



Universidad Nacional Autónoma de México



Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

Evaluación del efecto de dos sustratos adicionados con zeolita en la emergencia, establecimiento y vigor de tres especies de hortalizas

Área

Ecología Vegetal

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA:

Sergio Iván Vallejo Carreón

Directora de Tesis: Dra. María Socorro Orozco Almanza

Asesor Interno: Dr. Gerardo Cruz Flores

Ciudad de México

Septiembre 2017

Investigación financiada con financiamiento de la UNAM, a través de la DGAPA
(Proyecto PAPIME PE203715)



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

A Carmen, Rafael y Bernardo, porque han sido mi familia, mis amigos, mi apoyo y el mejor equipo de trabajo que la vida pudo darme.

A Josefina, mi segunda madre, y una de las personas más valiosas de mi vida.

A Joaquín, el proyecto de vida más grande y sorprendente de mi vida.

A Miriam, mi compañera en la carrera, en la vida y en todo cuanto desee emprender.

A Laura, mi ídolo académico, mi prima y una de mis más grandes amigas.

A cada ser humano que me ha ayudado en este logro, que me brindaron algo de sí para poder continuar hacia la meta

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, y su Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, mi casa, mi orgullo y la parte más importante de este sueño de ser biólogo.

A la DGOAE por el apoyo brindado en la “Beca para Egresados de Alto Rendimiento” del ciclo 2015-2016

A la Dra. María del Socorro Orozco Almanza todo su tiempo, ideas, propuestas, y opiniones para la realización de este trabajo.

A los profesores; Dr. Arcadio Monroy Ata, Dr. Gerardo Cruz Flores, Dr. Efraín Reyes Ángeles Cervantes y al M. C Ramiro Ríos Gómez, por sus puntos de vista y análisis de este trabajo, por brindarme sus conocimientos y ayudarme a fortalecer el mismo, además por su todo cuando me han mostrado en las aulas, en el campo y cómo personas.

A mis profesores de la carrera de biología, en especial a Biol. José Luis Guzmán Santiago, Biol. Aida Zapata, M. C. Magdalena Ayala, Biol. María del Carmen Salgado Merediz, M. C. Balbina Vázquez Benítez, Biol. Leticia López Vicente, Dr. Efraín Reyes Ángeles Cervantes, por guiarme a través de los proyectos de laboratorio en mi formación científica, así como brindarme su tiempo y consejos aún después de realizar estos trabajos, son mi ejemplo cómo profesionista y persona.

Al Dr. Edelmiro Santiago Osorio. Su apoyo en el momento más complejo de mi carrera universitaria fue decisivo para enderezar la nave y lograr que el presente trabajo y con ello el concluir el ciclo cómo estudiante de licenciatura concluyera de la mejor manera.

A, Luis, a la maestra María de Jesús, al maestro Eduardo Chimal y Dr. Gerardo Cruz Flores, por todo el apoyo, asesoría, conocimientos brindados y tiempo dedicado a este trabajo.

A mi familia: Papá gracias por los conocimientos, por el apoyo incondicional y por todo el tiempo que dedicas para lograr que sea una persona bien, porque aun sabiendo los errores que he cometido, nunca claudicaste, y esa es una de las enseñanzas más grandes que me brindaste. Mamá, las palabras sobran para agradecerte todo lo que he aprendido, todo lo que me has brindado, que este sencillo homenaje es insuficiente, pero sin ti nada de esto sería posible. Hermanito, tu siempre fuiste mi verdadero amigo, mi cómplice de travesuras y también mi más cercano consejero, por ustedes es que pude lograr este éxito.

Josefina Vallejo, tu eres mi segunda madre y tampoco existe forma de agradecerte todo cuanto hiciste para que también este momento llegará, para ti que también siempre estarás en mi corazón, mi eterno agradecimiento.

A Miriam Rebeca, porque fuiste la más grande de todas las sorpresas que hubo en la carrera, mi gran amiga, una inmejorable colega, la mejor compañera de viajes, y mi gran amor. Siempre tendrás un lugar único en mi vida.

A Joaquín mi hijo, por darme la alegría y la fuerza que sólo tú podrías traer, llegaste en el momento más interesante y curioso a mi vida. Te amo Quino.

A Gloria López, Sofía Martínez, Itzel Colindres, Juan Manuel Colindres, Vero Muñoz y Sergio Juárez por apoyarme en uno de los momentos más difíciles de mi vida y brindarme su amistad, pero sobre todo por apoyarme en el logro de entrar a la UNAM.

A Atomic Zar y todos sus integrantes, pasados, presentes y futuros; gracias chicos por mostrarme una forma diferente de ver la ciencia, por esas agradables tardes y sobre todo por ser también el lugar dónde encontré nuevos amigos, dónde quiera que la profesión y la vida nos lleve, sé que seremos grandes profesionistas. También de manera muy especial, le agradezco a Dania Esquivel, Evelyn Meléndez, Sindy Laura, Eduardo Hernández, Uriel, Monserrat, Diego y Juan Manuel Aquino, a quienes pude conocer mucho más allá de los deberes atómicos.

A mis amigos, Oscar, Mario, César, Ceci, Isaac, Jesús, Ana, Efraín, Dani y Pedro, sin ustedes el viajar a campo, compartir las aulas, los desvelos de los deberes escolares, los proyectos de laboratorio y la vida misma no hubiera sido lo mismo.

Finalmente a todos aquellos que colaboraron para generar este logro, no será el último, este es sólo un escalón más para lograr metas cada vez más grandes...

AntiAgradecimientos

A todos quienes pusieron obstáculos en el camino, hubo grandes y complicados, pero todo sirvió para crecer. A cada nuevo reto surgió la dicotomía, malas o buenas decisiones, todo ha ayudado.

Contenido

I.	Resumen.....	1
II.	Introducción.....	2
III.	Marco Teórico	3
	3.1 Definición de sustrato	3
	3.1.1 Costo de los sustratos.....	3
	3.1.2 Clasificación de los sustratos	4
	3.2 Características de un buen sustrato	5
	3.3 Tipos de sustratos utilizados.....	7
	3.3.1 Bokashi	7
	3.3.2 Composta.....	9
	3.3.3 Tezontle	10
	3.3.4 Zeolita	10
	3.4 Problemas más frecuentes que presentan los sustratos	13
	3.5 Cultivos empleados	16
	3.5.1 Berenjena (<i>Solanum melongena</i> L.).....	16
	3.5.2 Jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	17
	3.5.3 Pimiento (<i>Capsicum annumm</i> var. <i>annumm</i>)	19
	3.6 Calidad de la planta	19
IV.	Justificación.....	20
V.	Preguntas de investigación	20
VI.	Objetivos	20
	6.1 Objetivo General.....	20
	6.2 Objetivos específicos	20
VII.	Hipótesis	20
VIII.	Método	21
	8.1 Sustratos.....	21
	8.1.1 Elaboración de los abonos.....	21
	8.1.2 Preparación de los sustratos.....	23
	8.1.3 Caracterización de los sustratos	23
	8.2 Desarrollo plantular.....	24
	8.2.1 Arreglo de los tratamientos	24
	8.2.2 Siembra en almácigo.....	25
	8.2.3 Variables de respuesta.....	25
	8.4 Análisis estadístico	26
	8.5 Análisis de rentabilidad	27
IX.	Resultados	27
	9.1 Análisis físico químico de los sustratos empleados	27
	9.1.1 pH.....	27
	9.1.2 Materia Orgánica.....	27
	9.1.3 Nitrógeno.....	28
	9.1.4 Conductividad Eléctrica.....	29
	9.1.5 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	30
	9.1.6 Capacidad de campo	31
	9.1.7 Densidad real, aparente y espacio poroso	31
	9.2 Desarrollo vegetal	32
	9.2.1 Emergencia y supervivencia	32

9.2.2 Atributos del crecimiento	35
9.3 Análisis de componentes principales (ADCP).....	42
9.3.1 Jitomate	42
9.3.2 Pimiento.....	42
X. Discusión de Resultados.....	43
10.1 Jitomate	43
10.2 Pimiento.....	45
11.3 Berenjena	47
XI. Costo de producción de cada tratamiento.....	48
11.1 Jitomate	49
11.2 Pimiento.....	50
XII. Conclusiones.....	52
XIII. Referencias	52
XIV. Anexos	59
Anexo 1. Técnicas de análisis físico y químico de suelos empleadas.	59
Método Gravimétrico de Capacidad de Campo.	59
Método de pH.....	60
Conductividad Eléctrica	60
Método Kjeldal para nitrógeno total.....	61
Anexo 2.Requerimientos agroecológicos de los cultivos empleados.....	62
Pimiento morrón.....	62
Jitomate.....	65
Berenjena.....	68
Anexo 3 Tablas del Análisis de componentes principales.	71

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Propiedades propuestas para la elaboración de sustratos	6
Cuadro 2. Aplicación de zeolita en diferentes cultivos para generar un incremento en la producción	13
Cuadro 3. Componentes para la elaboración de bokashi.....	21
Cuadro 4. Plantas medicinales utilizadas en la composta biodinámica y el efecto que tienen en los cultivos.	22
Cuadro 5. Componentes empleados para la elaboración de 200 kg de composta biodinámica	23
Cuadro 6. Composición porcentual de los sustratos adicionados con zeolita	23
Cuadro 7. Arreglo total de sustratos empleados en los almácigos.....	24
Cuadro 8. Valores obtenidos de pH en los sustratos empleados	27
Cuadro 9. Capacidad de intercambio catiónico promedio para cada uno de los sustratos.....	30
Cuadro 10. Resultados obtenidos de densidad y espacio poroso para cada sustrato	31
Cuadro 11. Peso seco de las plántulas de jitomate.....	38
Cuadro 12. Índices de calidad de plántulas de jitomate	39
Cuadro 13. Valores de peso seco de las plántulas de pimiento	41
Cuadro 14. Índices de calidad de plántulas de pimiento	41

Cuadro 15. Costo de producción de sustratos por kilogramo.....	48
Cuadro 16. Costo de producción de plántulas de jitomate	49
Cuadro 17. Índice de rentabilidad de plántulas de jitomate	50
Cuadro 18. Costo de producción de plántulas de pimiento	51
Cuadro 19. Índice de rentabilidad de plántulas de pimiento.....	51
Cuadro 20. Valores propios del ADCP para jitomate	71
Cuadro 21. Vectores propios de los componentes.....	71
Cuadro 22. Valores propios del ADCP para pimiento	72
Cuadro 23. Vectores propios ADCP para pimiento	72

Índice de Figuras

Figura 1. Intensidad lumínica incidente sobre cada almácigo	25
Figura 2. Porcentaje de materia orgánica en los sustratos	28
Figura 3. Nivel de nitrógeno en los sustratos expresado en mg kg^{-1} , de acuerdo a la NOM-021-2000	28
Figura 4. Relación C:N en los sustratos empleados ($p \leq 0.05$).....	29
Figura 5. Conductividad eléctrica de los diferentes sustratos.	30
Figura 6. Capacidad de campo para cada uno de los sustratos	31
Figura 7. Porcentaje de emergencia de plántulas de jitomate.	33
Figura 8. Porcentaje de emergencia de plántulas de pimiento.	34
Figura 9. Porcentaje de emergencia de berenjena.	35
Figura 10. Altura de las plántulas de jitomate.	36
Figura 11. Diámetro de las plántulas de jitomate.....	37
Figura 12. Número de hojas de las plántulas de jitomate.....	37
Figura 13. Altura de las plántulas de pimiento.	39
Figura 14. Diámetro de las plántulas de pimiento.....	40
Figura 15. Número de hojas en las plántulas de pimiento	40
Figura 16. Análisis de componentes principales para jitomate	42
Figura 17. Diagrama del Análisis de Componentes principales para pimiento.....	43

I. Resumen

El cultivo de hortalizas ha comenzado a cambiar en el mundo, en particular en la producción en vivero es en donde se han efectuado los mayores cambios, uno de los principales, es el de la búsqueda de un sustrato adecuado a las necesidades que requieren los cultivos de mayor demanda. Entre las diversas propuestas, el uso de zeolita en diferentes etapas del cultivo podría mejorar las características físicas y químicas del sustrato, así como el número de plántulas obtenidas y su calidad morfológica.

Se realizó la evaluación de sustratos orgánicos adicionados con zeolita, para la emergencia de plántulas de jitomate (*Lycopersicum esculentum* L.), berenjena (*Solanum melongena* L.) y pimiento morrón (*Capsicum annumm* var. *Annumm*). La siembra de cada especie se realizó en semilleros de 72 celdas, cada uno con dos semillas, en un arreglo aleatorio con cinco repeticiones, bajo condiciones de invernadero. Los resultados obtenidos demostraron que la fracción ideal de zeolita en los sustratos, para la emergencia de jitomate y pimiento fue del 25 %, ya que a mayor cantidad, se presentaron efectos no deseados, como un mayor tiempo entre la siembra y la emergencia de plántulas, un menor porcentaje de emergencia, y una menor calidad morfológica, así mismo los sustratos deben contener solo una porción del 37.5% mineral y 62.5% orgánica. La berenjena no emergió en ninguno de los sustratos, debido a las condiciones térmicas adversas. La zeolita es un buen promotor del desarrollo de jitomate y pimiento, adicionada en los sustratos de germinación con una composición del X% mineral y X% orgánico. Las variables de respuesta plantular del jitomate y del pimiento, no presentaron una correlación significativa con respecto a las variables físicas y químicas de los sustratos empleados.

II. Introducción

La búsqueda de nuevas tecnologías agrícolas sostenibles ha logrado mediante la investigación proponer alternativas para la producción de cultivos, por ejemplo la elaboración de sustratos orgánicos para la germinación y emergencia de hortalizas y plantas ornamentales de importancia económica (Abad y Noguera, 1997).

Las propuestas son tendientes hacia mejorar las características del suelo o a mejorar sustratos compuestos (Pastor, 1999).

Una gran cantidad de cultivos hortícolas requieren de una siembra indirecta (almácigo) para controlar mejor las condiciones de luz, humedad y temperatura, y al mismo tiempo tener un mejor manejo de los depredadores. La siembra en almácigo puede tener beneficios importantes, como una menor pérdida en la producción y un menor tiempo entre la siembra y la cosecha (Guzmán, 2002).

El éxito del establecimiento de las plántulas en almácigo, depende totalmente de las características del sustrato. Los sustratos pueden ser comerciales o pueden ser elaborados con insumos locales, Pastor (2000) señala que ambas opciones pueden presentar propiedades biológicas, físicas y químicas adecuadas para el desarrollo plantular; y que su uso depende de factores como el costo, el manejo que conllevan, la finalidad que se pretende al utilizarlo, la productividad deseada y la disponibilidad de los materiales, lo cual resulta decisivo para determinar el éxito o el fracaso de los mismos.

No es conveniente el uso de suelo en la siembra por almácigo, debido a que puede presentar cierto grado de compactación, puede contener ciertos patógenos y puede tener una baja retención de humedad. Debido a esto, principalmente en la horticultura, se reemplaza suelo natural por sustratos diversos que logran minimizar las condiciones limitantes, hasta encontrar aquellos sustratos que pueden favorecer el desarrollo óptimo de los cultivos, principalmente su condición hídrica y composición orgánica y mineral (Pastor, 2000; Andrén y Kätterer, 2008; Bracho *et al.*, 2009 y Martínez y Roca, 2011).

