialidad por sí misma. De un buen almácigo depende todo el cultivo posterior, por lo que las aplicaciones tecnológicas y el conocimiento técnico en su elaboración son un requerimiento real (Guzmán, 2003).

Entre las ventajas del almácigo están la mayor precocidad y homogeneidad del cultivo, un manejo más eficiente de la semilla como insumo y la oportunidad de seleccionar las plantas más aptas para ser sembradas en campo o invernadero. No obstante, debido al alto costo de los sustratos importados, surge la necesidad de disponer de un material producido localmente, estable y de probada calidad e inocuidad, valiéndose para ello de subproductos de la agroindustria local. Esto además de ser un importante ahorro de divisas, evitaría los problemas de diseminación de plagas y enfermedades de una región a otra.

Hasta el día de hoy se utilizan grandes cantidades de sustratos vegetales naturales que; por lo general, son mezclas de diferentes productos que mejoran sus características, tanto físicas como químicas, con el fin de ofrecer a la planta las mejores condiciones para su desarrollo, tal es el caso de las turbas (peat moss) derivadas de la descomposición parcial de musgos del género *Sphagnum*, el cual es la base de los sustratos de más uso, y que se importa de Canadá (Rodríguez, 2007); sus características físicas, químicas y biológicas permiten una excelente germinación y crecimiento de las plántulas, pero su gran desventaja es el precio del material, aunado a que su explotación no es sostenible, esto ha comenzado a restringir su utilización. La creciente demanda por sustratos libres de residuos contaminantes obliga a la búsqueda de materiales alternativos que contribuyan a diversificar la base para el desarrollo de cultivos, tal es el caso del tezontle, bagazo de caña y agave, con su uso se pretende contribuir a la reducción del desperdicio a campo abierto.

Objetivo General

Evaluar sustratos alternativos para la producción de plántula de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

Objetivos específicos

Caracterizar física y químicamente los sustratos tezontle, bagazo de caña y agave.
Evaluar el efecto de los sustratos alternativos en la germinación y desarrollo de la plántula.

Evaluar el efecto de mezclas de los sustratos en la germinación y desarrollo de la plántula para minimizar el uso del sustrato comercial.

Hipótesis

El uso de sustratos alternativos como tezontle, bagazo de agave y bagazo de caña de azúcar pueden ser una opción viable y más económica para la producción de plántula de tomate.

REVISION DE LITERATURA

Agave

Planta que forma una gran roseta de hojas gruesas y carnosas, generalmente terminadas en una afilada aguja en el ápice, arregladas en espiral alrededor de un tallo corto, en cuyos bordes hay espinas marginales y una terminal en el ápice. El robusto tallo leñoso suele ser muy corto, por lo que las hojas aparentan surgir de la raíz (García, 2012).

Pertenece al género *Agave* de plantas suculentas, pertenecientes a una extensa familia botánica del mismo nombre: Agavaceae, conocidas con varios nombres comunes: agave, pita, maguey, cabuya y mezcal.

En cuanto a la superficie sembrada, en el país se alcanzan 168,400has sembradas. Esto se debe a que estados como Nayarit, Tamaulipas, Michoacán, Zacatecas y Guanajuato han aumentado considerablemente su superficie sembrada, aunque Jalisco sigue teniendo en promedio el 82.2% de dicha superficie (CRT, 2008).

Para la obtención de un litro de tequila se requiere en promedio de 4– 6kg de materia prima conocida como “piñas de agave”, a partir de esta se generan de 3– 4kg en base húmeda de un primer residuo denominado “bagazo de agave”, un material de aspecto fibroso con altos contenidos de humedad y azúcares. Según el Consejo Regulador del Tequila se procesaron $\sim 1,125 \times 10^6$ ton de agave, produciendo $\sim 312 \times 10^6$ L de tequila y generando cerca de 78×10^6 ton de bagazo en peso húmedo (CRT, 2008). Debido a las grandes cantidades de bagazo de agave producidas y su alto contenido de humedad (80%), y dado que el residuo está compuesto principalmente de celulosa y lignina (Aviña, 1999), su transporte, aprovechamiento y su confinamiento o tratamiento se dificultan (Soffchi, 1999).

Aunque existen estudios y propuestas que ofrecen alternativas para su uso, aún es necesario buscar nuevas opciones de aprovechamiento masivo, ya que el cultivo de agave tequilero es cada vez mayor. Entre las alternativas que presentan mejores posibilidades para su utilización se encuentra la biotransformación a partir de procesos de compostaje y vermicompostaje del bagazo. Esto favorece la disminución del volumen y humedad lo que facilita su transporte y permite la obtención de materiales con

características apropiadas para ser usados en enmiendas agrícolas como mejoradores de suelo, como sustrato para la producción de plántulas y como base o medio de crecimiento para el cultivo en viveros e invernaderos (Rodríguez *et al.*, 2001).

Caña de Azúcar

La industria azucarera en México es muy importante, requiriendo en los últimos diez años una superficie cultivada del orden de 650,000 ha año⁻¹, cuya producción alcanza en promedio los 48 millones de ton de caña de azúcar (PRONAC, 2012).

El cuadro 1 marca los principales productores de caña de azúcar en el país según la SAGARPA.

Cuadro 1. Número de productores de caña de azucar por entidad federativa en México.

ESTADO	RIEGO (%)	TEMPORAL (%)	TOTAL (%)
Veracruz	24.6	50.1	38.4
Jalisco	21.9	2.6	12.0
San Luis Potosí	4.3	9.2	6.9
Oaxaca	0.5	12.0	6.6
Tamaulipas	9.8	2.1	5.8
Chiapas	6.5	2.9	4.7
Sinaloa	9.0	0.0	4.3
Nayarit	1.9	6.6	4.4
Morelos	7.4	0.0	3.6
Tabasco	0.1	6.5	3.5
Subtotal	86.0	92.0	90.2
otros	14.0	8.0	9.8
TOTAL	100.0	100.0	100.0
NACIONAL			

Fuente: SAGARPA (2009).

Las distintas variedades de caña de azúcar que hoy se cultivan en el mundo son especies del género *Saccharum*, de la familia de las gramíneas (PRONAC, 2012). El jugo de su tallo es la principal fuente de azúcar. Una vez cosechada la caña, es sometida a un proceso de preparación que consiste en romper o desfibrar las celdas de los tallos por medio de picadoras. Luego unas bandas transportadoras la conducen a los molinos, donde se realiza el proceso de extracción de la sacarosa. La caña de azúcar suministra,

en primer lugar, sacarosa para azúcar blanca o morena. También tiene aproximadamente 40 kgton^{-1} de melaza (materia prima para la fabricación del ron) y se pueden sacar unos 250 kgton^{-1} de bagazo, que representa el 28 % del peso de la caña de azúcar. Hay otros aprovechamientos de mucha menor importancia como los compost agrícolas, vinazas, ceras, fibra absorbente, etc. (INFOAGRO, 2012).

Tezontle

Es un material considerado como inerte desde el punto de vista químico, cuyo extracto de saturación tiene un pH próximo a la neutralidad, su capacidad de intercambio catiónico es muy baja, buena aireación, retención de humedad que varía con el diámetro de las partículas, generalmente está libre de sustancias tóxicas y tiene buena estabilidad física (Bastida, 1999), además de su bajo costo de adquisición (Castellanos y Vargas-Tapia, 2003).

El tezontle en México, es un residuo volcánico procedente de la erupción de volcanes, y está constituido por silicatos de aluminio, formados por fragmentos de lava, con poros redondeados e irregulares de 2 a 50 mm que se forman al ser expelida la lava y enfriarse de golpe, constituyendo el manto piroclástico (Burés, 1997).

Los materiales volcánicos se pueden clasificar como sustratos naturales, porosos con capacidad de intercambio de iones, resistentes, de color rojo oscuro, el tezontle grueso y la arena de tezontle presentan una porosidad muy semejante, 54.86% y 55.63% respectivamente, y porosidad cerrada de 13%, además tiene una elevada capacidad de aireación 45 a 65% en volumen y presenta poca capacidad de retención de agua fácilmente disponible (Hartmann *et al.*, 2002).

Definición de Sustrato

El termino sustrato se aplica a todos los materiales sólidos distintos a los suelos naturales, minerales u orgánicos, que colocados en un contenedor, en forma pura o mezclada, permite el anclaje del sistema radical y el soporte de toda la planta (Cadahia, 2000).

Existen criterios para la selección de materiales usados como sustratos, que prevalecen hoy en día, 1) uniformidad en la granulometría, 2) factibilidad de mezcla, 3)

posibilidad de ser reciclado, 4) retención de humedad, 5) bajo costo, 6) resistencia al lavado de nutrientes, 7) aireación adecuada, 8) control del pH y 9) que contenga una adecuada cantidad de micro elementos (Martínez, citado por Gil *et al.*, 2000).

Existe una amplia variedad de materiales para emplearse como sustrato en producción de plántula. Su aprovechamiento y manejo requiere un buen conocimiento de las propiedades y características físicas y químicas de los mismos. A partir de ellos es posible saber el tipo de tratamiento que requiere cada material, las aplicaciones más apropiadas y las técnicas de manejo pertinentes para cada caso (Martínez y Cadahía citado por García, 2008).

Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas

Según Florián (1997), las propiedades físicas son las que describen el comportamiento del sustrato en relación con su porosidad, con las que se determinan las fracciones sólida, líquida y gaseosa del mismo que corresponde a las cantidades de aire y agua que estarán disponibles para la planta, que favorecerán la respiración radicular así como los demás procesos involucrados con ellas.

La porosidad es el volumen del medio que se encuentra libre de partículas sólidas, por tanto está ocupado por partículas líquidas y gaseosas en determinadas proporciones (Florian, 1997). Calderón y Cevallos (2001) reportan que los mejores resultados se han obtenido en sustratos que permiten la presencia de un 15 a 35% de aire y de 20 a 60% de agua en relación con el volumen total.

En un sustrato el espacio poroso se divide según el tamaño de los poros en macroporos (mayor a 200 μ m), mesoporos (200-30 μ m) y microporos (menor a 30 μ m). La circulación del agua gravitacional se da básicamente por los macroporos y en menor medida por los mesoporos (Calderón y Cevallos, 2001).

La reactividad química de un sustrato es definida por Barbado (2005) como la transferencia de material entre el sustrato y la solución nutritiva que alimenta las plantas a través de sus raíces.

El pH ejerce efecto sobre la forma en que la planta asimila los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica. La mayoría de nutrientes

mantienen su máximo nivel de asimilación apH de 5.0 - 6.5, siendo el nivel óptimo en el cultivo sin suelo de hortalizas de 5.5 y 6.8 (Urrestarazu, 2009).

Castellanos (2009) define la conductividad eléctrica como la concentración de sales que se encuentran en el sustrato. Según Burgueño (1996), los elementos minerales aportados mediante la fertilización se solubilizan en parte en el agua del suelo o sustrato, por tanto entre más elevada es la concentración de sales en una solución, la corriente eléctrica pasa más fácilmente, es decir la resistividad es mínima, por tanto si se mide la resistividad del extracto acuoso de un suelo o sustrato es posible conocer su conductividad eléctrica, la cual se puede expresar en dSm^{-1} .

Según Asorena (2000), las características biológicas de los sustratos provienen mayoritariamente de la presencia de materia orgánica. Todos los materiales orgánicos que no son de síntesis inestable y se puede degradar con el tiempo. La materia orgánica fresca en condiciones adecuadas se descompone dando como productos finales elementos minerales, ácidos fúlvico y húmicos. Las propiedades biológicas principales son la supresividad, actividad reguladora del crecimiento, actividad enzimática y micorrizas.

Sustratos Orgánicos para Producción de Plántula

En la actualidad existe la tendencia entre los consumidores por preferir alimentos libres de agroquímicos, inocuos y con alto valor nutricional, en especial los degustados en fresco. Una alternativa para la generación de este tipo de alimentos, es la producción orgánica, método agrícola en el que no se deben de utilizar agroquímicos (UE, 1991; IFOAM, 2003; USDA, 2004).

La creación de un sustrato, obtenido a partir de materias primas aprobadas por la normatividad orgánica, es una opción ya que la actividad agrícola e industrial genera abundantes residuos y subproductos, de naturaleza orgánica. Estos materiales pueden ser empleados en horticultura como sustratos de cultivo, resultando ser muy efectivos según Pudelski, citado por Nuez (2001) porque contribuyen a reducir el impacto ambiental que ocasiona muchos de estos materiales, además porque permiten el reciclado y la recuperación de la materia orgánica y elementos fertilizantes que se puedan encontrar en estos residuos.

Según Barbado (2005) los sustratos producidos a base de materiales orgánicos se clasifican de tres maneras según el origen de los materiales que lo conforman, estas son: de origen natural, se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica, por ejemplo las turbas; de síntesis, los cuales son polímeros orgánicos no biodegradables, obtenidos mediante síntesis química (espuma de poliuretano, poliestireno expandido, etc.) y subproductos o residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas.

En la actualidad se están haciendo más atractivos los materiales que ahora se consideran alternativos para ser incluidos en la dinámica productiva. Con esto se ha motivado a la búsqueda de otros sustratos entre los que destacan la composta y los residuos de molienda. Diversos materiales han demostrado ser eficientes en la producción de plántula. Sin embargo, la mezcla de materiales resultan ser complementarios en las propiedades deseadas para un buen sustrato.

Dentro de las alternativas que presentan mejores posibilidades para la utilización de estos sustratos está la preparación de estos a partir de los procesos de compostaje y vermicompostaje de bagazo de agave. Estos tienen como ventajas la disminución de volumen y humedad lo que facilita su transporte y permite la obtención de materiales con características apropiadas para ser usados en la agricultura como mejoradores de suelo y, sobre todo, como sustrato para la producción de plántulas y como base o medio de crecimiento para el cultivo en vivero e invernadero (Rodríguez *et al.*, 2001; Rodríguez *et al.*, 1999; Iniguez *et al.*, 2006).

Triana (1990) mencionó que el bagazo de caña de azúcar está constituido por cuatro fracciones: Fibra o bagazo (45 %), sólidos no solubles (2-3%), sólidos solubles (2-3 %) y agua (49 -51%). La parte conformada por fibra está compuesta de toda la fracción sólida orgánica, insoluble en agua, portadora de los elementos estructurales necesarios para la industria de pulpa y papel. Esta fracción está influenciada por las condiciones de procesamiento agrícola de la caña, tipo de corte y recolección, manejo del bagazo y almacenamiento. La distribución granulométrica del bagazo integral es muy variada, desde un fino polvo hasta partículas irregulares de gran tamaño, siendo reportado por Rutiaga *et al.*, (2002) hasta un 8% de partículas grandes retenidas, y de 10 a 25% de partículas pequeñas. Como se puede apreciar el bagazo no constituye un material

homogéneo y su peso volumétrico o densidad aparente es muy bajo, reportándose valores entre 50 kgm^{-3} hasta 96 kgm^{-3} en base seca y condiciones naturales; es decir, sin ningún grado de compactación (Rutiagaet *al.*, 2002).

Uno de los sustratos más utilizados para la producción de plántula en el ámbito mundial es la turba de musgo (peat moss); que se forma por descomposición parcial de la vegetación de zonas húmedas o pantanosas, en medios anaeróbios. Sus características físicas, químicas y biológicas permiten una excelente germinación y crecimiento de las plántulas. Los motivos por los cuales la turba es un componente interesante en los sustratos son los siguientes: aumenta la capacidad de retención de agua, porosidad, lo que mejora la aireación y drenaje; densidad aparente, facilitando el desarrollo radicular; el efecto amortiguador que permite amortiguar el pH y las sales solubles y mejora la disponibilidad de nutrientes en la planta (Linares, 2004).

Dada la gran diversidad y actividad agrícola de México, se cuenta con una fuente importante de subproductos como lo son la fibra de coco, es ya utilizado en la formación de sustratos comerciales; el cacao, se utiliza como mejorador de suelo en las zonas de producción de este cultivo. Peralta (2002) demostró que el subproducto de cacao funcionó como un excelente sustituto de peat moss en la producción de plántulas. Otros materiales orgánicos utilizados como sustratos para almacigo han sido la cascarilla de arroz que es un subproducto de la industria arrocera, la cual se puede utilizar directamente o compostado una vez que se ha extraído la semilla del cereal.

Su densidad aparente es de las más bajas (0.1 gcc^{-1}) mientras que tiene una porosidad total muy alta (92.6%), siendo su inconveniente la nula capacidad de retención de agua por lo que su uso debe de ser como aditivo de otro material.

Cultivo del Tomate

El tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento y en menor proporción al aumento de la superficie cultivada (FAOSTAT, 2008).

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza más importante en muchos países del mundo. Su cultivo está difundido en todos los continentes y en muchos casos representa una de las principales fuentes de vitaminas y minerales para las personas (Nuez, 1995). Favorecida por la entrada de invernaderos, las variedades e híbridos de alto rendimiento, a partir de 1980 a 2001 han permitido un incremento en la producción del 47.1% al pasar de 1,320,628 a 1,943,052 ton año⁻¹ en el mismo periodo. Las exportaciones incrementaron 102.8% al pasar de 380,365 a 771,508 ton (Ávila, 2004).

Durante 2008, se produjeron en todo México 2.26 millones de toneladas de jitomate, siendo el principal productor el estado de Sinaloa, cuya producción representó el 35% del total nacional, monto 3.8 veces mayor al producido por el segundo lugar, Baja California, con 9%. Siguen en la lista los estados de Michoacán, San Luis Potosí y Jalisco con 8%, 6% y 5%, respectivamente. Regionalmente, a todo lo largo del territorio nacional se distribuye la producción de jitomate, sin embargo, la zona productora de mayor importancia es la noroeste, se produce jitomate durante todo el año (SIAP, 2010).

Su clasificación según Spooner *et al.*(2005) es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida (Dicotiledónea)

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *lycopersicum*

Nombre: *Solanum lycopersicum*

En cuanto a su fenología, el tomate cuenta con varias etapas de desarrollo en su ciclo de crecimiento: Establecimiento de la planta joven, crecimiento vegetativo, floración, desarrollo de la fruta y maduración.