Los sustratos exitosos de acuerdo a la literatura presentan principalmente una buena retención de humedad, un buen espacio poroso, un buen aporte nutrimental, una buena estructura que permita el anclaje de las raíces de las plántulas e inocuidad sanitaria (Pastor, 2000).

Por otro lado es importante considerar en los sustratos el aspecto económico, ya que estos deben ser de bajo costo de producción y con un alto índice beneficio-costos, pero que al mismo tiempo aseguren estándares de calidad de plantas (Sampaio *et al.*, 2008). No hay un sustrato universal para todas las especies hortícolas, de aquí el grado de dificultad por generar sustratos acordes a los requerimientos de cada cultivo, ya que el sustrato, además de ser el soporte de la planta, debe además proporcionarle grandes cantidades de elementos nutritivos acordes al tipo de cultivo. Una alternativa puede ser la mezcla de abonos orgánicos (compostas) y un materiales inertes, como los de origen volcánico que

proporcionen las mejores características a los sustratos (Castillo *et al.*, 2000; Hashemimajd *et al.*, 2004).

Por lo que el objetivo de este trabajo fue generar sustratos adecuados para la germinación, emergencia y establecimiento del jitomate guaje, pimiento morrón y berenjena, utilizando diferentes mezclas entre componentes orgánicos y minerales.

III. Marco Teórico

3.1 Definición de sustrato

El suelo, es el medio en el que se desarrollan funciones de vital importancia para las plantas, no obstante presenta condiciones limitantes que en diferentes grados impiden resultados óptimos. Por este problema, frecuentemente se reemplaza el suelo natural por sustratos de origen diverso, superando así factores limitantes como una baja retención de humedad, y un aporte mineral satisfactorio para el desarrollo de la planta (Pastor, 2000; Andrén y Kätterer, 2008; Bracho *et al.*, 2009 y Martínez y Roca, 2011).

Entonces, se define un sustrato como aquel material distinto del suelo, ya sea natural, mineral u orgánico, que mezclado o en forma pura se coloca en un contenedor, teniendo como funciones servir de soporte a la planta, permitir el anclaje del sistema radical, y aportar agua, aire y minerales a las planta durante su estadía en el vivero (Castillo *et al.*, 2000).

Los sustratos por sus diversos componentes, generalmente tienen costos diversos, siendo en la mayoría de los casos elevados, por ser sobre todo sustratos comerciales, por lo que una alternativa es el uso de recursos locales como los residuos orgánicos, que se generan de manera significativa en diferentes sectores como el rural, el industrial y el urbano y que pueden ser utilizados en la elaboración de sustratos de bajo costo que favorezcan el desarrollo de las plantas (Pastor, 2000; Andrén y Kätterer, 2008; Bracho *et al.*, 2009 y Martínez y Roca, 2011).

3.1.1 Costo de los sustratos

No se puede negar el éxito de sustratos comerciales comprobados, no obstante, es importante enfatizar que una gran cantidad de estos sustratos son importados lo cual eleva su costo en el mercado y grado de inaccesibilidad para el productor.

La agricultura orgánica, genera sustratos orgánicos con base en el uso de recursos locales que ofrecen un mayor beneficio económico para el productor, con un menor impacto para el ambiente y una mejor gestión de residuos sólidos que pueden ser considerados como fuentes de contaminación. Generar sustratos orgánicos, además de proporcionar mayores beneficios económicos, permiten el reuso de materiales que pueden contribuir a cerrar ciertos ciclos como el de los nutrientes.

Romero-Arenas, *et al.*, (2012) mencionan que el uso de sustratos orgánicos reducen en un 32 % el costo de las plántulas, además de promover un mayor nivel de producción, en algunos casos incluso hasta el 80 % adicional.

3.1.2 Clasificación de los sustratos

Martínez y Roca (2011), han clasificado a los sustratos con base en los siguientes criterios:

Por sus propiedades:

- Químicamente inertes: arena sílice, grava, roca volcánica, perlita, lana de roca, y arcilla expandida.
- Químicamente activos: turbas rubias y negras, orujos, residuos de la industria maderera, vermiculita, zeolita, etc.

Por su origen:

- Materiales orgánicos naturales: turbas negras y rubias, y fibra de coco, son los más empleados; subproductos de actividades agrícolas, urbanas e industriales, incluso compostas, lombricompostas y bokashi.
- Materiales orgánicos sintéticos: son polímeros de la industria de los plásticos, no biodegradables, como poliuretano, poliacrilamida y poliestireno.
- Minerales naturales: proceden de rocas y minerales diversos: arenas, gravas, gravas volcánicas (puzolanas, zeolitas), etc.
- Minerales tratados: proceden de rocas y minerales tratados industrialmente por procedimientos físicos en general, y en menor medida químicos, de tal modo que sus propiedades resultan muy alteradas: perlita, lana de roca, vermiculita, arcilla expandida, escorias industriales de altos hornos, estériles del carbón, etc.

La disponibilidad de residuos orgánicos es enorme y se está dedicando mucho esfuerzo en desarrollar técnicas de tratamiento, que aseguren el aprovechamiento de estos residuos para la agricultura. El que su empleo sea todavía escaso en horticultura, tiene que ver, entre otras cosas, con falta de condiciones necesarias (sociales, políticas y jurídicas) para llevar a cabo una labor de reciclaje de residuos a una escala amplia (Martínez y Roca, 2001; Díaz Serrano, 2004; Orellana Gallego *et al.*, 2008; Buamscha *et al.*, 2012).

Dentro de los sustratos orgánicos, sobresalen la composta y la vermicomposta, debido a que sus procesos de elaboración son métodos biológicos, que transforman restos orgánicos de distintos materiales en un producto relativamente estable (Claassen y Carey, 2004).

Los beneficios de los abonos orgánicos son evidentes, la composta ha mejorado las características de los suelos, tales como fertilidad, capacidad de almacenamiento de agua, mineralización del nitrógeno, fósforo y potasio, mantiene valores de pH óptimos para el crecimiento de las plantas y fomenta la actividad

microbiana, y como sustrato para cultivos en invernadero no contamina el ambiente (Nieto Garibay *et al.*, 2002; Rodríguez *et al.*, 2008).

3.2 Características de un buen sustrato

Debido a que las plantas responden a las características o propiedades de los sustratos, más bien que a sus materiales constituyentes o componentes, se debe hablar de las características óptimas que deben tener los sustratos para utilizarse en cultivos sin suelo ya que la composición física y química de los sustratos, determina el éxito de los sistemas agrícolas (Díaz Serrano, 2004; Orellana Gallego *et al.*, 2008).

Estas propiedades son:

a) Propiedades físicas

- Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible
- Suficiente suministro de aire
- Elevada porosidad
- Distribución del tamaño de las partículas que mantenga las condiciones antes mencionadas
- Baja densidad aparente
- Estructura estable, que impida la contracción o la hinchazón del sustrato

b) Propiedades químicas

- Salinidad reducida
- pH ligeramente ácido
- Mínima velocidad de descomposición
- Suficiente nivel de nutrientes

Otras propiedades que deben tomarse en cuenta, son: el costo, la facilidad para su elaboración, el manejo, la disponibilidad de los componentes y al mismo tiempo, estar libres de semillas de malezas, sustancias fitotóxicas, nemátodos y otros patógenos (Caldahia, 2005).

Martínez y Roca (2011), en su trabajo de sustratos, proporcionan los valores óptimos de las propiedades físicas y químicas que debe presentar un sustrato (Cuadro 1).

Cuadro 1. Propiedades propuestas para la elaboración de sustratos

Propiedad	Rango
Tamaño de partícula (mm)	0.25 - 2.50
Densidad aparente (g cm ⁻³)	<0.75
Densidad real (g cm ⁻³)	1.45 – 2.65
Espacio poroso total (% vol.)	>85
Capacidad de aireación (%vol.)	20 – 30
Agua fácilmente disponible (%vol.)	20 – 30
Agua de reserva (% vol.)	4 – 10
Agua total disponible (% vol.)	24 – 40
Contracción	< 30
pH	5.2 – 6.5
Conductividad eléctrica	0.75 – 3.5
Capacidad de intercambio catiónico (cMol kg ⁻¹)	70-100

Adicionalmente se deben considerar las características biológicas, que son propiedades dadas por los materiales orgánicos, cuando estos no son de síntesis son inestables termodinámicamente y, por lo tanto, susceptibles de degradación mediante reacciones químicas de hidrólisis, o bien por la acción de microorganismos (Pastor, 1999).

Trabajos como los de Olivo y Buduba (2006) señalan que usando proporciones de 1:1 de diferentes componentes como *peat-moss*, fibra de coco, turba, perlita, vermiculita y pumita, se pueden obtener valores de densidad aparente entre 0.10-0.3 g cm⁻³, agua disponible 4.2-7.0 %, y pH entre 3.7-6.4, se pueden alcanzar características óptimas para el desarrollo de los cultivos. Las mezclas de fibra de coco y perlitan ofrecen las mejores condiciones.

Orellana *et al.* (2008) realizaron una caracterización física de los sustratos más usados por agricultores en Cuba, siendo en la mayoría de las pruebas, la fibra de coco más arena de río (1:1) la mezcla con las mejores condiciones de agua disponible total (\approx 46.1%), porosidad total (69.83%) y porcentaje de fase gaseosa (22.98 %). Por lo que se recomienda su uso para cultivos en contenedores y macetas, ya que algunos suelos minerales pueden contener residuos químicos tóxicos, sales o iones tóxicos, además del impacto negativo por la extracción de suelo del medio ambiente.

Estas propiedades tienen importancia radical en el correcto desarrollo de la plantas, por lo que el control de éstas dentro de la propagación en un vivero es indispensable para la propagación exitosa de muchas hortalizas como las de la familia *solanaceae*.

En cuanto a la salinidad la importancia es radical, ya que es un factor que puede perjudicar el crecimiento de las plantas, a menos que estas posean cierta tolerancia a la misma (Leone, 2007).

Es importante considerar que un sustrato funcional debe proporcionar precocidad y homogeneidad al cultivo, manejo eficiente de semilla y la oportunidad de seleccionar plántulas mucho más vigorosas para su siembra en campo (Quesada y Méndez, 2005).

El estudio de los sustratos no se puede dar por concluido; no es posible decir que los materiales actualmente más difundidos por razón de sus propiedades y de respaldo comercial, estén consolidados.

El sustrato, además de sostén, deberá aportar cantidades considerables de elementos nutritivos que satisfagan las demandas del cultivo. Una alternativa, es mezclar composta con medios inertes (Castillo *et al.*, 2000; Hashemimajd *et al.*, 2004).

Es necesario continuar buscando materiales que reúnan características adecuadas para las diversas aplicaciones hortícolas, buen precio, y, algo importantísimo en el momento presente, que contribuyan a evitar la constante agresión sobre el medioambiente. El aprovechamiento de materiales disponibles localmente a precios interesantes, no debería descartarse por los grupos de investigadores ni por horticultores. Tanto los materiales naturales como los residuales deben ser estudiados, caracterizados y ensayados como alternativas potenciales a otros sustratos de alto precio actualmente en uso y, muy en especial si implican cualquier contribución al deterioro ambiental. Un sustrato óptimo depende de numerosos factores adicionales, como el tipo de planta, la fase del cultivo en que se opera, y condiciones climatológicas, entre otras (Pastor, 1999 y Martínez y Roca, 2012).

Para producir plántulas de calidad en vivero se utilizan sustratos comerciales como el *peat-moss*, agrolita y vermiculita, cuyo costo es elevado y reduce significativamente los márgenes de utilidad; por lo anterior, se necesita buscar sustratos alternativos (Romero-arenas *et al.*, 2012). Raviv *et al.* (2004), señalan que los nutrientes contenidos en la composta satisfacen los requerimientos del jitomate en los dos primeros meses después del trasplante; así mismo, Raviv *et al.* (2005), mencionan que la composta cubre los requerimientos durante cuatro meses después del trasplante en jitomate.

La preocupación de los viveristas radica en los costos alcanzados por la utilización de sustratos importados para la producción de las plantas en vivero, actualmente en México se usa como principal sustrato en la producción de plantas, una mezcla de turba (*peat-moss*), agrolita y vermiculita principalmente en proporciones de 6:3:1, por ello se deben buscar opciones en la reducción de costos que garanticen la calidad de la planta (Bastida 2002; Arteaga *et al.*, 2003).

3.3 Tipos de sustratos utilizados

Estudios realizados en invernadero con sustratos orgánicos, señalan que una alternativa es elaborar un sustrato a base de composta y medios inertes como arena (Márquez-Hernández *et al.*, 2006). Por lo que la propuesta de este trabajo es elaborar un sustrato teniendo como base los abonos orgánicos bokashi y composta biodinámica, y tezontle como componente mineral.

3.3.1 Bokashi

El Bokashi ha sido utilizado como abono orgánico por los agricultores japoneses desde hace ya muchos años (Ramos Agüero y Elein, 2014). Bokashi es una

palabra japonesa que significa “materia orgánica fermentada”. Este abono se deja descomponer en un proceso aeróbico de materiales de origen animal o vegetal. Su uso activa y aumenta la cantidad de microorganismos en el suelo, así como mejora sus características físicas y suple a las plantas con nutrientes (Shintini *et al.*, 2000).

El bokashi es un abono orgánico que se puede elaborar con materiales locales, por lo que se pueden hacer variaciones de acuerdo a la materia prima disponible en la región (De Luna y Vázquez, 2009).

Los abonos orgánicos tienen altos contenidos de nitrógeno mineral y cantidades significativas de otros elementos nutritivos para las plantas (Cegarra *et al.*, 1993). Dependiendo del nivel aplicado, originan un aumento en los contenidos de materia orgánica del suelo, en la capacidad de retención de humedad y en el pH (Ouédrago *et al.*, 2001; Courtney y Mullen, 2008), y también aumentan el potasio disponible (Erhart y Hartl, 2003), el calcio y el magnesio (Jakobsen, 1996; Miyasaka *et al.*, 2001). En cuanto a las propiedades físicas, mejoran la infiltración de agua, la estructura del suelo y la conductividad hidráulica; disminuyen la densidad aparente y la tasa de evaporación, así como promueven un mejor estado fitosanitario de las plantas (Andrea, 2004).

La elaboración de abonos orgánicos fermentados, producto de la semidescomposición aeróbica de residuos orgánicos, presenta varias ventajas, tales como: a) no forman gases tóxicos; b) facilitan el transporte y almacenamiento de los abonos; 3) se pueden elaborar en la mayoría de los ambientes y climas agrícolas; 4) auto regulan los agentes patógenos del suelo; 5) tienen costos de producción muy bajos; 6) favorecen el crecimiento de las plantas por una serie de fitohormonas y fitoreguladores naturales que se activan mediante la aplicación de éstos abonos. El bokashi es uno de los más utilizados y se obtiene procesando materiales que son subproducto de actividades agrícolas y pueden ser utilizados y sustituidos según la disponibilidad que exista en la región. Es una actividad práctica de gran beneficio para los agricultores (Cabrera, 2011; FAO-PESA 2011).

El bokashi es un abono comúnmente utilizado en Centroamérica, cuya receta tiene origen japonés, pero que ha sido adaptada por los productores para su uso local. Actualmente, se considera el bokashi como un receta que busca estimular las poblaciones microbianas en el abono, que mezcla en general materias primas de partícula pequeña (granza, gallinaza, carbón picado, sémola, suelo, etc.), que evita temperaturas mayores a los 45-50 °C, que se humedece solamente al inicio, y que se va secando mediante volteo frecuente, hasta estar listo para el almacenaje en una o dos semanas. El bokashi presenta la característica de que, por ser un material sin terminar de compostar, al ser humedecido de nuevo vuelve a incrementar la temperatura, por lo que no se debe aplicar muy cerca de las plantas o las semillas (Sasaki *et al.*, 1994; Soto, 2003).

Los antecedentes de uso de bokashi incluye su uso como potenciador y remediador de las características del suelo, especialmente estabilización del pH, aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la materia orgánica, además de incrementar la producción de los cultivos, destacando el bokashi con base en gallinaza por delante de los realizados con lombricomposta y de pulpa de café. Cabe destacar que estos resultados son acumulativos y pueden tener

efectos positivos incluso tras catorce meses de la aplicación en suelo de los fermentos aeróbicos tipo bokashi (Ramírez-Builes y Nidu-Duque, 2010). Otro de los factores importantes que aporta el bokashi es el incremento en la porosidad del suelo y su fertilidad, además los microorganismos efectivos (ME) del bokashi disminuyen la salinidad del suelo (Xiaohou *et al.*, 2008)

Sobre el crecimiento y supervivencia de especies vegetales, concretamente de *Pinus pseudostrobus* Lindl., la aplicación de bokashi permitió que los porcentajes de supervivencia de los lotes se incrementaran hasta 97 a 100% para árboles locales y de 87 a 93% para árboles adquiridos en procesos de reforestación a pequeña escala, además de presentar resistencia a infección de patógenos (Jaramillo-López *et al.*, 2015)

En contraposición con los autores anteriores, Cerrato y Kameko (2007), señalan que las capacidades de mineralización de nitrógeno (N) en los abonos tipo bokashi, así como de lombricomposta, son muy bajas, siendo desde el punto de vista nutricional, inadecuados para varios cultivos, pese a que mejoran algunas de las condiciones del suelo. Resaltan que incluso el empleo de bokashi con una relación C:N de 20:1 inmoviliza el N disponible en el suelo.

3.3.2 Composta

El compostaje es la descomposición biológica de los constituyentes orgánicos de los residuos en condiciones controladas (Golueke, 1972). El objetivo del compostaje es dar estabilidad al material, eliminar componentes dañinos y dotarle de mejores propiedades para el cultivo de plantas. Para ello son necesarias condiciones de humedad y de aireación que determinen temperaturas favorables para organismos llamados termófilos.

El proceso tiene tres fases:

- Fase inicial, de 1 a 2 días, en la que se descomponen los compuestos fácilmente degradables
- Fase termófila, que dura varios meses, en la que se degrada la celulosa en un proceso bacteriano aerobio
- Fase de estabilización, en el que la temperatura baja, el ritmo de la descomposición disminuye y la composta es recolonizada por microorganismos mesófilos

Conviene evitar que en la segunda fase la temperatura llegue a niveles excesivos, en todo caso nunca superior a 60° C, que inhibirían la actividad microbiana. Esto se consigue manteniendo la temperatura entre 38 y 60° C por inyección de aire. Regulando el flujo de aire se puede controlar la temperatura. Por otra parte, esta aireación es conveniente porque si falta oxígeno, un proceso anaerobio daría lugar a productos fitotóxicos.

Dos indicadores de la madurez de la composta que se pueden emplear son la capacidad de intercambio catiónico, que debe ser superior a 60 meq.100 g⁻¹ y la relación de carbono orgánico a nitrógeno orgánico en el extracto acuoso, aunque esta última no es igual de fiable (Martínez y Roca, 2011).

3.3.3 Tezontle

El tezontle es una roca ígnea extrusiva de origen volcánico que se origina por el enfriamiento de lava y está constituido por silicatos de aluminio y bióxido de hierro; los colores varían de rojo a naranja, gris y negro. Wallach *et al.* (1992) y Raviv *et al.* (2002) mencionaron que el tezontle se caracteriza por su alta porosidad y área superficial. Existen varios tipos de tezontle que se diferencian entre sí por su viscosidad, color y contenido de Fe, Mn, Ca y Mg, estas diferencias se relacionan con el contenido de sílice presente en la roca y la temperatura de erupción, por lo que sus características físicas son determinadas principalmente por su composición mineralógica (Raviv *et al.*, 2002). Este material se somete a un proceso industrial de trituración para obtener la granulometría adecuada, se usa la fricción para perder ángulos y aristas, hasta que adquiere una forma redondeada de 2 a 50 mm. La textura es porosa (vesicular), por lo que es un material ligero, poco resistente, además de ofrecer buen drenaje y casi no aportar nutrientes, guarda el calor, no es permeable, ni aislante. A pesar del valor que tiene en la agricultura de México, no se tiene el conocimiento específico de sus propiedades físicas y micromorfológicas (Juárez, 2014).

Se considera un material inerte, con valores de pH cercanos a la neutralidad, baja CIC, buena aireación, y con capacidad de retención de humedad que es dependiente del diámetro de la partícula; adicionalmente no contiene sustancias tóxicas y tiene estabilidad física (Bastida, 1999). Vargas *et al.* (2008) reportan que las densidades aparente y real en tezontle aumentaron conforme disminuyó el tamaño de la partícula; mientras que el espacio poroso total se incrementó con el aumento en el tamaño de partícula. En lo que a propiedades químicas, Cruz *et al.* (2012) reportaron valores de pH, CE, CIC y contenido de materia orgánica para tezontle de 7.1, 0.08 dS m⁻¹, 2.7 cMol (+) kg⁻¹ y 0%, respectivamente. Asimismo, el tezontle ha sido evaluado como sustrato en distintas especies como nochebuena (Pineda *et al.*, 2008; Callejas *et al.*, 2009) y jitomate (San Martín *et al.*, 2012). En ésta última investigación, se concluyó que el tamaño de partícula de tezontle tuvo efecto sobre algunas propiedades de calidad de fruto como pH, porcentaje de jugo y firmeza.

3.3.4 Zeolita

Las zeolitas son minerales de origen volcánico o sedimentario, aluminosilicatos, del grupo de los tectosilicatos, cuentan con una estructura tridimensional, cristalinos y porosos (López *et al.*; 2010; INIFAP, 2013, Soca y Daza-Torres, 2015), se caracterizan además por tener una alta capacidad de intercambio catiónico sin sufrir cambios en su estructura al poseer una gran facilidad de deshidratarse y volverse a hidratar, son usados como intercambiadores de cationes y filtros moleculares (Osorio, 2014; Soca y Daza-Torres, 2015).

Las zeolitas se han aplicado como mejoradores de suelos y cultivos, provocando en estos un incremento en la capacidad de intercambio catiónico y mayores contenidos de fósforo y potasio (Febles *et al.*, 2014; Soca y Daza-Torres, 2015)

Dentro de este grupo, destaca la clinoptilolita como la más abundante de la naturaleza (Inglesakis, 2004).

La clinoptilolita posee una alta capacidad de intercambio catiónico y una gran afinidad por los iones NH_4^+ (Inglesakis, 2004), existe cierta controversia particularmente a esta especie mineral por la capacidad de retener y liberar lentamente los iones NH_4^+ , que se incorporan en la red de canales que forman su estructura cristalina (Lewis *et al.*, 1984; Ferguson y Pepper, 1987; Mackown y Turner, 1995; Allen *et al.*, 1996; Kithome *et al.*, 1998; Millán *et al.*, 2008). Gilloway *et al.*, (2003), Leggo (2000) y Civeira y Rodríguez (2011), señalan que luego de liberarse el NH_4^+ desde la materia orgánica al suelo, por la acción de microorganismos, puede ser retenido en las partículas de zeolitas. La potencial explicación es que a pesar de que el agua puede ser eliminada de manera sencilla, los cationes no tienen la misma libertad, a menos que estos se sustituyan por su equivalente electroquímico, ya que es necesario neutralizar la carga aniónica de la red (Ming y Mumpton, 1989; Gianneto Pace *et al.*, 2000). Algunos autores han señalado que las zeolitas pueden retener iones como el NH_4^+ y retrasar así, el proceso de nitrificación, reduciendo así la lixiviación en aguas subterráneas, actualmente se han usado en la formulación de fertilizantes minerales para la retención de este y otros cationes producto de la fertilización. (He *et al.*; 2008; Jha *et al.*, 2009; Soca y Daza-Torres, 2015; Soca y Daza-Torres, 2016).

En México existen yacimientos de zeolitas en diferentes estados de la República Mexicana, los cuales están constituidos principalmente por los tipos mordenita, etionita y clinoptilolita, destacándose la clinoptilolita como el tipo más abundante (Hernández *et al.*, 2005).

3.3.4.1 Propiedades de la zeolita

Cabrera (2011), señala que entre las propiedades que posee la zeolita, se encuentran:

- Elevada capacidad de intercambio catiónico. La CIC de la zeolita, es muy superior a la de los suelos con valor agrícola, y su aplicación incrementa la fertilidad de los mismos, y reduce las pérdidas de nutrientes por lavado.

- Elevada capacidad de absorción de agua. Dado el importante volumen de poros y cavidades ($0.12 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$), el mineral manifiesta un gran poder de absorción y retención de agua de forma reversible, pudiendo almacenar hasta un 30 % de su peso en agua.

- Alta resistencia a la pulverización. Debido a su resistencia mecánica, soporta grandes esfuerzos y tensiones manteniendo estable su estructura y propiedades, ello favorece la textura de los suelos, reduciendo la compactación, mejorando con ello la aireación del sistema radical.

- Alta selectividad catiónica. Presentan una alta selectividad para la fijación e intercambio de cationes, dentro de los cuales se encuentran: el amonio (NH_4^+), potasio (K^+), sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}) y otros iones metálicos como hierro (Fe^{3+}), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), plomo (Pb) y cadmio (Cd).

3.3.4.2 Beneficios que produce al suelo la aplicación de zeolita

- Mejora sus propiedades físicas tales como estructura, retención de humedad, aireación, porosidad, densidad, ascensión capilar, reduciendo la compactación de los suelos.
- Aumenta el pH, y la capacidad de intercambio catiónico total del suelo.
- Reduce los contenidos elevados de metales en el suelo, que pudieran ser tóxicos para las plantas como hierro, aluminio, plomo, cadmio y otros.
- Facilita una mayor estabilidad de los contenidos de materia orgánica del suelo, reduciendo las pérdidas de materia orgánica por mineralización.
- Mejora la retención y uso de los nutrientes, lo que permite incrementar en un 25-50% la eficiencia de uso de los fertilizantes minerales que se aplican tradicionalmente.
- Al aumentar la retención de humedad en el suelo, permite reducir las dosis de riego en más de 15%. Asegurando un efecto de humedad prolongada, hasta en épocas de sequedad.
- Reduce el lavado o pérdidas de nutrientes en la propagación o crecimiento de plántulas, siendo un efectivo medio su enraizamiento, y producción.
- Las condiciones físico-químicas de los suelos arenosos mejoran con la aplicación de la zeolita, debido a que aumenta su capacidad retenedora de humedad, y en los suelos arcillosos mejora también las condiciones físicas, reduciendo la compactación de los mismos y mejorando la capacidad de penetración de agua en ellos.
- La estructura porosa de la zeolita al mantener el suelo aireado, mejora también su actividad biológica.
- Aumenta la acción de las bacterias nitrificantes, al suministrar una superficie ideal para la adherencia de las mismas, favoreciendo también su reproducción y con ello también el aumento de la población de bacterias benéficas que atacan los hongos patógenos.
- Facilita la solubilización parcial del fósforo (P), natural, mediante intercambio con los cationes de calcio de las rocas fosfóricas.

3.3.4.2 Principales resultados alcanzados con la utilización de las zeolitas en la nutrición vegetal

- La aplicación de zeolita debe realizarse preferentemente en el momento de la siembra, junto con la materia orgánica o con la fertilización de base del cultivo (Zeolita de uso agrícola, 2015)
- En el cultivo del jitomate, el uso de zeolita en la etapa de almácigo garantiza más del 95% de supervivencia y la reducción de esta etapa entre 3 y 5 días, obteniéndose plantas más vigorosas y sanas. Además aumenta la eficiencia del

riego de un 25% (Iñamagua, 2010). El trabajo de García Lozano (2011) menciona que el uso de tezontle y zeolita como sustratos para la producción de plántulas de jitomate por parte de trabajos anteriores demostró que los mejores sustratos fueron la zeolita y tezontle con granulometría fina y media

- El uso de zeolita se ve fortalecido con investigaciones en las fases más importantes del desarrollo plantular, la germinación y su posterior desarrollo, hasta que la plántula está lista para un potencial trasplante. Cabrera (2011) logró altos porcentajes de germinación usando zeolita como sustrato. Por otro lado Reyes *et al.*, (2011) apuntan también que los niveles de supervivencia de las plántulas puede llegar al 100% usando como sustratos un mezcla de zeolita y de cachaza, más una adición fitohormonal. Jiménez *et al.*, (2012) también reportan que los sustratos con base en lombricomposta y zeolita elevaron la altura de los cultivos bajo estudio

El cuadro 2, brinda más información al respecto sobre la aplicación de la zeolita en diferentes cultivos y en diferentes etapas de los mismos (Recuperado de <http://hidrogelcolombia.es.tl/Zeolita-uso-agr%EDcola.htm>, 10/10/16).

Cuadro 2. Aplicación de zeolita en diferentes cultivos para generar un incremento en la producción

Cultivo	Dosis
Papa	40 - 60 (g m ⁻²)
Tomate	20 - 40 (g planta ⁻¹)
Banano	50 - 100 (g planta ⁻¹)
Flores (enraizamiento)	15 - 20 % sustrato
Flores (producción)	50 - 100 (g m ⁻²)
Hortalizas	50 - 80 (g m ⁻²)
Frutales y Árboles	500 - 1000 (g planta ⁻¹)
Arroz	20 - 40 (g m ⁻²)
Leguminosas	20 - 40 (g m ⁻²)

3.4 Problemas más frecuentes que presentan los sustratos

Problemas de Concepto. Uno de los problemas más importantes del cultivo de plantas en sustrato, es la existencia de un error conceptual en la mayor parte de los establecimientos comerciales, donde se prioriza el costo económico y la simplicidad de la mezcla (un único sustrato de crecimiento para un número excesivamente grande de especies), en lugar de intentar satisfacer los requerimientos de cada especie cultivada. Las razones para que ello ocurra se encuentran en un desconocimiento de la respuesta a diferentes combinaciones de la mayor parte de las especies (Di Benedetto, 2000).

En este sentido, se debe entender que las características de los sustratos deben ser diferentes en función de su finalidad. Distintas características deberían tener los sustratos destinados al enraizamiento de estacas o al crecimiento y desarrollo de diferentes especies vegetales. No obstante, se debe ir más allá, ya que se tiene constancia de que las propiedades de los sustratos inducen características diferenciales de las plantas que crecen en ellos. De esta forma, se

pueden obtener plantas, cuyo destino sea trasplantarlas a un terreno definitivo (como es el caso de plantas arbustivas), que sean más competitivas que otras plantas cultivadas en distintas condiciones (Pastor, 1999).