Cada etapa es diferente con respecto a sus necesidades nutritivas. En virtud de esto, se analizan las etapas fenológicas del tomate cultivado al aire libre. La información es

solamente indicativa, ya que el tiempo dependerá de la variedad, condiciones medio ambientales y manejo del cultivo (Nuez, 1999).

La fase inicial comienza con la germinación de la semilla, a partir del primero hasta los 21 días. Se caracteriza por el rápido aumento de materia seca, la planta invierte su energía en la síntesis de nuevos tejidos de absorción y fotosíntesis.

La fase vegetativa es la continuación de la fase inicial, pero el aumento de materia seca es más lento, esta etapa termina con la floración, dura entre 22 a 40 días. Requiere de mayores cantidades de nutrientes para satisfacer las necesidades de las hojas y ramas en crecimiento y expansión. La planta florece entre 51- 80 días, desde la fase inicial.

La fase reproductiva se inicia a partir de la fructificación, dura entre 30 o 40 días, se caracteriza porque el crecimiento de la planta se detiene y los frutos extraen los nutrientes necesarios para su crecimiento y maduración (Bolaños, 2001).

Semillero

El semillero es aquel sitio donde se siembran las semillas y crecen las plántulas que después han de trasplantarse. Aquí los cuidados son importantes ya que de ello depende la calidad y uniformidad del material reproducido. Un buen sustrato es la base para la germinación de las semillas, esta ha de aportar los nutrientes necesarios para el desarrollo sano y vigoroso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación Geográfica del Área de Estudio

El presente trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de suelos así como en el invernadero de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), ubicada en el ejido “Palma de la Cruz”, municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P., en el km 14.5 de la Carretera San Luis-Matehuala, México. Se localiza en las coordenadas geográficas a 22° 14' LN y 100° 51' LO, a 1835 msnm. El clima es seco frío, con una temperatura media anual de 17.8°C y una precipitación media anual de 271mm.

El lugar donde se trabajo fue en un invernadero multicapilla con paredes de cristal, sus medidas aproximadas son 5 m de ancho por 7 m de largo el cual esta ubicado en el área de horticultura.

Materiales a Utilizar como Sustratos

Bagazo de agave (BA). Muestras obtenidas de la destiladora ubicada en Santa Teresa, municipio de Aqualulco, S.L.P.

Bagazo de caña (BC). Muestras obtenidas del ingenio Alianza Popular, Tamasopo, S.L.P.

Tezontle (T). Muestras obtenidas de la cantera ubicada en el mucipio de Villa de Hidalgo, S.L.P.

Peat Moss (PM, testigo) (*Turbas phagnum*). Muestra comercial “Sunshine #3”, Canadá.

Determinación de Parámetros Físicos y Químicos de los Sustratos

Humedad

Se secaron crisoles en una estufa a una temperatura de 110°C hasta que se estabilizó el peso. Posteriormente, se colocó una muestra de 3g de cada uno de los sustratos alternativos en los crisoles por 72h, a 110°C para después pesar la muestra en una báscula analítica. La humedad del sustrato se calculó por la diferencia de peso entre una

misma muestra húmeda, y después de haberse secado en la estufa hasta obtener un peso constante.

% Humedad del sustrato= (Peso inicial – Peso final)/ Peso inicial * 100.

Granulometría

Se pesaron 50g de las cuatro muestras de cada material, para después colocar en una estufa a 110°C por 72h y posteriormente cribar utilizando un juego de tamices del número 100, 60, 20 y 10. Se pesó lo obtenido por el paso de cada criba y se sacó el porcentaje de tamaño de partícula con la finalidad de igualar la granulometría al testigo.

pH y conductividad eléctrica

Se determinó el extracto de saturación utilizando el sensor de pH en tres repeticiones de cada muestra. La conductividad eléctrica se midió por medio de un conductímetro. Los resultados se expresarán en dSm^{-1} .

Capacidad de intercambio catiónico

Para esta determinación se empleó acetato de amonio. El método consistió en la saturación de la superficie de intercambio con un catión índice, el ión amonio; lavado del exceso del saturante con alcohol; desplazamiento del catión índice con potasio y determinación del amonio mediante destilación.

Contenido de fósforo, nitrógeno y potasio

Para la medición del fósforo (P) soluble se utilizó el método de Bray (Bray y Kurtz, 1945 citado por Fernández, 2006), el cual fue modificado en la parte de extracción del P. La cuantificación se llevó a cabo por colorimetría. Este método se emplea como índice del P aprovechable en el sustrato con pH neutro y ácido. Se basa en la extracción de las formas de fósforo fácilmente solubles, principalmente fosfatos de calcio y una fracción de los fosfatos de aluminio y hierro, con la combinación de ácido clorhídrico y fluoruro de amonio. El fluoruro de amonio disuelve los fosfatos debido a la formación de un ión complejo con estos compuestos, cuando se encuentran en solución ácida.

La determinación de nitrógeno total se realizó con el método Micro- Kjeldahl (Modificado por Bremner, 1965; citado por Fernández, 2006), el cual comprendió tres fases fundamentales:

1) Digestión de la muestra. La muestra de suelo se sometió a una digestión por calentamiento con ácido sulfúrico y por una mezcla de sales que aceleran y facilitan tanto la oxidación de la materia orgánica como la conversión de todas las formas de nitrógeno en N^{+3} , que en medio ácido se encuentran en forma de radical amonio (NH_4^+); es decir, se llevan las formas orgánicas a formas minerales de nitrógeno.

2) Destilación. Una vez transformado el nitrógeno en NH_4^+ , se expuso a una base fuerte como el hidróxido de sodio para formar hidróxido de amonio, que por la acción del calor se descompuso en amoníaco (NH_3) y agua.

3) Valoración. El amoníaco desprendido por la reacción se recogió en un volumen conocido de solución valorada de ácido bórico y por comparación con un blanco se determinó la cantidad de ácido que reaccionó con el NH_3 .

La concentración de macro y micro nutriente así como ácidos fenólicos totales y características biológicas se hicieron por espectrometría de masas por plasma de acoplamiento inductivo (ICP) en un laboratorio especializado para su caracterización.

La determinación de potasio fue por flamometría la cual se basa en el hecho de que los átomos de un metal en fase de vapor absorben fuerte y discretamente longitudes de onda características, que coinciden con las líneas espectrales que ellos mismos emiten. La medida de esta absorbancia está ligada a la concentración de dicho metal en una muestra, y por lo tanto nos da datos cuantitativos sobre su presencia en la misma.

Se preparó una dilución de la muestra, pipeteando 20 mL de muestra y pasándola a un matraz volumétrico de 25 ml, después se agregó 1.0 ml de solución tensoactiva y se aforó con agua destilada. Después de esto, se procedió a encender el flamómetro, siguiendo el manual de operación del mismo y se calibró. Posteriormente, se tomaron las lecturas de la muestra para sacar los resultados.

Evaluación de los Sustratos

Los tratamientos utilizados para la evaluación de sustratos alternativos en la producción de plántulas de tomate se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Características de los tratamientos.

TRATAMIENTO	MATERIAL	% VOLUMEN
1	Peatmoss (testigo)	100
2	Bagazo de agave	100
3	Bagazo de caña	100
4	Tezontle	100

Establecimiento de Semillero y Diseño Experimental

La mezcla de material se preparó manualmente y se depositó en bandejas de plástico de 200 cavidades; en cuyos alveolos se depositó la semilla de tomate, a una profundidad de 5mm, para después realizar el primer riego y guardar las bandejas en el invernadero. El diseño que se utilizó fue el de bloques completamente al azar tomando cinco muestras en las tres repeticiones.

Fertilización Durante la Producción de las Plántulas

La fertilización del experimento se hizo con “magic root”, el cual es un fertilizante arrancador que provee de nutrientes y estimula el crecimiento de las raíces de las plántulas en almacigo. Para aplicarlo se mezcló con el agua de riego. Este fertilizante contiene auxinas promotoras del crecimiento de raíces, ácidos fúlvicos y una alta proporción de Fósforo, elementos que interactúan dando como resultado un desarrollo inicial vigoroso. La composición de este fertilizante es: nitrógeno elemental 12%, nitrógeno amoniacal 12%, fósforo asimilable 60%, auxinas 0.29% y 2% de ácidos fúlvicos.

En la fase de almacigo se aplicó en el agua de riego 0.5g L^{-1} de agua dos días según lo recomendado por el fabricante.

Variables a Analizar

Germinación de la semilla, altura de plántula (AP) expresada en cm y medida desde la base hasta el extremo apical de la hoja, número de hojas (NH), grosor de tallo (GT) expresado en mm de diámetro de tallo a la base de la plántula, peso fresco de la parte

aérea (PFA) expresada en gramos de la parte foliar completa y peso de fresco de la raíz (PFR) expresado en gramos de la parte radicular. Los datos fueron tomados después de 35 días, que es el tiempo que regularmente se dejan estas plántulas antes de ser trasplantadas.

Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza entre las variables para ver si alguno de los tratamientos presentaba diferencia significativa. En los casos en donde existieron diferencias significativas, se realizó una separación de medias mediante el procedimiento de Tukey ($\alpha=0.05$).

RESULTADOS

Caracterización Física de los Sustratos

La importancia del contenido de agua que presenta un sustrato representa, junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este.