Problemas de Manejo. La propia experiencia dentro de los viveros que utilizan los sustratos como medio de cultivo, demuestran que el propio manejo del sustrato es una de las claves del éxito de la explotación. Es el correcto uso del sustrato, sobre todo respecto de la gestión del agua y el oxígeno, la que abre la puerta de una producción adecuada. Un buen sustrato puede comportarse de manera muy deficiente si no se maneja adecuadamente. Esto obliga a que el viverista deba conocer minuciosamente las características de los sustratos si se quiere optimizar su utilización (Pastor, 1999).

Problemas de precio. El productor que ha decidido utilizar como medio de cultivo un sustrato agrícola debe decidir si lo compra listo para ser usado o si adquiere los materiales en forma separada para, posteriormente, preparar la mezcla más adecuada a sus necesidades. Muchas veces el desconocimiento de los pasos y materiales involucrados en la preparación de las mezclas de sustratos conducen al agricultor a tomar decisiones equivocadas (Nelson, 1998).

En consecuencia, el precio del sustrato ha de ser accesible y lo más económico posible. Como es lógico, el precio acostumbra ser elevado para aquellos materiales cuyos centros de consumo se encuentran alejados de los puntos de extracción o fabricación (es el caso de las turberas). Esto ha abierto nuevas expectativas de materiales que hasta hace poco tiempo no eran considerados (Nelson, 1998).

Problemas de reproductividad y disponibilidad. Actualmente, el suministro y homogeneidad de los sustratos es uno de los problemas más importantes desde el punto de vista práctico. Turbas, lanas de roca, perlita, vermiculita, fibra de coco, etc., presentan importantes diferencias, al nivel de suministro y calidad de los materiales, en cada uno de los diferentes centros de producción o fabricación (Abad, 1993a).

En este sentido, el sustrato ha de estar disponible al viverista en cualquier época del año y ha de mantenerse una homogeneidad en la calidad del material a lo largo del tiempo. Es decir, no deben producirse variaciones significativas de las características del sustrato, ya que esto obligaría al viverista a modificar su manejo cada vez que recibe una nueva partida, lo que desde el punto de vista práctico y económico resulta poco operativo (Abad, 1993b; Burés, 1997; Pastor, 1999).

Problemas ambientales. La mayor sensibilización social hacia el agotamiento de los recursos no renovables y la protección medio ambiental está afectando las mezclas de materiales que pueden formar parte de un sustrato agrícola (Lemaire, 1997; Pastor, 1999).

Consecuentemente, cada día un mayor número de países está implementando fuertes restricciones a la extracción indiscriminada de materiales autóctonos como una forma de proteger sus ecosistemas (Carlite, 1999). Junto a ello, gran parte de la investigación adicional en sustratos se dedica a estudiar el impacto ambiental asociado a su producción, como una forma de reducir el uso de pesticidas, sustancias nutritivas y surfactantes en las mezclas (Riviére y Caron, 2001).

En ese sentido, han ido apareciendo en el mercado materiales “ecológicamente correctos”, como los procedentes del reciclaje de subproductos que son a la vez biodegradables o reciclables (Burés, 1997).

Los nuevos tiempos están haciendo que todos estos materiales alternativos estén siendo cada vez más atractivos para poder ser incluidos en la dinámica productiva de las explotaciones, tanto solos (si sus características lo permiten), como mezclados con materiales tradicionales. Es aquí donde la investigación juega un papel importante a la hora de estudiar y ensayar las mezclas adecuadas, establecer la necesidad de biotransformar los distintos materiales, y evaluar el impacto social y ambiental que la producción de estos materiales trae consigo (Pastor, 1999; Riviére y Caron, 2001).

La utilización de este tipo de materiales ofrece dos ventajas fundamentales:

a) Las materias primas o los materiales utilizados en la fabricación de los sustratos tienen un costo alternativo menor que algunos materiales tradicionales. Esto ocurre como consecuencia de la naturaleza de los componentes, puesto que en una gran mayoría se constituyen por materiales de origen autóctonos, de gran disponibilidad y bajo costo (Rainbow y Wilson, 1998)

b) Desde el punto de vista ecológico y económico, la biotransformación resulta ser uno de los métodos más favorables para el tratamiento de una gran cantidad de residuos orgánicos. Esto debido a que integra y da una finalidad productiva a materiales secundarios de otros procesos productivos (incluso industriales) que de otra manera hubiesen acabado acumulándose en pilas gigantescas sin ninguna otra utilización (Pastor, 1999).

Problemas de investigación. Actualmente, el conocimiento base de los sustratos provenientes de antiguos trabajos de sustratos y ciencias del suelo, resulta en algunos casos insatisfactorio. Adicionalmente, las nuevas metodologías propuestas para su reemplazo aún no han sido completamente probadas o estandarizadas, motivo por el cual no se han considerado como un conocimiento de referencia. Por este motivo, parte de la investigación debe dirigirse a incrementar la consistencia de los resultados analíticos y elaborar protocolos que faciliten su interpretación (Riviére y Caron, 2001).

El sustrato, además de sostén, deberá aportar cantidades considerables de elementos nutritivos que satisfagan las demandas del cultivo. Una alternativa, es mezclar composta con medios inertes (Castillo et al., 2000; Hashemimajd *et al.*, 2004).

Briceño *et al.*, (2008), señalan el papel de gran importancia que tienen los sustratos en la germinación de las semillas, por lo que los aspectos biológicos van a la par de los aspectos físicos, químicos y económicos al momento de elegir un sustrato idóneo para los cultivos que se desea propagar.

A diferencia del suelo de un vivero destinado a producir plantas a raíz desnuda, en la producción de plantas en contenedor, es deseable que el medio

tenga una baja fertilidad natural. Sustratos con altos niveles nutricionales, especialmente nitrógeno, pueden ser tóxicos para el proceso de germinación de algunas semillas. Además, la especie no requiere de apoyo nutricional durante las dos a tres primeras semanas de vida, eventualmente podría requerir un apoyo de fósforo, pero el resto de los nutrientes aún no son necesarios aplicar, en esta fase del manejo. Por otro lado, hay referencias que indican que en el cultivo intensivo de plantas, en el que las temperaturas están controladas y los niveles de nutrientes en el sustrato se acostumbra a ser altos, se produce una mayor absorción de agua y transpiración debido a que el tiempo de apertura de estomas es superior. Esto conlleva a que el riego es una parte esencial, del proceso y es también causa de que no se ocupe suelo agrícola con baja porosidad como sustrato agrícola (Abad, 1993b; Pastor, 1999; Quesada Roldán y Méndez Soto, 2005).

En el ambiente radical reside una parte importante de las condiciones preventivas de la protección del cultivo frente a las enfermedades. Una buena elección del sustrato y su acertado manejo, que da lugar a condiciones favorables para el crecimiento de la planta, constituyen medidas preventivas de mucha importancia. Además de esto, los sustratos orgánicos ofrecen posibilidades valiosas para la protección de los cultivos, que es conveniente aprovechar.

Las propiedades supresoras son comunes en los sustratos compostados y están relacionadas con factores físicos, químicos y biológicos. Por otra parte, hay un claro interés por el uso repetido de los sustratos por razones económicas, pero también por un temor a los riesgos fitopatológicos que esto conlleva. Sin embargo, los resultados de diversos trabajos indican la eficacia de la solarización para mantener el sustrato reutilizado libre de patógenos.

Otro problema común en el manejo de los sustratos, es el riego, que debe dirigirse a conseguir suficiente capacidad de aire para la respiración radical y un volumen adecuado de solución nutriente retenida a baja presión, lo cual en sustratos de granulometría muy fina es difícil de conseguir, pero se resuelve reduciendo la frecuencia del riego.

Algunos sustratos requieren además un tratamiento químico inicial para que puedan ser empleados. Es frecuente que el pH del material no sea inicialmente el conveniente (Moncada *et al.*, 2008; Martínez y Roca, 2012).

3.5 Cultivos empleados

3.5.1 Berenjena (*Solanum melongena* L.)

En el caso de la berenjena, México es más bien un exportador que un consumidor, siendo Estados Unidos el principal comprador de la producción nacional. Es importante destacar que la berenjena aunque presente desde 1932 (37 hectáreas y una producción de 400 toneladas) en el mercado nacional, este cultivo se ha dado a conocer como un cultivo no tradicional, es decir “aquellos productos que aunque no destacan en las estadísticas comerciales o de producción, son importantes generadores de ingreso a nivel microrregional; muchos de ellos de

reciente introducción en la agricultura nacional o su explotación es prácticamente inexistente, no obstante, su gran potencial comercial (Ramírez-Farías, 1997).

La berenjena, al igual que otros productos hortofrutícolas originarios de otros continentes, ha encontrado en nuestro país, las características adecuadas para su desarrollo. Esta hortaliza presenta, pues, perspectivas muy favorables para la conversión agrícola en México, máxime que casi la totalidad se exporta y genera mayores beneficios económicos que los productores tradicionales, que deben enfrentar mercados saturados (Ramírez-Farías, 1997).

Dentro del actual sistema de producción de berenjena, se presentan algunas limitaciones tecnológicas, algunas de estas limitantes son, la cobertura de la demanda de plántulas, y la calidad de los sustratos empleados en dicho proceso.

Moreira *et al.* (2010) evaluaron diferentes sustratos y dosis de fertilizantes para la producción de plántulas de berenjena de óptima calidad, donde el polvo de coco asociado con dosis de 16.30 a 20.41 g de fertilizantes permitió una mayor producción de materia fresca y seca tanto de la parte aérea como de la radical.

Considerando que la germinación de las semillas involucra una serie de eventos metabólicos, que tributan a la obtención de una plántula y que esta depende a su vez de la calidad del sustrato; una gran variedad han sido empleados en la producción de plántulas de berenjena. Así mismo Araméndiz *et al.*, (2013) señalan que el índice de velocidad y porcentaje de germinación no se ven afectados por la composición del sustrato.

De los estudios sobre la berenjena, el desarrollado por Mukherjee (2014) destaca por la comparación entre la producción de cultivos con insumos químicos y la producción de una granja ecológica. Siendo los cultivos de berenjena mayores bajo la producción orgánica.

3.5.2 Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.)

El empleo de sustratos orgánicos ha dado diversas respuestas en la producción de jitomate en invernadero. Márquez y Cano (2005) determinaron que los elementos nutritivos presentes en vermicompostas, fueron suficientes para obtener producciones aceptables en jitomate cherry. En tanto, Moreno *et al.* (2005) encontraron que la vermicomposta mezclada con arena al 12.5 y 50 % produjeron rendimientos similares en jitomate en invernadero.

En cambio, Márquez *et al.* (2008) registraron que con mezclas de vermicomposta con sustratos inertes al 37.5 y 50 % se cubrieron las necesidades nutricionales del cultivo de jitomate.

Por otra parte, Manjarrez *et al.* (1999) mencionaron que la vermicomposta como sustrato permitió satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos en invernadero, así como reducir significativamente el uso de fertilizantes sintéticos. Además, las compostas y vermicompostas se han utilizado como sustratos debido a su bajo costo (Rodríguez *et al.*, 2008). De los principales elementos nutritivos presentes en las compostas y vermicompostas, del 70 al 80 % de fósforo y del 80 al 90 % de potasio están disponibles el primer año (Eghball *et al.*, 2000). Mientras que, el nitrógeno debe de mineralizarse para poder ser absorbido por la planta

(Heeb *et al.*, 2005), durante el primer año, sólo se mineraliza el 11 % del nitrógeno (Márquez *et al.*, 2008). Rincón (2002) determinó que se necesitan 3, 1, 5, 2.5 y 1 kg de N, P₂O₃, KO, Ca y Mg, respectivamente, por tonelada de jitomate producido.

En 2004, la producción orgánica nacional de jitomate se llevó a cabo en 380 ha con rendimientos promedio de 10 t ha⁻¹, con un precio 5.84 veces mayor que el convencional (Anónimo, 2005). En condiciones de invernadero se han obtenido rendimientos de 90 t ha⁻¹ cuando se fertiliza con gallinaza (Tuzel *et al.*, 2003) y de 100 t ha⁻¹ con compostas y vermicomposta (Márquez *et al.*, 2008), es decir, la producción orgánica en invernadero aumenta la relación beneficio-costos (Márquez *et al.*, 2008).

Las compostas y vermicompostas favorecen el desarrollo de jitomate en invernadero, lo que se atribuyó al contenido de sus elementos nutritivos. Por lo que se infiere que las necesidades nutritivas del cultivo fueron satisfechas con las diferentes mezclas empleadas en el presente estudio. Esto concordó con lo establecido por Atiyeh *et al.* (2000), quienes destacaron que los sustratos orgánicos favorecieron el desarrollo de los cultivos en invernadero. El agua de riego utilizada en el presente estudio fue clasificada como C1S1, la cual equivale a un agua de bajo riesgo de salinización y alcalinización (Ayers & Westcott 1994; Anónimo, 2004, Cruz-Lázaro *et al.*, 2009).

El efecto significativo de las fuentes de variación del sustrato, niveles de sustrato y su combinación sobre el rendimiento del fruto indicó que las características como tipo, nivel y cantidad influyeron sobre el rendimiento (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2007).

Plantas de jitomate en diferentes mezclas evaluadas, presentaron una mayor altura con una mezcla de vermicomposta al 50 % + arena. Una mayor altura conlleva al aumento en número de hojas y por tanto, al mayor contenido de clorofila (Rodríguez *et al.*, 1998; Márquez-Hernández *et al.*, 2005).

Dentro de las prácticas de producción orgánica de jitomate, el trabajo de Cano *et al.* (2004) demuestra el manejo bajo dos circunstancias diferentes, una donde variaba el contenido de vermiculita y de arena de río, siendo la composición de 12.5% de vermiculita, la que presentó mayor calidad. Este trabajo consideró además el uso de diferentes variedades de jitomates, la variedad Andre presentó mejores resultados. Mientras que la variedad cherry se comportó mejor en un sustrato de 50% de lombricomposta y 50 % de arena. En ambos casos, los autores sostienen que la implicación de una producción orgánica con alta calidad puede compensar el bajo rendimiento en comparación con sistemas tradicionales, destacando los ahorros al no gastar en fertilizantes, y más importante el mínimo impacto de los cultivos en el agroecosistema.

En contraste, Márquez *et al.* (2008) señalan que el costo de los jitomates orgánicos puede alcanzar un precio de casi seis veces con respecto a los producidos de forma convencional, y proponen cuatro mezclas con resultados sobresalientes en condiciones de invernadero (9.14 veces más que la producción de jitomate orgánico en campo), dichas mezclas son lombricomposta (50%) y arena (50%), lombricomposta (63%) y perlita (37%), lombricomposta (50%) y perlita (50%) y biocomposta (62.5%) con perlita (37.5%), estas mezclas aportaron una producción media de 91.42 t ha⁻¹.

3.5.3 Pimiento (*Capsicum annumm var. annumm*)

El pimiento Morrón es la hortaliza que, después del jitomate, más se produce bajo invernaderos. El chile es el 8° cultivo con mayor valor generado en la agricultura nacional, alcanzando alrededor de 13 mil mdp anualmente, con un volumen de producción promedio de 2.2 millones de toneladas, del cual se exportan cerca de 900 mil toneladas (SAGARPA, 2016).

Puerta *et al.*, (2012) realizaron análisis físicos y químicos de sustratos con base en fibra de coco, más seis materiales diferentes, las mezclas fueron en proporción 1:1, la mezcla de cachaza de caña y fibra de coco resultó ser la alternativa más viable de producción de pimiento morrón, sin embargo, no presentan un análisis costo-beneficio que compare los resultados obtenidos entre los otros sustratos y el que contiene cachaza para determinar que este es el más viable.

3.6 Calidad de la planta

¿Qué es una planta de calidad? Duryea (1985) la define como aquella que es capaz de alcanzar un desarrollo (supervivencia y crecimiento) óptimo en un medio determinado y, por tanto, cumplir los objetivos establecidos de propagación. No existe un único modelo de calidad ideal para cada especie. Una calidad de planta determinada puede ser válida para ciertos objetivos, pero no para otros. La calidad de una planta cambia en el tiempo, variando con su estado fenológico y, probablemente, con su edad.

Este concepto es de gran interés en la actualidad, debido a que en una plantación se trata de predecir su éxito con base a índices de calidad de las mismas (Juárez, 2011), dónde se requiere considerar aspectos morfológicos (Alarcón *et al.*, 2001). La calidad de la planta se ve determinada por sus características genéticas, sanitarias, morfológicas y fisiológicas. La primera hace referencia al origen de la semilla o los otros materiales de reproducción a partir de los que se obtuvo el plantón. Numerosas especies presentan variaciones funcionales entre poblaciones dando lugar a ecotipos que presentan diferentes capacidades de respuesta a determinados factores abióticos y bióticos. La calidad morfológica y fisiológica de una planta depende, en gran medida, de sus características genéticas y se refiere a los estados que pueden adoptar un conjunto de atributos funcionales más o menos plásticos relacionados con la economía hídrica y de carbono de la planta (Villar, 2003).

Por lo tanto para determinar la calidad de las plántulas producidas en vivero se usa el índice de calidad de Dickson (QI), este índice integra la relación entre la masa seca total de la planta, el índice de esbeltez y la relación parte seca aérea/parte seca radical. Este índice se ha empleado con éxito para determinar la calidad de las plantas de diferentes especies (Robles, 2010, Chávez *et al.*, 2014).

En otros trabajos previos de producción de plántulas, Kubota *et al.* (2015), indican que independientemente del tipo de sustrato empleado, es el tamaño del contenedor el factor determinante en la calidad de las plántulas, considerando que eso favorece el equilibrio entre el generado entre la parte área y la parte radical.

IV. Justificación

Las tres hortalizas bajo estudio, tienen una alta demanda en el consumo humano, dos de ellas, el pimiento y el jitomate, en el mercado interno nacional y la berenjena en el mercado de exportación, por lo que la producción de plántulas orgánicas de bajo costo representa un nicho de mercado que no ha sido explotado en su totalidad pero que ante el incremento de huertos urbanos y de producción en vivero, puede ser una oportunidad de mantener la demanda de estos cultivos sin aumentar el deterioro del ambiente. Por ello también resulta importante el uso de residuos orgánicos que mediante un proceso de manejo, puedan convertirse en sustratos de bajo costo y alto rendimiento, que favorezcan que los productores de plántulas incrementen sus ganancias y el consumidor adquiera un producto de alta calidad.

V. Preguntas de investigación

¿La adición de zeolita a un sustrato orgánico incrementa la emergencia y el vigor de las plántulas de jitomate, berenjena y pimiento morrón?

VI. Objetivos

6.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de dos sustratos orgánicos enriquecidos con zeolita, en la emergencia y vigor de plántulas de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L. var. *annuum*), jitomate guaje (*Solanum lycopersicum* L.) y berenjena (*Solanum melongena* L.)

6.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas y químicas de dos abonos orgánicos: composta y bokashi
- Evaluar el efecto de la mezcla de zeolita fina con cada sustrato en una concentración del 25 %, 50 % y 75 % en la emergencia y vigor de las plántulas hortícolas.
- Realizar un análisis costo-beneficio para cada especie.

VII. Hipótesis

Por sus características físicas y químicas, y su funcionalidad semejante al complejo arcilla-humus, la zeolita en diferentes proporciones (en un sustrato orgánico), favorecerá la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes y por ende tendrá un efecto directo en la calidad de las plántulas de jitomate, pimiento morrón y berenjena.

VIII. Método

El desarrollo del presente proyecto se llevó a cabo en dos partes, la primera correspondiente a la elaboración y caracterización de sustratos, y la otra correspondiente a la evaluación de las variables de respuesta del desarrollo plantular.

8.1 Sustratos

8.1.1 Elaboración de los abonos

8.1.1.1 Bokashi

La técnica de elaboración fue la citada por Molina (2014). El bokashi se preparó mezclando los componentes presentes en el cuadro 3. La proporción de los componentes se hizo para obtener una proporción C/N=30, para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$X = \frac{(30 \text{ veces } Nn) - Cn}{Cc - (30 \text{ veces } Nc)}$$

Donde:

X= Cantidad en peso del material rico en carbono, para cada parte de nitrógeno

Nn= % de nitrógeno, en el material rico en N

Cn= % de carbono, en el material rico en N

Nc= % nitrógeno, en el material rico en C

Cc= % de carbono, en el material rico en C

Los materiales se mezclaron sobre un plástico negro, humedeciendo con agua azucarada y piloncillo, hasta obtener una mezcla homogénea y después se envolvió con el plástico de tal manera que el calor generado en el interior se conservara. Tras 30 días, el Bokashi estuvo en condiciones de ser empleado, mientras tanto se almacenó en un lugar techado. El bokashi se elaboró en abril de 2015.

Cuadro 3. Componentes para la elaboración de 320 kg de bokashi

Componente	Cantidad
	kg
Estiércoles	80
Desechos de jardín secos	40
Desechos de jardín frescos	40
Carbón vegetal y salvado	40
Harina de roca	40
Suelo de monte	40
Cal agrícola	40

Piloncillo	5
Levadura de pan	1

8.1.1.2 Composta

La composta que se utilizó se preparó de acuerdo a una modificación de la propuesta de Rudolf Steiner. El procedimiento consistió de dos partes, la realización de bolitas de estiércol rellenas de plantas medicinales, y la preparación de la pila de composta.

Para la preparación de las bolitas de estiércol, se utilizaron para su relleno, las plantas que Steiner, propone en los preparados 502 al 507 (Cuadro 4). Primeramente se cortaron en trozos pequeños las plantas medicinales: milenrama, diente de león, ortiga y manzanilla, los que junto con los trozos de corteza de roble se introdujeron en las bolas de estiércol. A cada bola de estiércol, se le colocaron 5 g de cada una de las hierbas, teniendo cinco bolas de cada planta, la valeriana se colocó a razón de 500 g en 1 L de agua y se agitó para obtener el principio activo de la valeriana (Pfeiffer, 1992).

Los compuestos para la pila de composta se agregaron para mantener una proporción de C/N: 30 para ello se usaron las proporciones de los principales componentes para 100 kg de composta (Cuadro 5).

Además se le adicionaron 100 g de roca fosfórica, 100 g de zeolita y microorganismos eficientes (consorcio de bacterias y hongos) (2 L m⁻²).

Las capas de composta consistieron de pasto y hojarasca, estiércol, materia orgánica, roca fosfórica, zeolita y cultivo de microorganismos. El radio de la composta fue de 3 m con una altura de 1.5 m. Al tener la pila completa, con un tronco de unos 10 cm de diámetro se realizaron agujeros a 45° con respecto al suelo en la composta y se agregaron en el orden correspondiente las bolitas de estiércol, comenzando por el preparado de milenrama hasta el preparado de diente de león, al finalizar el preparado de valeriana se agregó en el agua de riego a la composta hasta mantener un 65 % de humedad, cuantificada con la prueba del puño.

La pila se envolvió con un plástico y se dejó en proceso de composteo hasta que los materiales fueron totalmente degradados, hasta presentar una apariencia semejante a la tierra de monte (seis meses).

Cuadro 4. Plantas medicinales utilizadas en la composta biodinámica y el efecto que tienen en los cultivos.

Compuesto	Contenido	Efectos
502	Milenrama	Estimula el empleo de azufre y potasio en las plantas
503	Manzanilla	Contiene hormonas de crecimiento
504	Ortiga	Evita procesos de fermentación anormales y la pérdida de nitrógeno.
505	Corteza de roble	Refuerza el vigor de los vegetales y la resistencia a enfermedades
506	Diente de león	Favorece las actividad bacteriana
507	Valeriana	Estimula la asimilación y vivificación de colores para captación de

Cuadro 5. Componentes empleados para la elaboración de 200 kg de composta biodinámica

Cantidad	Componente
— kg —	
90.74	Materia orgánica fresca
116	Estiércol
102	Pasto

8.1.2 Preparación de los sustratos

Se prepararon los sustratos, mezclando composta/tezontle/zeolita y bokashi/tezontle/zeolita en diferentes proporciones (Cuadro 6).

Cuadro 6. Composición porcentual de los sustratos adicionados con zeolita

Sustrato	Composta	Bokashi	Tezontle	Zeolita
	%			
1	37.5	0	37.5	25
1	25	0	25	50
1	12.5	0	12.5	75
2	0	37.5	37.5	25
2	0	25	25	50
2	0	12.5	12.5	75

8.1.3 Caracterización de los sustratos

Se realizó la caracterización de los sustratos, mediante análisis químicos y físicos en el laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal de la UMIEZ de la FES Zaragoza.

Se tomó 1 kg de cada sustrato para los análisis y cada parámetro se determinó por triplicado.

8.1.3.1 Parámetros físicos

- **Densidad real y aparente.** Por el método del picnómetro para la densidad real, se realizaron tres repeticiones por cada muestra. En el caso de la densidad aparente, se empleó además el método del cilindro (NOM-021-SEMARNAT-2000).
- **Porosidad total.** Mediante la relación la densidad real y aparente.
- **Capacidad de campo.** Se realizó por el método gravitatorio.

8.1.3.2 Parámetros químicos

La descripción detallada de los métodos empleados se encuentra en el Anexo 1 del presente trabajo.

- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC).** Se realizó empleando el método del versenato (EDTA).
- **pH.** La determinación del pH del suelo medido en agua (1:2).
- **Conductividad eléctrica.** La medición se realizó con el método citado por Cruz y Guerra (2014). Tomando la conductividad de los diferentes sustratos en una suspensión 1:2 de agua destilada y tomando la CE tras 24 h después de agitar y dejar en suspensión.
- **Materia orgánica (MO).** La determinación de materia orgánica del suelo se evaluó a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black.
- **Nitrógeno total.** Se utilizó el método para determinación de nitrógeno de Kjeldahl modificado por tratarse de abonos orgánicos que son ricos en compuestos nitrogenados.

8.2 Desarrollo plantular.

Los parámetros registrados fueron, número de hojas, diámetro del tallo en la base de la plántula y altura desde la base hasta el último primordio foliar en desarrollo. Se dejaron transcurrir 60 días desde la siembra de las semillas para comenzar a trasplantar las plantas de los semilleros, tiempo suficiente para que se registraran 15 cm de altura en las plántulas más altas. Al ser trasplantadas, se midieron el diámetro, altura alcanzada, número de hojas, peso en fresco de tallo y de raíz y posteriormente fueron puestas a desecación para obtener el peso en seco de estas muestras.

8.2.1 Arreglo de los tratamientos

Cada especie se evaluó en los 12 tratamientos (cuadro 7), con cinco repeticiones por tratamiento, y cada repetición constó de 24 celdas. Lo que generó un total de 120 celdas por cada especie y por tratamiento.

Los almácigos fueron marcados con un abate lenguas de color rojo para las celdas que contenían jitomates, uno verde para pimiento y uno morado en el caso de las berenjenas.

Los almácigos fueron distribuidos al azar en mesas dentro de un invernadero de diente de sierra. Esta distribución además contempló la mayor homogeneidad en cuanto a la cantidad de luz que recibían los almácigos. Para ello se realizó una prueba de intensidad de luz dentro del invernadero a fin de distribuir los almácigos en la zona que presente la mayor homogeneidad de luz, así como un mayor tiempo de luz directa.

En total, se prepararon 12 mezclas de sustratos, cada una con dos repeticiones (Cuadro 7).

Cuadro 7. Arreglo total de sustratos empleados en los almácigos

Mezcla	Zeolita	Tezontle	Bokashi	Composta
	%			
Zeo	100	0	0	0

Tez	0	100	0	0
Boc	0	0	100	0
Com	0	0	0	100
B-T	0	50	50	0
C-T	0	50	0	50
Z25B	25	37.5	37.5	0
Z25C	25	37.5	0	37.5
Z50B	50	25	25	0
Z50C	50	25	0	25
Z75B	75	12.5	12.5	0
Z75C	75	12.5	0	12.5

Zeolita (Zeo), Tezontle (Tez), Bokashi (Boc) y Composta (Com); binarios: composta/tezontle (C-T) y bokashi/tezontle (B-T); seis mezclas con incrementos de zeolita: zeolita al 25 % con bokashi y con composta (Z25B y Z25C respectivamente), zeolita al 50 % (Z50B y Z50C) y zeolita al 75 % (Z75B y Z75C).

8.2.2 Siembra en almácigo

Las semillas de las tres especies se sembraron en cada sustrato utilizando para ello almácigos (semilleros) de plástico de 72 celdas por charola. Se colocaron dos semillas por celda a la profundidad indicada para cada especie (jitomate y pimiento morrón 0.5 cm, berenjena 1 cm).

Los almácigos fueron colocados en la parte central del invernadero, en donde la incidencia de luz se presenta en la Figura. 1.

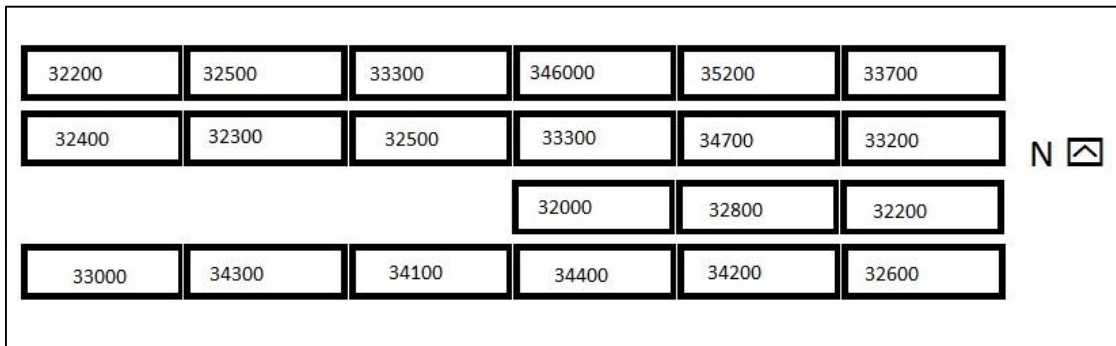


Figura 1. Intensidad lumínica incidente sobre cada almácigo (Lux)

8.2.3 Variables de respuesta

Emergencia. Diariamente se evaluó el porcentaje de emergencia para calcular el tiempo medio y el porcentaje final. El proceso de siembra de semillas se realizó el 22 de septiembre de 2015. Se colocaron dos semillas en cada celda, sembrándose un total de cinco repeticiones por cada especie por cada tratamiento, a partir de ese momento se comenzó a contabilizar cada día el número de emergencias, que se presentaban, así como el sustrato de pertenencia y en que repetición se encontraban.