El cuadro 3 muestra los resultados obtenidos de las determinaciones de humedad de los sustratos. Como se puede observar, el sustrato a base de Peat Moss es el que contaba con el mayor porcentaje de humedad, seguido por el bagazo de agave y el bagazo de caña. El sustrato con el menor porcentaje de humedad resultó ser el de Tezontle.

Cuadro 3. Determinación de humedad en sustrato.

Sustrato	Humedad(%)
B. caña	59.5
B. agave	62
Tezontle	38.3
Peat-Moss	62.6

El cuadro 4 muestra la relación de los diferentes tamaños de partículas, obtenidas en la prueba granulométrica realizada a los sustratos, tal y como se utilizó en semillero y su comparación con el peat moss (testigo). Se observó que el el bagazo de caña tiene más similitud al testigo y el más diferente fue el tezontle debido a que es de origen mineral.

Cuadro 4. Peso de partículas en gramos por número de malla del tamiz.

Sustrato	Malla	Malla	Malla	Malla
	2,00 mm	0,850 mm	0,250 mm	0,150 mm
B. caña	12.0452	20.1514	2.6023	0.1996
B. agave	11.6906	18.2514	6.0603	2.0167
Tezontle	10.9906	12.0514	8.5003	5.6967
Testigo	11.822	18.7025	3.6692	0.2233

pH, Conductividad Eléctrica y Capacidad de Intercambio Catiónico

Los valores de pH obtenidos en el extracto de pasta saturada de los sustratos no estaban en los niveles óptimos recomendados por Abad *et al.* (2002), siendo este rango de 5.2 a 6.3. Los valores determinados para los sustratos sujetos de este estudio se muestran en el cuadro 5.

La conductividad eléctrica es una medida de la concentración de nutrientes. Los valores de conductividad eléctrica obtenidos en este estudio resultaron en rangos óptimos de los valores recomendados para sustratos (menos a 5 dsm^{-1}) según Asorena (1994), con la excepción de tezontle que rebasó por mucho estos rangos, probablemente porque no es de origen vegetal y se encuentra en contacto con otro tipo de residuos minerales.

Cuadro 5. Concentraciones totales de nitrógeno, fósforo y potasio.

SUSTRATO	pH	C.E ds/m	N ppm	P ppm	K ppm
B. Agave	4.84±0.005	2.72± 0.015	10	47.5	4434.5
B. Caña	5.18± 0.01	0.782± 0.015	4	87	1555.5
Tezontle	7.37±0.005	2300± 0.015	-	19	-
Testigo	6.34±0.05	1.334±0	12.5	80	949.5

El amonio se empleó como catión índice debido a su fácil determinación, poca presencia en los sustratos y porque no precipita al entrar en contacto con el sustrato. La concentración normal que se utilizó aseguró una completa saturación de la superficie de intercambio, y como ésta se amortiguó a pH 7.0, se logró mantener un valor constante de pH. El lavado con alcohol pretendió desplazar el exceso de saturante y minimizar la pérdida del amonio absorbido.

Concentración Nutricional de los Sustratos

Nitrógeno

La concentración de Nitrógeno (N) presentó el valor más alto en el sustrato a base de bagazo de agave, con 10ppm, siendo este diferente a los demás tratamientos.

Fósforo

Según se aprecia en el cuadro 4 las más altas concentraciones de fósforo (P) se encuentran en bagazo de caña (87 ppm), presentándose en menores concentraciones en los demás sustratos. Son evidentes las diferencias de criterio entre autores sobre los valores óptimos de P en los sustratos orgánicos; mientras Ansorena (1994) y Warncke (1986) proponen como adecuado el valor de 10ppm, Sungro (1997) lo establece en 60ppm.

Tomando como referencia lo propuesto por los autores mencionados anteriormente, todos los sustratos analizados se ubican por arriba del valor óptimo. Sin embargo, si se toma como referencia al segundo criterio, los sustratos que estarían fuera de dicho intervalo sería el bagazo de caña junto con el testigo.

Potasio

En relación con el potasio (K), el tratamiento con mayor concentración fue el sustrato a base de bagazo de agave (4434.5 ppm). En general los valores de K son altos debido a las altas cantidades, que en forma natural, absorben y translocan los cultivos, y que permanecen en los tejidos vegetales (Duran y Henríquez, 2007). Al respecto, Ansorena (1994) y Warncke (1986) proponen valores óptimos de 150-249 y 250-349 ppm, respectivamente, mientras que Sungro (1997) establece como deseable el intervalo de 40 a 360 ppm.

Germinacióny Nutrición

Los sustratos constituyen el factor más importante a la hora de planear un semillero, ya que estos pueden ser determinantes para alcanzar los objetivos propuestos. Un aspecto estrechamente ligado al sustrato es la germinación de la semilla pues si este no le ofrece condiciones óptimas para que la semilla germine, ésta no lo hará.

Otro factor importante es el desarrollo de la plántula en una etapa posterior a la germinación, ya que un sustrato con características apropiadas tiene el potencial de producir una plántula de buena calidad en menor tiempo.

En la figura 1 se muestra el comportamiento de germinación de las plantas en los diferentes tratamientos durante su estancia en invernadero. Las semillas tardaron entre 4

y 6 días en emerger en bagazo de caña y el testigo. Existieron algunos problemas de germinación y emergencia en bagazo de agave, los cuales pudieran deberse a las propiedades fisicoquímicas del sustrato y a las altas temperaturas promedio registradas en el invernadero.

La radiación y la humedad relativa, a lo largo del experimento, mostraron valores promedio normales que no afectaron el desarrollo de los almácigos.

Para disminuir el efecto de las altas temperaturas, el manejo del riego es crítico en los almácigos; ante tales temperaturas la demanda hídrica fue muy alta, máximo conforme la planta aumentó su biomasa. El sustrato que incluía bagazo de agave, presentó mayores problemas de manejo de humedad debido a su menor capacidad de retención de agua.

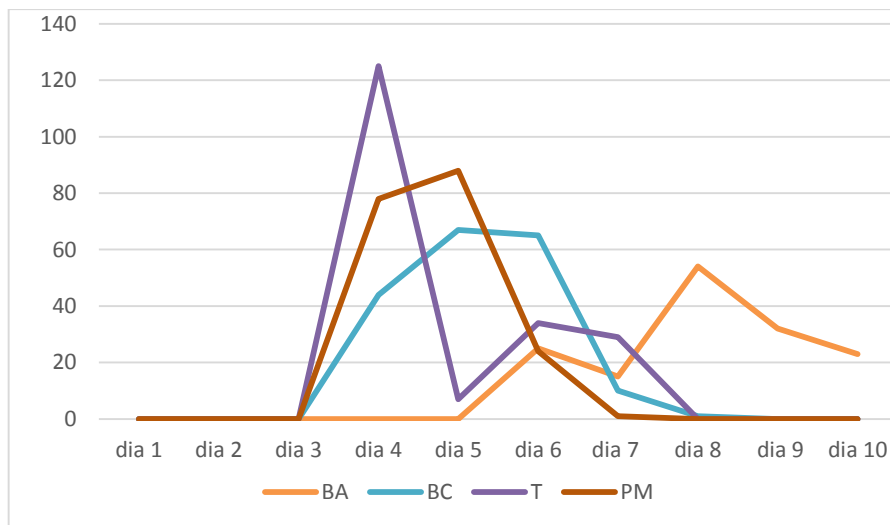


Figura 1. Cantidad de semillas germinadas por día en una charola de 200 cavidades en los diferentes sustratos.

Se encontró que el bagazo de agave tiene menos porcentaje de germinación en comparación con el testigo; sin embargo, el tratamiento de bagazo de caña presentó una germinación adecuada en comparación con el testigo.

En las secciones siguientes de este documento, se omiten el análisis y la discusión acerca de el tezontle debido que las plántulas a los siete días después de la emergencia se murieron. Por lo tanto, no hubo forma de evaluar los parámetros establecidos en las plantas crecidas en este sustrato.

En la siguiente sección se analizan las respuestas morfológicas de plantas de tomate a la utilización de diferentes sustratos durante la germinación y desarrollo de plántula.

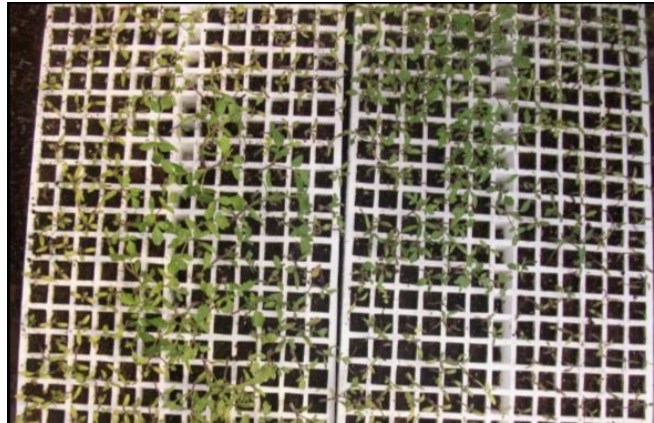


Figura 2. Emergencia de plántulas en las combinaciones de tres tratamientos.