Supervivencia. Se evaluó mediante el registro diario de las plántulas que sobrevivieron a lo largo del proceso de crecimiento.

Diámetro. Mediante el uso de un vernier se midió el diámetro de cada plántula a partir de su emergencia hasta alcanzar una altura de 20 cm.

Número de hojas. Se registró diariamente el número de hojas de cada plántula.

Longitud del tallo. Se midió la longitud del tallo, con una regla.

Índice Tallo-Raíz (ITR). Es la relación entre la parte transpirante y la parte absorbente, normalmente se calcula mediante los pesos secos de cada una de las partes (Birchler *et al.*, 1998). Para obtenerlo, se tomó el peso en seco de cada una de las partes por separado tras haber sido secadas en una estufa por 48 h a 40 °C.

$$ITR = \frac{\text{Peso en seco tallo (g)}}{\text{Peso en seco de la raíz (g)}}$$

Índice de Esbeltez (IE). Es la relación de la altura (en cm) y el diámetro de la planta (en mm) representando un indicador de la densidad del cultivo. Este es un parámetro importante para las plantas que se cultivan en contenedor (Thompson, 1985; Birchler, *et al.*, 1998).

$$IE = \frac{\text{Diámetro del tallo (mm)}}{\frac{\text{Altura del tallo (cm)}}{10} + 2}$$

Índice de Dickson (IQ). Integra a los dos índices anteriores y se calcula mediante la relación entre el peso seco total de la planta (g) y la suma de la esbeltez; así como la relación parte aérea/parte radical (Birchler, *et al.*, 1998).

$$IQ = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura del tallo (cm)}}{\text{Diámetro del tallo (mm)}} + \frac{\text{Peso seco del tallo (g)}}{\text{Peso seco de la raíz (g)}}$$

Biomasa peso fresco y peso. Se seleccionaron al azar 10 plantas de cada almácigo por tratamiento y por especie, las cuales se pesaron después extraerlas del sustrato y, se secaron en una estufa a una temperatura de 70 °C para obtener su peso en seco. Se registraron el peso total, así como el peso por separado de la parte aérea y de la parte subterránea.

Presencia de plagas. Se identificaron la presencia y el tipo de plaga así como la zona de la plántula que afectó. Tras presentarse algún organismo perjudicial fue controlado por medio de dos biopreparados, uno de extracto de ortiga, 1:5 disuelto en agua y otro de extracto de ajo, cebolla y chile verde disuelto en agua, 1:5.

8.4 Análisis estadístico

Se realizaron test de Normalidad y comparación entre grupos mediante métodos paramétricos y no paramétricos usando el programa NCSS 2007®

Adicionalmente se realizó un análisis de componentes principales, utilizando el programa Infostat y XLSTAT®, para determinar la correlación entre las variables edáficas y las variables de respuesta plantular.

8.5 Análisis de rentabilidad

El análisis de rentabilidad se realizó tomando en cuenta el costo de los insumos y la mano de obra, para ello se tomó en cuenta el salario mínimo vigente para la Ciudad de México.

IX. Resultados

9.1 Análisis físico químico de los sustratos empleados

9.1.1 pH

Los sustratos que contienen bokashi, presentaron un nivel de alcalinidad menor ($p \leq 0.05$) en comparación con los que contienen composta (Cuadro 8). Los sustratos Z25B, Z50B y Z75B, son los que más se acercan a la neutralidad, por lo que se considerarían lo más conveniente para la propagación de los cultivos estudiados (Anexo 2).

Cuadro 8. Valores obtenidos de pH en los sustratos empleados

Muestra*	pH	Muestra	pH	Muestra	pH
Zeo	8.63 ^{ab}	BT	7.77 ^{ab}	CT	9.06 ^a
Com	9.05 ^a	Z25B	7.35 ^b	Z25C	8.14 ^{ab}
Tez	7.46 ^{ab}	Z50B	7.22 ^c	Z50C	7.64 ^{ab}
Boc	7.6 ^{ab}	Z75B	7.38 ^b	Z75C	7.98 ^{ab}

* Zeo, Zeolita; Tez, Tezontle; Boc, Bokashi; Com, Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %

9.1.2 Materia Orgánica

La tendencia general observada fue que en aquellos sustratos en donde se incrementó la zeolita, la materia orgánica disminuyó, presentando los valores más altos, los sustratos absolutos de composta (27.5 %) y bocashi (18.21 %), y los más bajos los sustratos inorgánicos, con 1.76 % para Tezontle y 1.99 % para zeolita (Fig. 2).

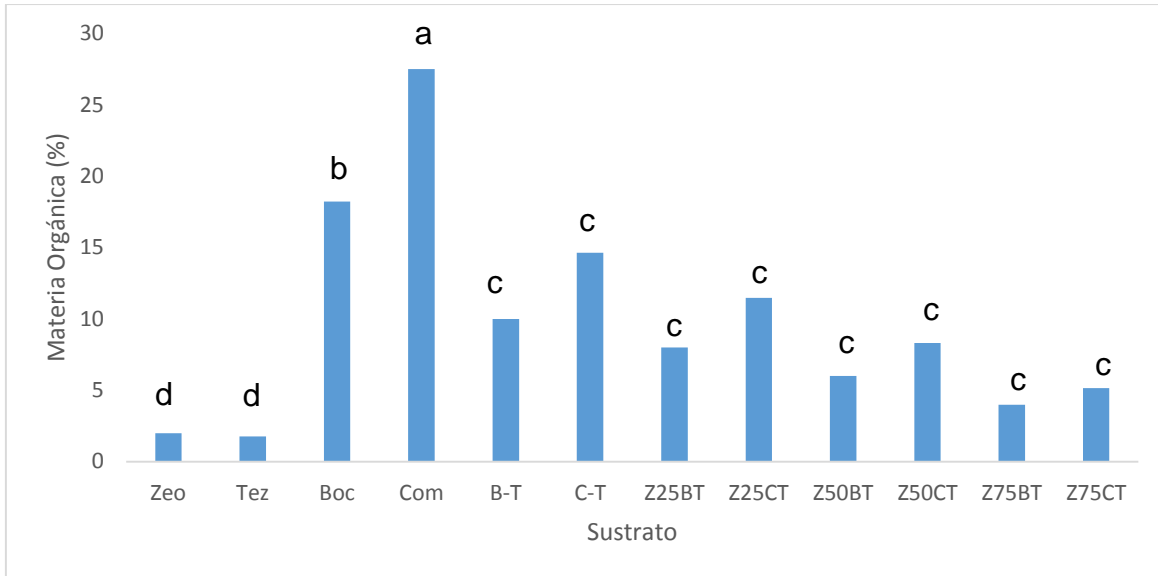


Figura 2. Porcentaje de materia orgánica en los sustratos

* Zeo, Zeolita; Tez, Tezontle; Boc, Bokashi; Com, Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50%; Z75B y Z75C, zeolita al 75%

9.1.3 Nitrógeno

El contenido de nitrógeno de cada sustrato fue relativamente similar entre los tratamientos; sin embargo, destacan dos sustratos, el binario de composta/tezontle, que posee una mayor cantidad de nitrógeno, y la mezcla de zeolita al 25% con bokashi, que posee la menor cantidad de nitrógeno (Fig.3).

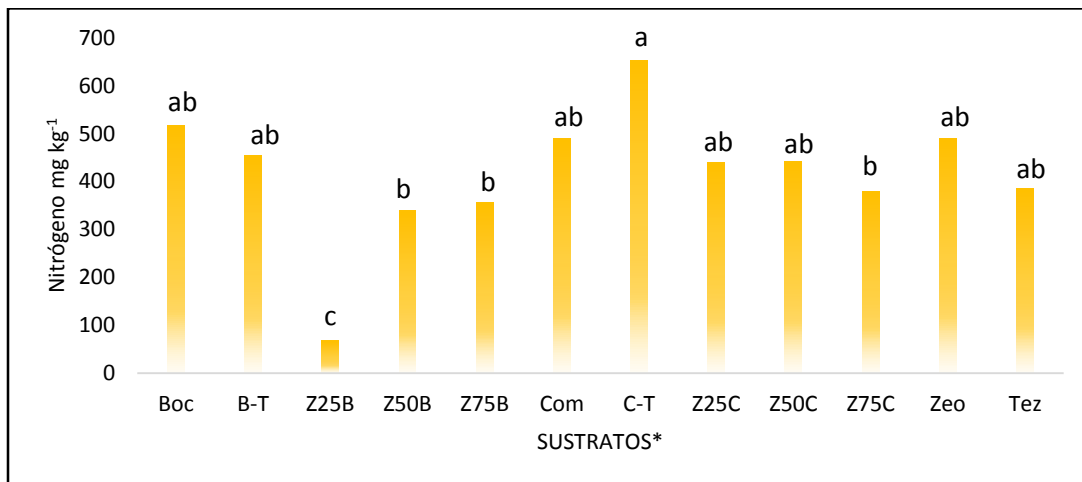


Figura 3. Contenido de nitrógeno en los sustratos expresado en mg kg⁻¹, de acuerdo a la NOM-021-2000

* Zeo, Zeolita; Tez, Tezontle; Boc, Bokashi; Com, Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50%; Z75B y Z75C, zeolita al 75%

9.1.3.1 Relación Carbono nitrógeno

Los resultados (Fig. 4), indican que no existe una relación clara entre los diferentes tratamientos y la relación C:N registranda, siendo más elevada en los tratamientos Com, Z75B y Z25B, los valores más bajos corresponden a los absolutos de Zeo y Tez.

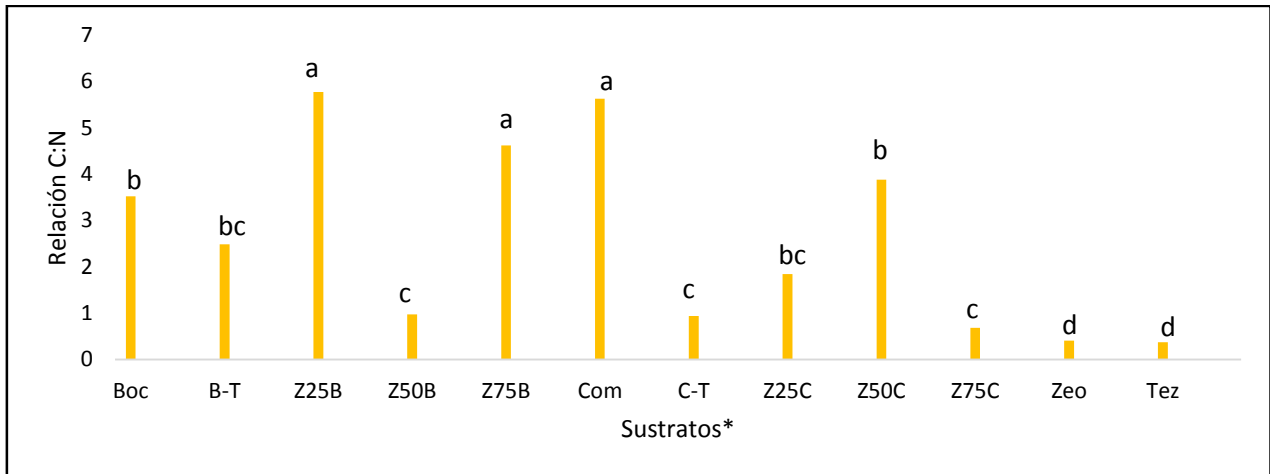


Figura 4. Relación C:N en los sustratos empleados ($p \leq 0.05$)

* Zeo, Zeolita; Tez, Tezontle; Boc, Bokashi; Com, Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %

9.1.4 Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica, en los sustratos va de 0.074 a 4.81 mS m^{-1} . De acuerdo a la norma oficial mexicana (NOM-021-2000), estos sustratos no presentan salinidad. Es importante resaltar que los testigos Tezontle y Zeolita presentaron los valores más bajos de conductividad eléctrica ($p \leq 0.05$), la composta el mayor valor y los demás sustratos presentaron valores intermedios (Fig. 5).

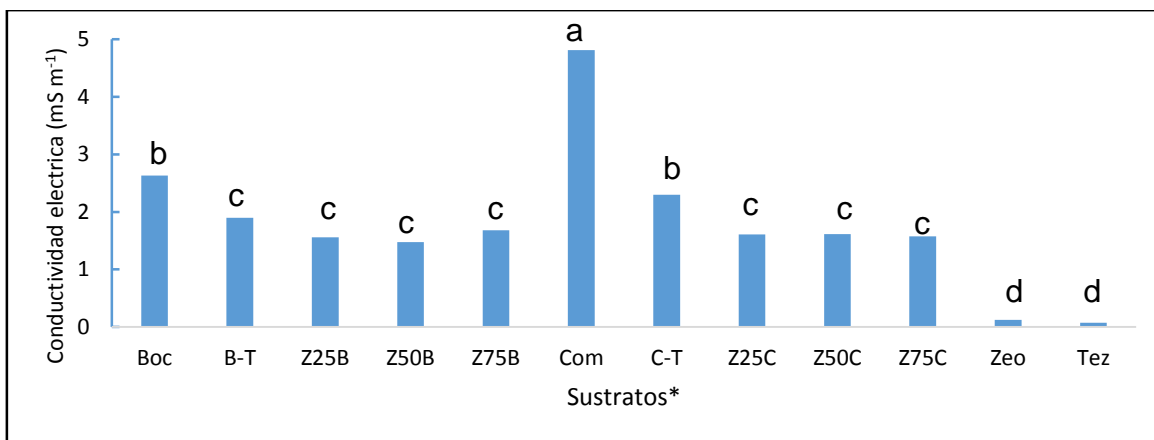


Figura 5. Conductividad eléctrica de los diferentes sustratos.

* Zeo, Zeolita; Tez, Tezontle; Boc, Bokashi; Com, Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %

9.1.5 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico entre los diferentes tratamientos (sustratos) presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

La tendencia observada fue que aquellos sustratos con un mayor porcentaje del componente orgánico, presentaron una mayor capacidad de intercambio catiónico. Los sustratos de los testigos absolutos bokashi y composta, fueron los que presentaron los mayores valores de capacidad de intercambio catiónico (nivel alto de acuerdo a la NOM-021) y el testigo absolutos de Zeolita, el cual incluso presentó el valor más alto. El tezontle presentó los menores valores (nivel muy bajo de acuerdo a la NOM-021) y aquellos sustratos con proporciones del 25 al 75 % de abono orgánico presentaron valores intermedios de capacidad de intercambio catiónico (nivel bajo de acuerdo a la NOM-021)(Cuadro 9).

Cuadro 9. Capacidad de intercambio catiónico promedio para cada uno de los sustratos

Muestra	CIC _{Total}	Muestra	CIC _{Total}
	cMol kg ⁻¹		cMol kg ⁻¹
Boc	27.6686 ^b	Com	34.9351 ^b
B-T	18.0964 ^c	C-T	17.1881 ^c
Z25B	13.4849 ^c	Z25C	15.3016 ^c
Z50B	12.9958 ^c	Z50C	15.6509 ^c
Z75B	14.7775 ^c	Z75C	14.3583 ^c
Tez	2.1659 ^d	Zeo	77.2 ^a

* Zeo, Zeolita; Tez, Tezontle; Boc, Bokashi; Com, Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %

9.1.6 Capacidad de campo

Los sustratos presentaron una capacidad de campo que va de 6 a 45.66%, los testigos absolutos Boc y Com presentaron los valores mayores (Fig. 6a), lo cual estuvo relacionado con el mayor porcentaje de supervivencia de plantas. Los demás sustratos no presentaron una tendencia clara, en cuanto a la proporción del componente orgánico y el mineral, sin embargo, la capacidad de campo presentó valores intermedios con una supervivencia intermedia, es importante mencionar que el sustrato C-T presentó el menor porcentaje de capacidad de campo con una menor supervivencia de plantas (Fig 6b).

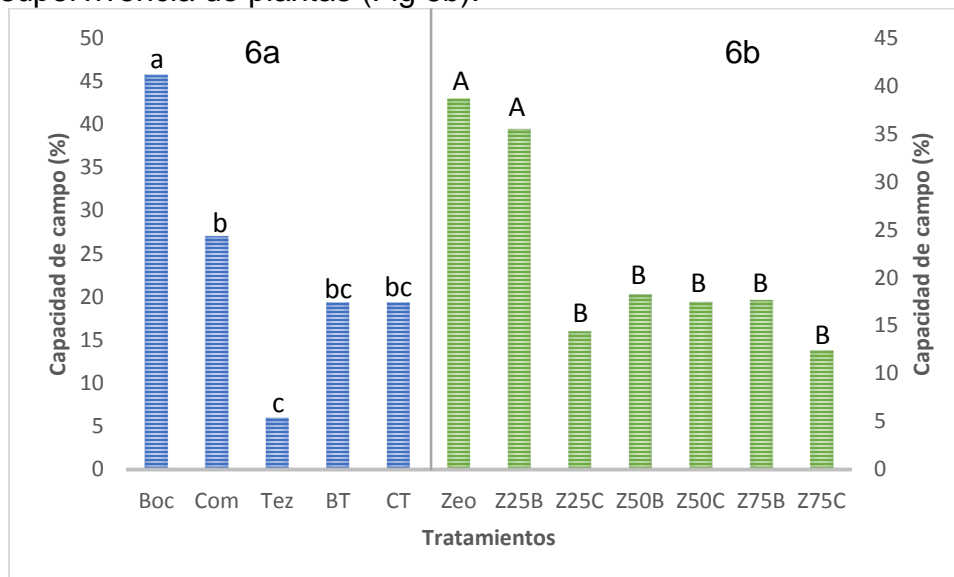


Figura 6. Capacidad de campo para cada uno de los sustratos

* Zeo, Zeolita; Tez, Tezontle; Boc, Bokashi; Com, Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %

9.1.7 Densidad real, aparente y espacio poroso

Los sustratos que presentaron los valores más altos de densidad aparente, real y espacio poroso, fueron Tez, Z50B y Zeo y los que presentaron los valores más bajos fueron Boc y C-T (Cuadro 10).

Cuadro 10. Resultados obtenidos de densidad y espacio poroso para cada sustrato

Sustrato	DR	Dac	EPc
	%		
Tez	1.1234 ^a	0.8267 ^{ab}	61.1693 ^a
Z25C	1.0893 ^a	0.8269 ^{ab}	16.4866 ^{cd}
Com	1.0486 ^a	0.6311 ^{bc}	30.6908 ^{bc}
Z50B	1.1074 ^a	0.7432 ^a	32.8749 ^b
Z50C	1.0742 ^a	0.9485 ^a	33.7144 ^b
Z75C	1.0988 ^a	0.7619 ^b	54.7759 ^a

Zeo	1.1122 ^a	1.0288 ^a	32.7419 ^b
Z75B	1.0143 ^s	0.7432 ^b	11.6993 ^d
Z25B	1.0823 ^s	0.7168 ^b	39.8644 ^b
BT	1.0636 ^s	0.4821 ^c	24.0835 ^c
CT	1.0616 ^s	0.7141 ^b	7.4885 ^d
Boc	1.0615 ^s	0.4122 ^c	26.2719 ^c

* Zeo, Zeolita; Tez, Tezontle; Boc, Bokashi; Com, Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 % DR densidad real, DAC densidad aparente por el método del cilindro, DAP, densidad aparente por el método de la probeta, EPP, espacio poroso método de la probeta, EPC, espacio poroso método del cilindro.

9.2 Desarrollo vegetal

9.2.1 Emergencia y supervivencia

9.2.1.1 Jitomate

La emergencia de plántulas presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$).

La zeolita presentó el 100 % de emergencia y el número promedio de días para alcanzar este valor fue de 50; el sustrato C-T presentó la menor emergencia (30 %) y los demás sustratos presentaron valores entre el 30 y el 100 %, con un número promedio de días para la emergencia de 60.

La supervivencia de plántulas de jitomate, fue del 100 % (Fig. 7), en todos los tratamientos, sin embargo, los sustratos absolutos (Zeo, Tez, Boc y Com) presentaron deficiencias nutrimentales después de 30 días de la emergencia.

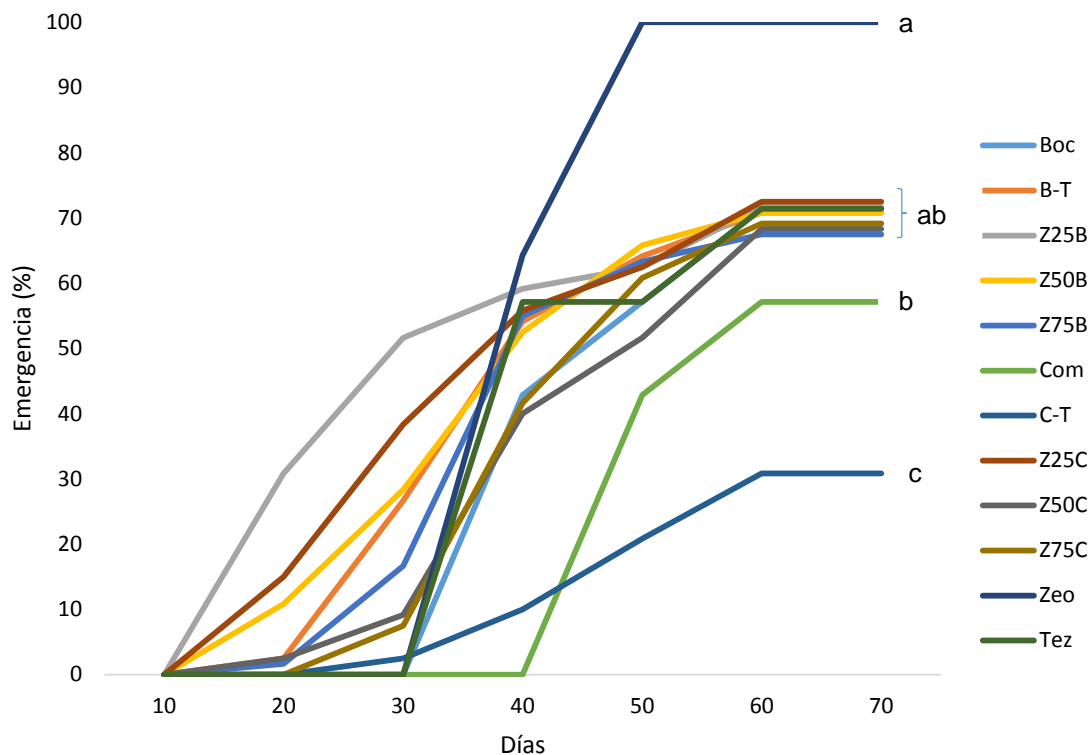


Figura 7. Porcentaje de emergencia de plántulas de jitomate.

* Las plántulas se contabilizaron desde la siembra hasta el tiempo necesario para que al menos en un tratamiento las plántulas alcanzaran una altura de 15 cm cuando menos. Zeo, Zeolita; Tez, Tezontle; Boc, Bokashi; Com, Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50%; Z75B y Z75C, zeolita al 75%

8.2.1.2 Pimiento morrón

La emergencia presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$).

El Boc presentó la mayor emergencia con un 80%, con un promedio de 50 días, y Z75B y C-T los menores porcentajes (12.5 y 19.6 % respectivamente) con un promedio de 60 días, los demás sustratos presentaron valores intermedios con un promedio entre 30 y 60 días (Fig. 8).

La supervivencia fue del 100 % en todos los tratamientos. A los 8 días después de la emergencia, se presentó herviboría por babosas dónde el 20 % de las plántulas fueron consumidas en 100 % de su área foliar, sin embargo después de las herviboría, las plántulas se recuperaron logrando sobrevivir el 100 % hasta el final del experimento (70 días) (Fig.8).

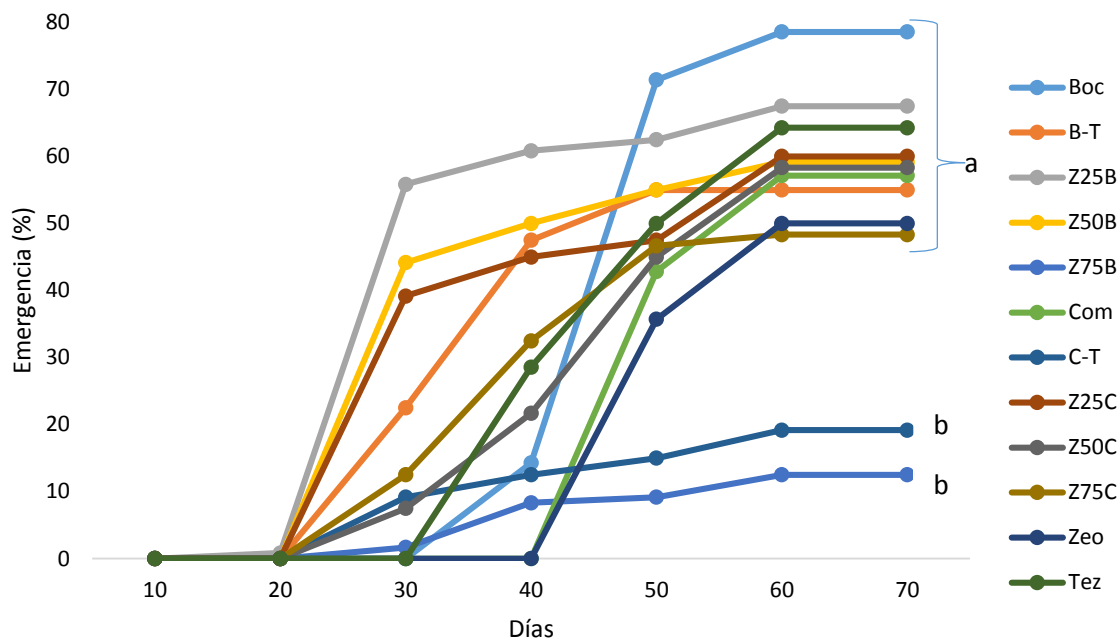


Figura 8. Porcentaje de emergencia de plántulas de pimienta.

*Se contabilizan desde la siembra hasta el tiempo necesario para que al menos en un tratamiento las plántulas alcanzaran una altura de 15 cm cuando menos. Zeo, Zeolita; Tez, Tezontle; Boc, Bokashi; Com, Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50%; Z75B y Z75C, zeolita al 75%

8.2.1.3 Berenjena

La emergencia presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$); sin embargo esta fue muy baja (menor del 30 %) (Fig. 9).

El sustrato con 75 % de zeolita presentó la mayor emergencia (30 %), y todos los demás sustratos presentaron una emergencia menor del 3 % (Fig. 9).

En el caso de la berenjena, todos los sustratos presentaron una emergencia menor del 50 %, cuatro presentaron valores inferiores al 30 % (C-T, Z50C, Z75C y Z25B) sólo uno (Z75B) presentó una emergencia superior al 30 % (Fig. 9).

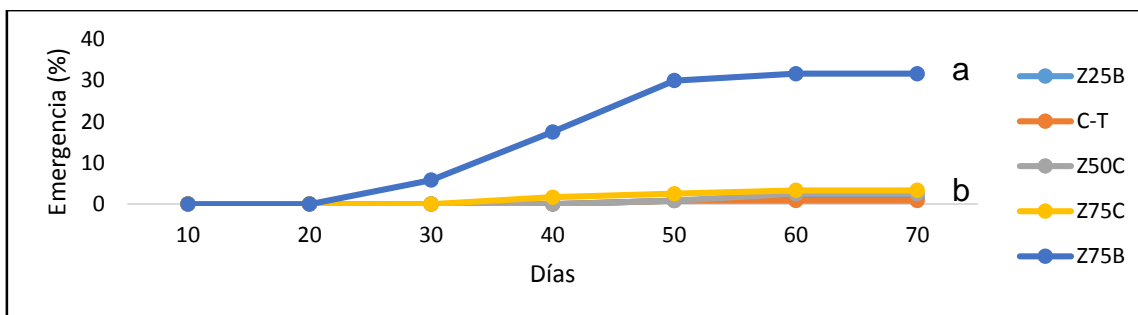


Figura 9. Porcentaje de emergencia de berenjena.

*No se presentaron en número suficiente plántulas de berenjena. Zeo, Zeolita; Tez, Tezontle; Boc, Bokashi; Com, Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %

La berenjena no emergió en todos los tratamientos, además en los pocos tratamientos en que se presentaron plántulas, éstas no alcanzaron el tamaño suficiente para realizar las pruebas de desarrollo vegetal, por lo tanto sólo se evaluó su emergencia y supervivencia.

9.2.2 Atributos del crecimiento

9.2.2.1 Jitomate

El jitomate fue la hortaliza que presentó el mayor porcentaje de emergencia en todos los sustratos evaluados; así mismo las plántulas presentaron una mayor homogeneidad en cuanto a su altura (15 cm promedio)

Es importante mencionar que no se presentó depredación por herbivoros en las plantas de jitomate, pero si la incidencia de mosca blanca (*Aleyrodidae* sp.), la cual fue controlada con aspersiones periódicas de extracto de ortiga (1:5).

9.2.2.1.1 Altura de las plántulas

La altura de las plántulas de jitomate, presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos. Las plantas con mayor altura (5.84-8.33 cm) se presentaron en todos los sustratos que contenían bokashi (Fig.10); sin embargo el mejor fue el de bokashi y zeolita al 25%. También el sustrato de composta y zeolita al 25 % presentó un valor alto (8.15 cm) (Fig.10).