Altura de Plántula

La altura de las plántulas en la fase de semillero es uno de los parámetros de crecimiento que tienen mayor valor para determinar su aptitud para el transplante. Los almácigos son dependientes del aporte de agua, nutrimentos, energía y aire que en un medio o sustrato pueda aportarse. Estas condiciones a su vez están ligadas con factores físicos y químicos como el pH, contenido nutricional, agua consumida y temperaturas entre otros (Singh, 1998).

Respecto al crecimiento, la información de las variables de estudio obtenidas a los 35 días después de la emergencia (dde) muestran diferencias significativas. Las plántulas con mayor altura se obtuvieron en el testigo ($18 \pm 0.061m$), seguidas en crecimiento por el bagazo de agave. Este hecho sugiere que dichos sustratos poseen pocos nutrientes que no son suficientes para favorecer el crecimiento y desarrollo de las plántulas, o que existen compuestos en estos sustratos, donde el crecimiento de las plántulas no fue tan bueno, que pudieran estar afectando negativamente el crecimiento.

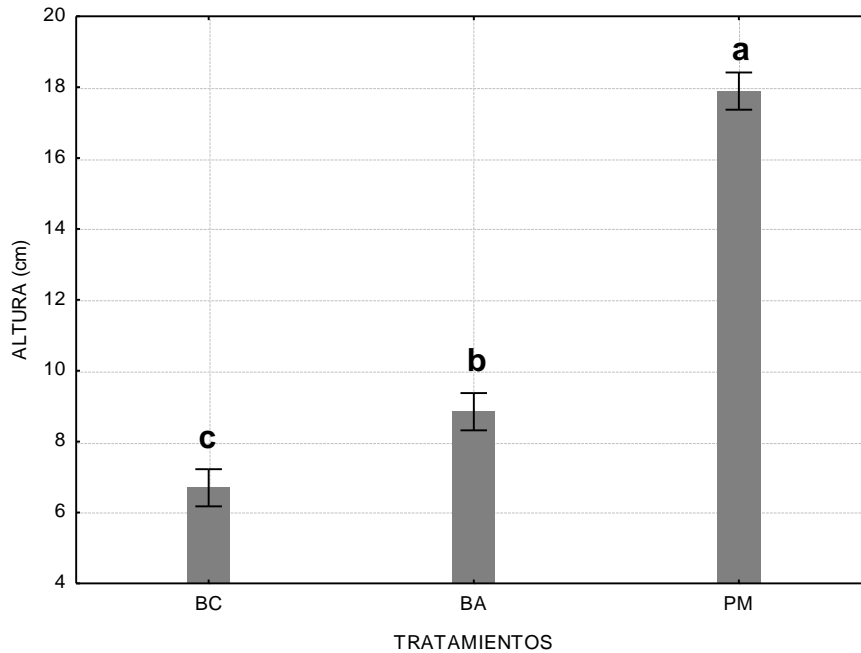


Figura 3. Altura de plántulas de tomate en tres sustratos diferentes. Letras diferentes representan diferencias significativas de sus medias ($\alpha=0.05$).

Diámetro de Tallo

El tallo es el soporte de la planta y el sistema distribuidor principal de agua y nutrientes, de ahí que es importante que se encuentre en las mejores condiciones posibles. El diámetro del tallo influye de manera significativa en el rendimiento (Leperenet *al.*, 2003). En la figura 4 se presentan los resultados obtenidos en la medida de esta variable. Nuevamente el testigo sobresalió alcanzando medidas mayores a 1.0mm. El bagazo de caña y bagazo de agave registraron un comportamiento similar, por lo que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre ellos. En estos tratamientos las plántulas tuvieron un desarrollo limitado debido a la poca exploración que las raíces hicieron del medio.

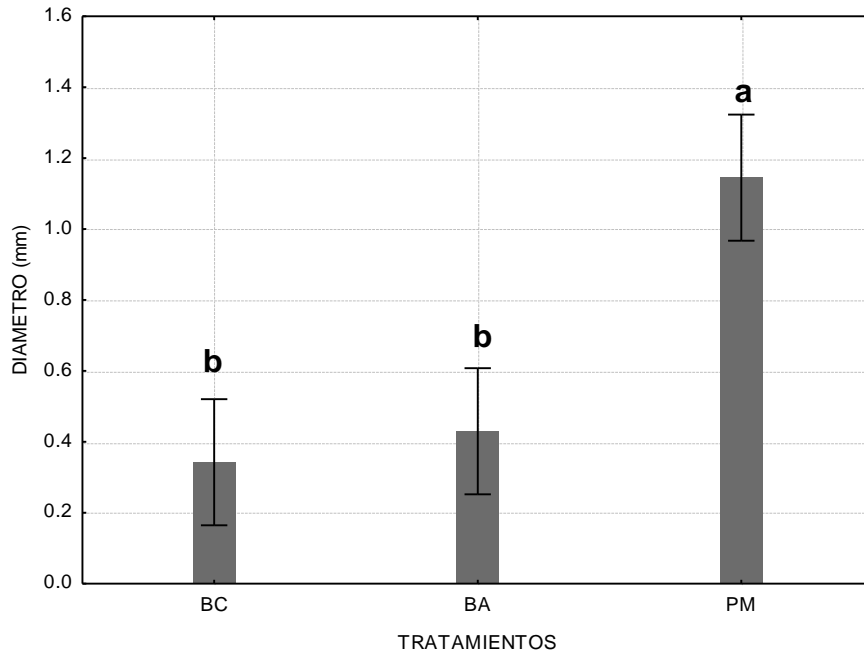


Figura 4. Diámetro de tallo de plántulas de tomate en tres sustratos diferentes. Letras diferentes representan diferencias significativas de sus medias ($\alpha=0.05$).

Número de Hojas

El número y largo de hojas es un parámetro importante del desarrollo morfológico del cultivo, en la aparición de las hojas verdaderas está el marcador fenológico de la planta de tomate.

En la figura 5 se muestra el número de hojas que produjeron en los 35 días de que las plántulas estuvieron en el semillero. Se observaron diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento bagazo de caña logró mayor número de hojas diferenciándose estadísticamente del bagazo de agave.

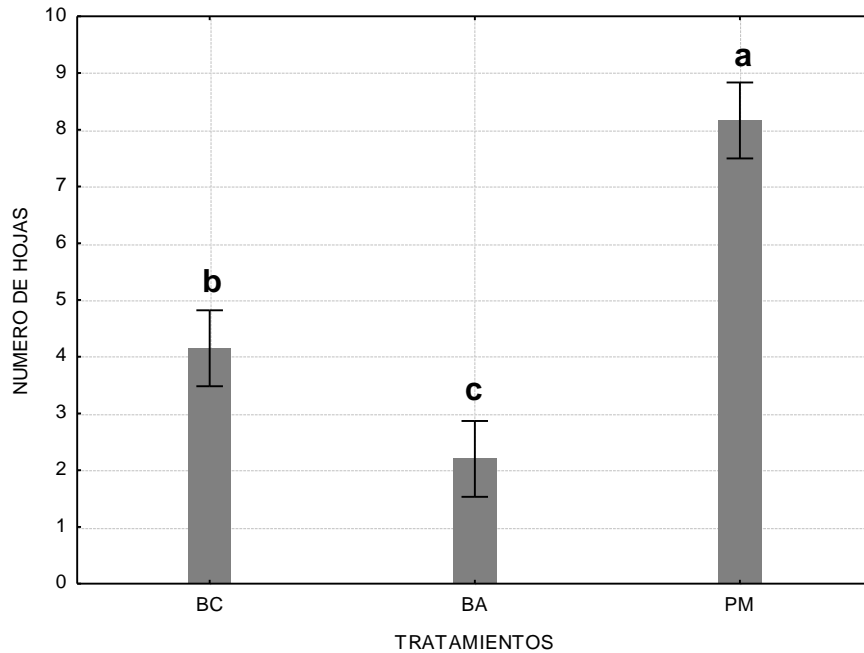


Figura 5. Número de hojas de plántulas de tomate en tres sustratos diferentes. Letras diferentes representan diferencias significativas de sus medias ($\alpha=0.05$).

Peso Fresco y Seco de Follaje y Raíz

Los valores de peso fresco en los sustratos evaluados se presentan en la figura 7.

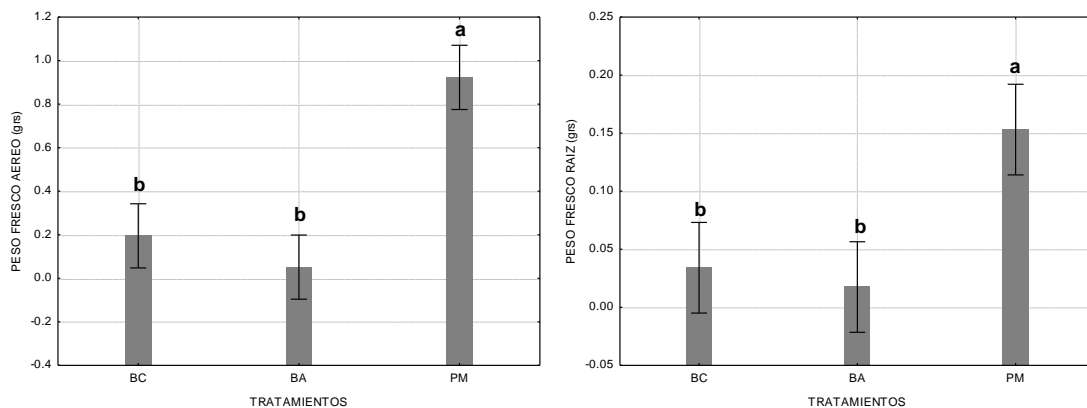


Figura 6. Peso fresco de plántulas de tomate a los 35 días de edad, crecidas en diferentes sustratos. Letras diferentes representan diferencias significativas de sus medias ($\alpha=0.05$).

Los valores de peso seco de la parte aérea de las plántulas establecidas en los diversos sustratos manifestaron la misma tendencia que la raíz (Figura 7). Los sustratos bagazo de agave y bagazo de caña mostraron menor peso seco de la parte aérea. Entre

ellos no hubo diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$). El bajo peso seco de la parte aérea correspondió con un desarrollo radicular limitado alcanzado por la plántula, según las condiciones en la que se estableció. Como se mencionó anteriormente, los sustratos muestran algunas limitantes de orden físico químico que afecta el desarrollo de las plantas.

Al analizar los datos de la figura 7 se observa una correlación entre los pesos secos aéreo y radical. El testigo que mostró buen desarrollo foliar, también manifestó igual respuesta en el peso seco de raíz.

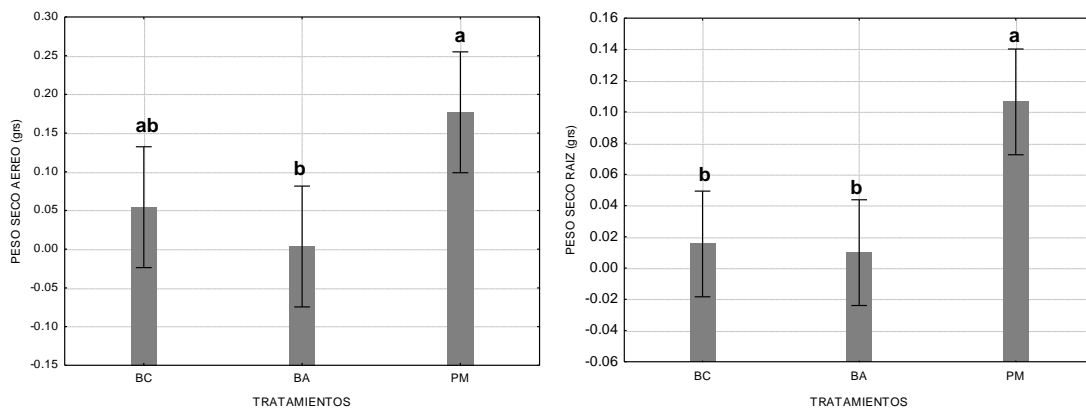


Figura 7. Peso seco de plántulas de tomate a los 35 días de edad, crecidas en diferentes sustratos. Letras diferentes representan diferencias significativas de sus medias ($\alpha = 0.05$).

De los resultados anteriores, y discutidos hasta esta parte de este documento, se puede observar que el sustrato testigo mostró diferencias estadísticas para las variables de altura, peso seco y peso fresco. Con base en ello, se puede ver que los dos sustratos basados en bagazo de caña y agave mostraron en general las mismas características. Por lo tanto, con el objetivo de determinar hasta qué punto se puede hacer un ahorro en la utilización del sustrato testigo, sin sacrificar la calidad de las plántulas, se llevó a cabo un segundo experimento con mezclas de los sustratos de la siguiente manera:

1. 100% PM.
2. 75% PM, 25% BC.

3. 50% PM, 50% BC.
4. 25% PM, 75% BC
5. 100% PM
6. 75% PM, 25% BA.
7. 50% PM, 50% BA.
8. 25% PM, 75% BA.

En las siguientes secciones de este documento, se muestran y se discuten los resultados de esta segunda fase de experimentos.

Altura de Plántula en Bagazo de Agave y Caña

En cuanto a la dinámica de crecimiento para este experimental evaluar el crecimiento de la planta en altura a los 35 días después de emergencia, se evidenció que no existe interacción entre los factores en estudio. Cuando se analizó la influencia del sustrato sobre esta variable, se observó que las plántulas cultivadas en el tratamiento donde se aplicó bagazo de caña (25% BC-75% PM) casi igualó las magnitudes en altura alcanzadas por las desarrolladas en el tratamiento testigo, donde se aplicó peat moss (100%). Los tratamientos hechos en el bagazo de agave no compitieron con el testigo.

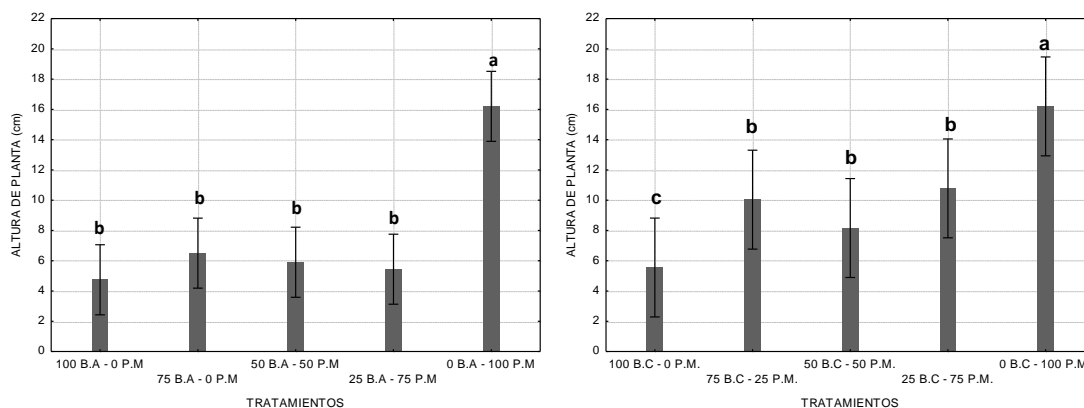


Figura 8. Altura de plántulas de tomate en las mezclas desustratos. Letras diferentes representan diferencias significativas de sus medias ($\alpha=0.05$).

Numero de Hojas en Bagazo de Agave y Caña

El número de hojas emitidas es un parámetro importante en el desarrollo morfológico del cultivo, por ser la aparición de la cuarta hoja verdadera en el cultivo de tomate el marcador fenológico.

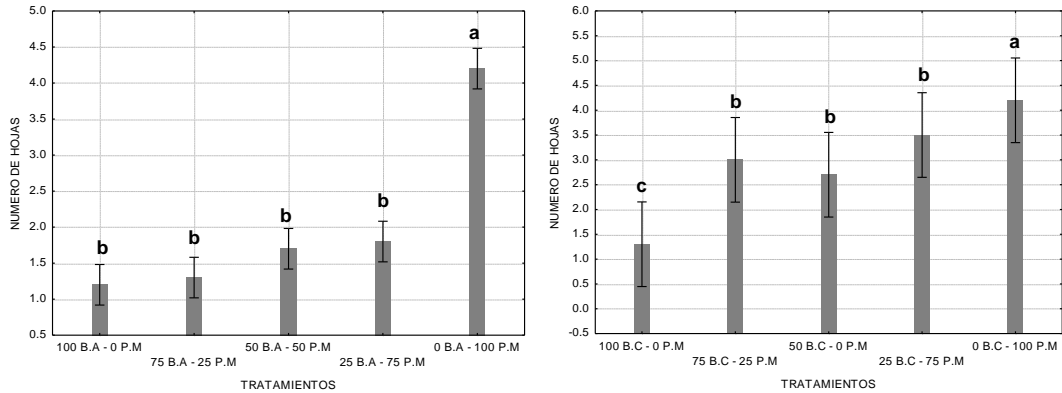


Figura 9. Efectos de las combinaciones de sustratos en el número de hojas. Letras diferentes indican diferencia estadística entre tratamientos.

En la figura 9 se muestra el número de hojas que produjeron las plántulas en los 35 días en semillero, observándose las diferencias significativas influidas por los tratamientos en estudio. Según Maestrey (1986), hasta los 30 días el consumo de nutrimentos es muy bajo. En esta fase el mayor consumo lo realizan las hojas: 86% de N, 70% de P y 56 % de K total en la planta y seguidos por el tallo y la raíz.

Diámetro de Tallo en Bagazo de Agave y Caña

El grosor del tallo es un indicador del estado vigoroso de una plántula, muestra la fortaleza y resistencia que dicha planta puede tener al ser sometida a condiciones de campo o de invernadero. En la figura 10 se presentan los resultados obtenidos en la medición de esta variable. Destacando el testigo. Las combinaciones no tuvieron efecto sobre esta variable a los 35 días.

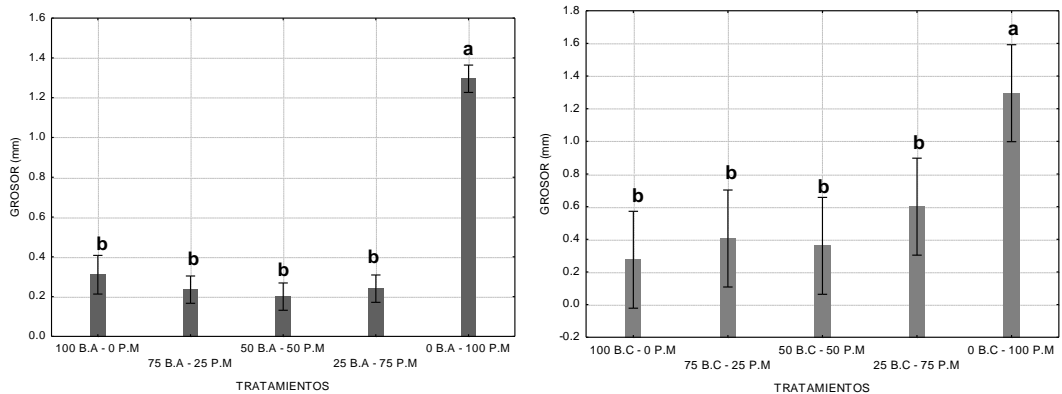


Figura 10. Grosor del tallo de los dos sustratos alternativos combinados con el sustrato testigo.

Peso Fresco y Seco de Follaje y Raíz

El rendimiento de un cultivo viene dado por la capacidad de acumular biomasa (materia fresca y seca) en los órganos que se destinan a la planta y un incremento proporcional de la biomasa destinada a estos órganos garantiza un incremento del rendimiento. Así, la distribución de materia seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel fundamental en la producción de un cultivo.

En las figuras 11 y 12 se muestran los valores de masa seca de los diferentes órganos y total de las plántulas a los 35 días, donde no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos impuestos. En cuanto a las evaluaciones de raíz y follaje, se observó una mayor acumulación de biomasa en la parte foliar de las plántulas y dentro de estas las mayores magnitudes se obtuvieron cuando se trató de 100% testigo y 50% de bagazo de caña y 50% de peat moss. Las plántulas cultivadas en los diferentes tratamientos lograron los menores valores de estas variables. También se muestran los contenidos de agua en las diferentes combinaciones tanto como de bagazo de agave y bagazo de caña, para la parte aérea como para la raíz, observando que las diferencias son mínimas para las partes de la plántula.

El incremento en materia seca fue influido por los sustratos en la altura de la plántula y el diámetro del tallo, lo cual fue evidente al mostrar que no hay correlación significativa con dichas variables. En esta etapa del crecimiento de las plántulas, las dimensiones del tallo son determinantes en la obtención de plántulas vigorosas, las cuales fueron difíciles de conseguir con los sustratos de bagazo de caña y agave.

El rendimiento de un cultivo viene dado por la capacidad de acumular biomasa (materia fresca y seca) en los órganos que se destinan a la cosecha y un incremento proporcional de la biomasa destinada a estos órganos garantiza un incremento del rendimiento. Así, la distribución de materia seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel fundamental en la producción de un cultivo.

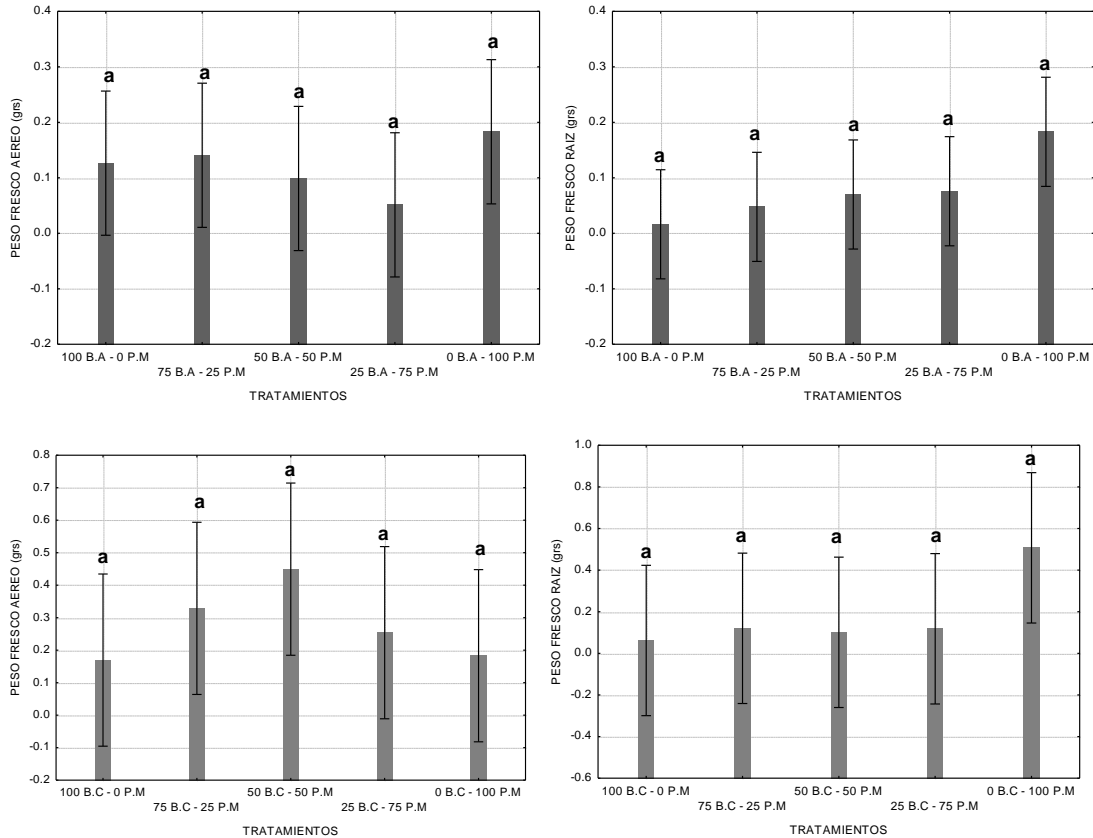


Figura 11. Peso fresco del follaje (izquierda) y de la raíz (derecha) de los diferentes tratamientos.

La distribución de materia seca entre las raíces y la parte aérea de las plantas puede ser descrita por un equilibrio funcional entre la actividad del sistema radical (absorción de agua y nutrientes) y la actividad de la parte aérea (fotosíntesis); es decir, la relación entre la masa de raíces y la masa de la parte aérea es proporcional a la relación entre la actividad específica de la parte aérea y la de las raíces. Los factores que incrementan la actividad específica del sistema radical, tales como el aporte adecuado de agua o de macronutrientes (especialmente nitrógeno), el aumento del potencial hídrico y una temperatura óptima para el funcionamiento de las raíces reducen la distribución proporcional de materia seca hacia las raíces (Diaz *et al.*, 2004).

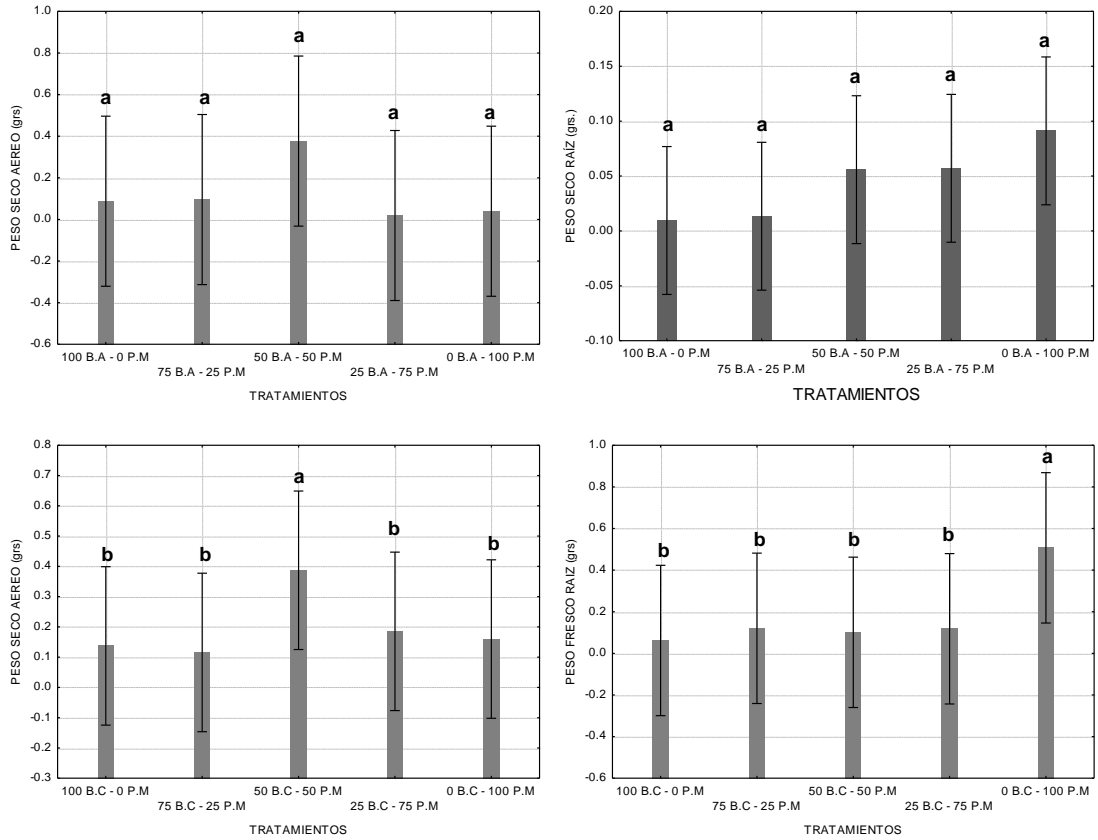


Figura 12. Peso seco del follaje (izquierdo) y de la raíz (derecho) de los diferentes tratamientos.

CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluaron sustratos de tezontle, bagazo de agave y bagazo de caña, como alternativos para la producción de plántulas de tomate.

El peat moss mostró superioridad para la producción de plántulas en todas las evaluaciones realizadas en este estudio. Sus características físicas y químicas son atributos que parecen brindarle esta ventaja.

El bagazo de agave y el bagazo de caña mostraron partículas de mayor tamaño de en comparación al peat moss. Sin embargo, esto no influyó en el crecimiento de las plántulas.

En el tezontle la semilla no germinó y no fue posible realizar la comparación con los demás sustratos utilizados en este estudio.

Al emplear mezclas de bagazo de agave con peat moss para la producción de plántulas de tomate se obtuvo resultados similares al de peat moss únicamente, expresado en la producción de materia seca.

El bagazo de caña y bagazo de agave son un buen material para elaborar sustratos alternativos a los tradicionales. En futuras investigaciones sería conveniente evaluar la concentración de nutrientes en relación a sus características físicas y químicas.

LITERATURA CITADA

- Ávila, D. 2004. Situación y perspectiva de algunos cultivos hortícolas (tomate, chile y calabacita) en el contexto de TLCAN. Universidad Autónoma de Chapingo. México 40 p.
- Aviña, R.M. 1999. Manejo del bagazo de agave en la compañía Memorias Foro de Vinculación: Retos y Oportunidades para el Aprovechamiento del Bagazo de Agave. Guadalajara, México. pp. 8-11.
- Barbado, J. 2005. Hidroponía (en línea). 1ed. Buenos Aires, Argentina. Consultado 15 Sep. 2012. Disponible en <http://books.google.co.cr/books>.
- Bastida, A. 1999. El Medio de Cultivo de las Plantas. Sustratos para Hidroponía y Producción de Plantas Ornamentales. Serie de publicaciones AGRIBOT No. 4 UACH. Preparatoria Agrícola, Chapingo, Mex. 72 p.
- Bolaños, M. 2001. Anatomía y fisiología de la planta de tomate. Editorial mundi-prensa, Barcelona España. 43-93 pp.
- Bures, S. 1997. Sustratos. Ediciones aerotécnicas, Madrid, España. 342 p.
- Burgueño, H. 1996. La fertirrigación: los elementos minerales de la fertilización y su relación suelo-planta, dosificación y tiempo de aplicaciones de los elementos fertilizantes. BURSAG, S.C. Sinaloa, México.
- Cadahia, L.C. 2000. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Mundi-prensa. España.
- Calderón, S. y Cevallos, F. 2001. Los sustratos (en línea). Doctor Calderón laboratorios Ltda. Bogotá, Colombia. Consultado 12 sep. 2012. Disponible en http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.htm.
- Castellanos, J.Z. y Vargas, T.P. 2003. El uso de sustratos en la horticultura bajo invernadero. In: Manual de Producción Hortícola en Invernadero. J Z Castellanos (ed). 2a ed. INTAGRI. México. 121 p.
- Castellanos, J.Z. y Vargas, T.P. 2004. El uso de sustratos en la horticultura bajo invernadero. In: Manual de Producción Hortícola en Invernadero. J Z Castellanos (ed). 2a ed. INTAGRI. México. 124-150 pp.
- Castellanos, J.Z. y Vargas T.P. 2009. El uso de sustratos en la horticultura bajo invernadero. In: Manual de Producción Hortícola en Invernadero. J Z Castellanos (ed). 2a ed. INTAGRI. México. 60 p.
- Diaz, P.J.C., Granberry, D., Bertrans, D. y Giddings, D. 2004. Tomato plant growth during establishment as affected by root zone temperature under colored mulches. *Acta Horticulturae*, (631):121-126.
- CRT. 2008. Informe Estadístico. Consejo Regulador del Tequila. Jalisco, México. http://crtnew.crt.org.mx/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=52&Itemid=65 (consulta: 15 noviembre 2012).

- FAOSTAT. 2008. Area harvested, yield and production in México.FAO Staticdatabase. <http://faostat.fao.org/desktopDefault.aspx?pageID> [consultado el día 15 de octubre 2012)
- Fernández, L.M. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Florian, M.P. 1997. Los sustratos. Conferencia internacional en hidroponía. Instituto Politécnico Internacional. México.
- García,J.A. 2012. Generalidades del agave tequilero. México.
- García, J.A. 2000. Evaluación de la cascarilla de café para utilizarse como sustrato en cultivo sin suelo de hortalizas. Tesis maestría en ciencias. Instituto Politécnico nacional. Oaxaca, México.
- García, P. 2012. Desarrollo de un nuevo sustrato. Colegio de postgraduados. México.
- Gil, J., Arévalo, A., García, J.A. 2000. Sustratos, propiedades, ventajas y desventajas. Universidad Agraria de Molina. Perú.
- Geus, L.G.D. 1967. Fertilizer guide for tropical and subtropical farming. Centre d'Etude de l'Azote. Conzett and Llubber.Zurich. 164p.
- Guzmán, J.M, 2003.Sustratos y tecnología de almácigo. In: Memoria de cursos en producción en ambientes protegidos UCR-CYTED San José, Costa Rica 24 p.
- Hartmann, H. y D. Kester. 2002. Plant propagation. Principles and practices. Prentice Hall. New Jersey. 880 p.
- InfoAgro. 2012. El cultivo de la caña de azúcar. [En línea] Disponible en: <http://www.infoagro.com/gramineas/caña.azucar.htm>. (Revisado 13 de noviembre del 2012).
- Íñiguez, G., Parra, J. y Velasco, P.A. 2006. Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 8. Evolución de algunos constituyentes de la mezcla de biosólidos-bagazo de agave durante el compostaje. Vol 22. 22, 2, 83-93 pp.
- Linares, O.H. 2004. El cultivo de tomate en invernadero. Manual del participante. Secretaria de la Reforma Agraria. PROCEDE “fondo de tierra e instalación del joven emprendedor” México.
- Maestrey,A.1986. Fertilización del tomate cultivado en primavera.Tesis Doctorado. La Habana,Cuba,Instituto de Ciencias Agrícolas. 129 p
- Nuez, V.F. 1995. El cultivo del tomate. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Nuez, V.F. 1999. El cultivo del tomate. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Nuez, V.F. 2001. El cultivo del tomate. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Imas,P., Bar-Yosef, B., Kafkafi, U., y Ganmore-Newmnan. 1997.Release of carboxylic anions and protons by tomato roots in response to ammonium nitrate ratio and pH in nutrient solution. Plant and Soil, 191:27-34.

- Peralta, I.E., 2002. Taxonomy of wild tomatoes and their relatives, Vol. 84. American society of plantstaxonomists, USA. 186 p.
- PRONAC. 2012. Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar. In: Estudio para la identificación de necesidades de riego y drenaje en las zonas de abasto Cañeras. Veracruz, México.
- Rodríguez, M.R., y Álvarez, J.O. 2007. Utilización de sustratos obtenidos a para semilleros.
- Rodríguez M. 2007. Canadian SphagnumPeatMoss <http://www.peatmoss.com/hortprog1> (Consulta: septiembre 3 de 2012).
- Rodríguez, M.R., Pascoe, S., Zamora, N.F., Álvarez, C., y Salcedo-Pérez, E. 2001. Evaluación de sustratos vegetales elaborados a partir de residuos de la industria tequilera. Memorias I Congreso Nacional de Agricultura Sustentable. Veracruz, México. pp. 257-259.
- Rodríguez. M.R., Pascoe, S., Zamora, N.F., Álvarez, C., y Salcedo-Pérez, E. 1999. Evaluación de sustratos vegetales elaborados a partir de residuos de la industria tequilera.
- Rutiaga, Q.J.G., Anzaldo, J.H., Vargas, R.J.J. y Sanjuán, D.R. 2002. Propiedades de resistencia de una pulpa kraft de pino mezclada con médula de bagazo de caña de azúcar.
- SAGARPA. 2009. www.sagarpa.com/informefinalcañadeazucar.gob. (revisado el 1 de diciembre 2012)
- Salas, J., Torres, H. Y Vargas, L. 2002. Sustratos. Ediciones agro técnicas S.L.
- SIAP. 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. In: la producción de mexico de agave tequilero pdf.
- Soffchi, T.L. 1999. Bagazo de agave en la fábrica de Tequila Ciervo la Rojeña. Memorias Foro de Vinculación: Retos y Oportunidades para el Aprovechamiento del Bagazo de Agave. Guadalajara, México. 3-7 pp.
- Spooner, D., Peralta, I.M., y Knap S.E. 2005. Comparison of AFLPs with other markers for phylogenetic inference in wild tomatoes. 43-61 pp.
- Triana, O.L.M. 1990. Atlas del bagazo de caña de azúcar. GEPLACEA, PNUD, ICIDCA. 37 – 45 pp.
- Urrestarazú, M. 2009. Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. Mundi-presa, Madrid España 47 p.
- USDA. 2004. United States Department of Agriculture National Organic Program. USA. 554 p.