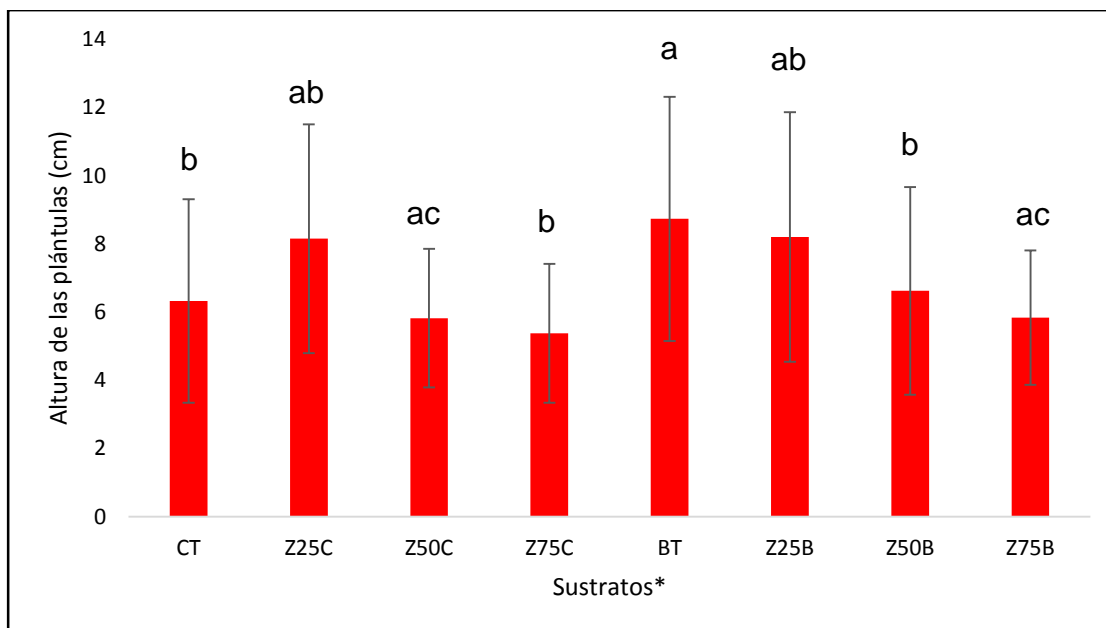


Figura 10. Altura de las plántulas de jitomate.

*C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %

En general se observó que la altura de las plántulas fue menor conforme se incrementó el contenido de zeolita en el sustrato (Fig.10).

9.2.2.1.2 Diámetro del tallo de las plántulas

El diámetro entre tratamientos, también presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) (Fig 11).

Los sustratos con bokashi presentaron los mejores valores para el diámetro (2.15 a 2.47 mm). En aquellos sustratos con composta el diámetro fue menor (1.78 a 2.14 mm) a excepción de zeolita 25 % con composta (2.66 mm). En general igual que la altura la tendencia fue que a mayor concentración de zeolita, el diámetro del tallo fue menor (Fig.11)

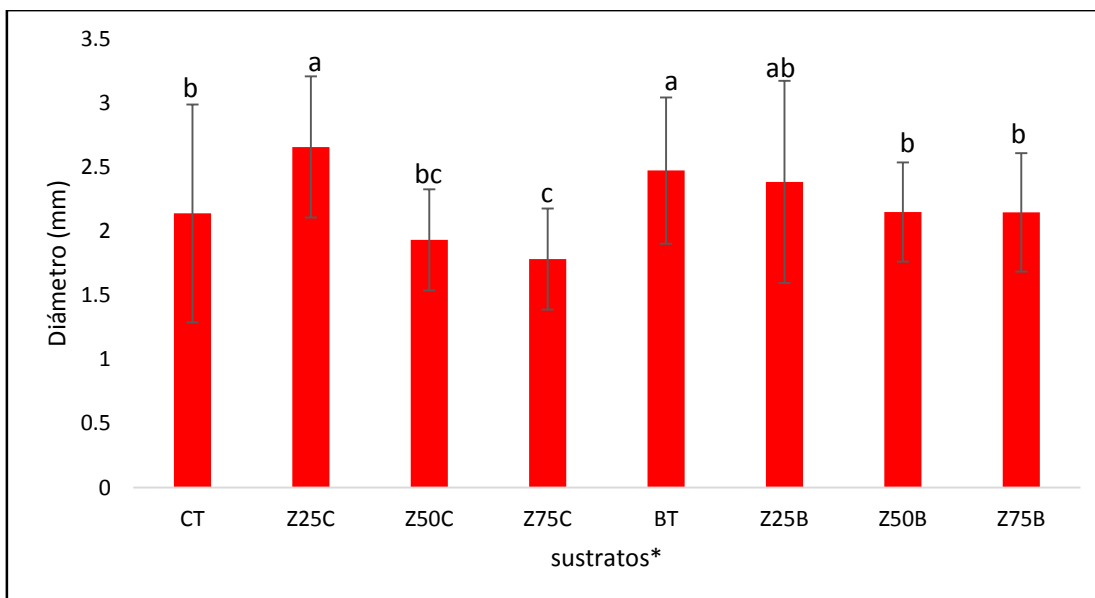


Figura 11. Diámetro de las plántulas de jitomate

*C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 % . Literales diferentes entre columnas representan diferencias estadísticas significativas (<0.05) pjo esta leyenda ponerla en todos los gráficos que tengan letras

9.2.2.1.3 Número de hojas

El número de hojas presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) en relación a los tratamientos; sin embargo fueron similares los valores tanto al combinar composta más zeolita como bokashi más zeolita, a excepción de aquellos sustratos que contenían mayor porcentaje de zeolita (75 %), los cuales presentaron el menor número de hojas (6.65 a 7.25) (Fig. 12)

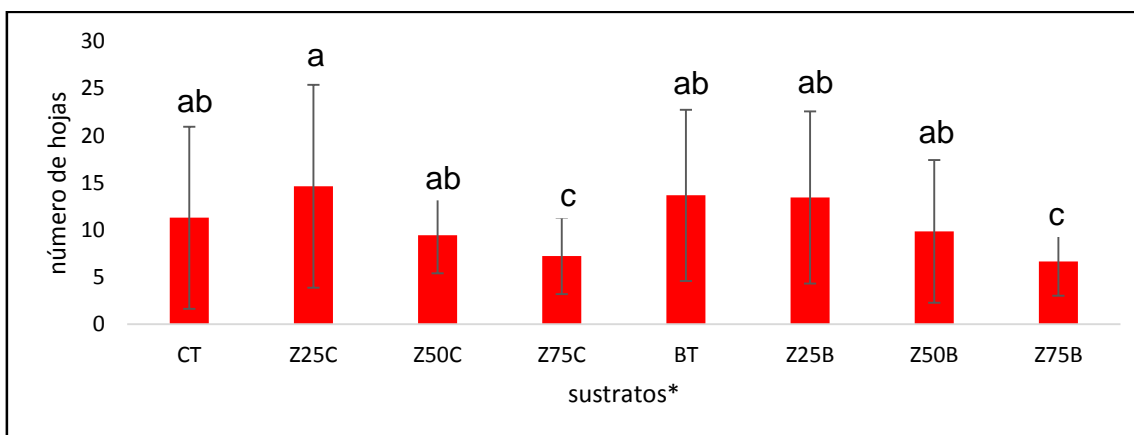


Figura 12. Número de hojas de las plántulas de jitomate

*C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %

9.2.2.1.4 Peso seco de las plántulas

El peso seco de las plántulas de jitomate presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos.

Los mejores valores de peso seco (276- 361 mg) para las plántulas se presentaron con los sustratos que contenían bokashi (Cuadro 11) a excepción de los que contenían un mayor contenido de zeolita (75 %). Los sustratos con composta presentaron valores intermedios; sin embargo la tendencia fue la misma que en el bokashi, es decir, a mayor contenido de zeolita, menor peso seco (Cuadro 11).

Cuadro 11. Peso seco de las plántulas de jitomate

Sustrato*	P _p (DE)	P _t (DE)	P _r (DE)
mg			
CT	93.4(±39) ^c	66.9(±27) ^c	26.5(±13) ^c
Z25C	210(±29.9) ^b	146(±20) ^b	64.3(±10) ^b
Z50C	94.5(±36) ^c	68.7(±24) ^c	25.8(±12) ^c
Z75C	86(±36) ^c	59.1(±24) ^c	27(±12) ^c
BT	276(±30) ^a	192(±21) ^a	83.4(±10) ^{ab}
Z25B	361(±32) ^a	241(±22) ^a	119(11) ^a
Z50B	222(±38) ^{ab}	168(±26) ^a	54.1(±12) ^b
Z75B	90.2(±36) ^c	69.5(±24) ^c	20.6(±12) ^c

*C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 % P_p= peso total de la plántula; P_t=peso del tallo de la plántula y P_r= peso de la raíz de la plántula, DE desviación estándar.

9.2.2.1.5 Índices de calidad de las plántulas

El índice de calidad de Dickson que integra tanto las medidas como los pesos de las plántulas. En este trabajo éste índice presentó diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 12), dónde el sustrato Z25B, presentó los mejores valores, es decir las plántulas con mejor calidad morfológica, siendo esto el resultado de un mejor índice de esbeltez y un mejor índice tallo/raíz (Cuadro 12).

Es importante destacar que los sustratos con bokashi en comparación a los que contenían composta en general presentaron plántulas con una mayor calidad morfológica (Cuadro 12).

Cuadro 12. Índices de calidad de plántulas de jitomate

Sustrato	ITR	IE	QI
CT	3.410(±2.107) ^a	0.791(±0.230) ^b	0.016(±0.019) ^c
Z25C	2.306(±0.728) ^a	0.939(±0.133) ^a	0.037(±0.028) ^b
Z50C	2.355(±1.666) ^a	0.737(±0.119) ^{bc}	0.016(±0.014) ^c
Z75C	2.855(±1.666) ^a	0.698(±0.119) ^c	0.015(±0.014) ^c
BT	2.761(±0.989) ^a	0.855(±0.119) ^{ab}	0.044(±0.033) ^{ab}
Z25B	2.549(±1.092) ^a	0.830(±0.215) ^b	0.064(±0.049) ^a
Z50B	3.207(±1.274) ^a	0.810(±0.116) ^b	0.032(±0.025) ^b
Z75B	3.261(±1.526) ^a	0.828(±0.146) ^b	0.014(±0.011) ^c

*C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 % ITR, índice tallo/raíz, IE, índice de esbeltez, QI, índice de calidad de Dickson

9.2.2.1 Pimiento Morrón

9.2.2.1.1 Altura de las plántulas

La altura de las plántulas no presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre la mayoría de los sustratos (Fig. 13), el sustrato Z25B presentó las plántulas más altas y vigorosas (8.96 cm) y los demás sustratos presentaron valores más bajo e iguales entre si (Fig. 13).

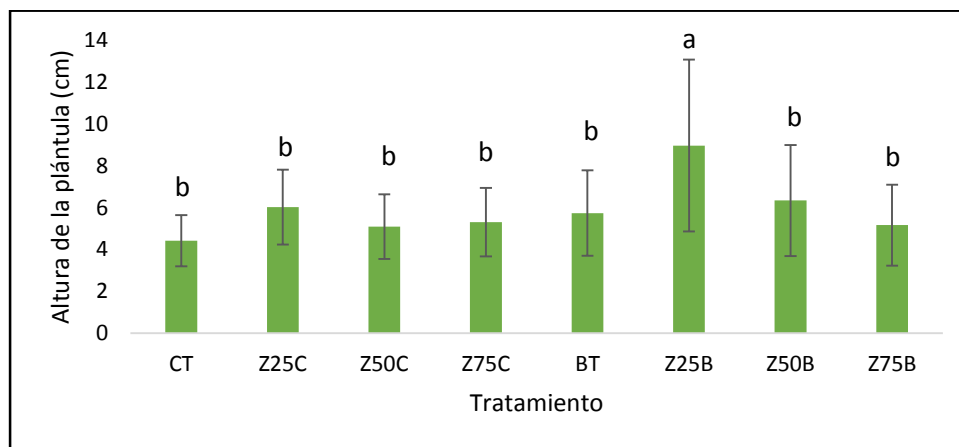


Figura 13. Altura de las plántulas de pimiento.

*Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %

9.2.2.1.2 Diámetro del tallo de las plántulas

El diámetro, no presentó diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$), entre sustratos (Fig. 14), el cual osciló entre 2 y 2.4 mm.

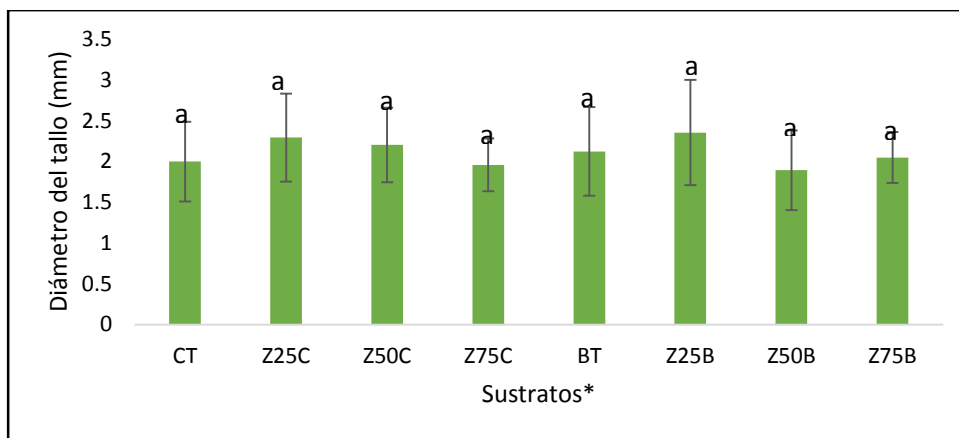


Figura 14. Diámetro de las plántulas de pimienta

*Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %

9.2.2.1.3 Número de hojas

El número de hojas, presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, el mayor número de hojas los presentaron los tratamientos con bokashi (3.87-5.47) (Fig. 15).

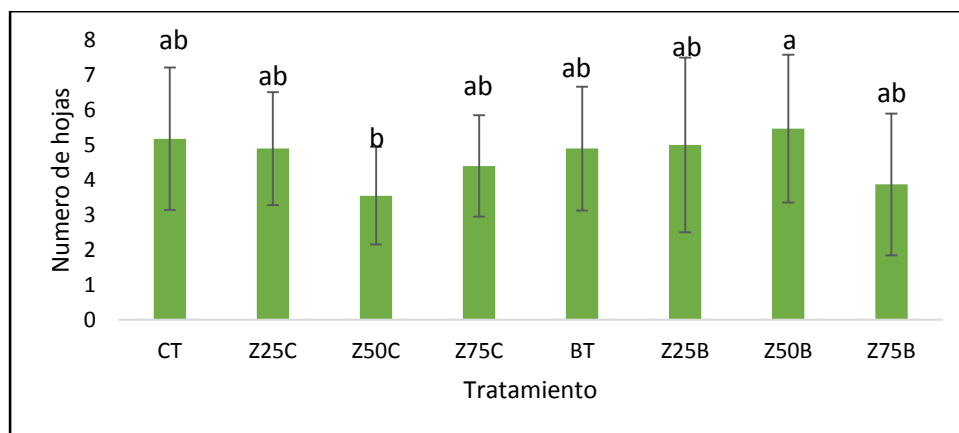


Figura 15. Número de hojas en las plántulas de pimienta

*Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %

8.2.2.1.4 Peso seco de las plántulas

El peso seco, presentó diferencias significativas estadísticas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos. Los mejores resultados se presentaron en sustratos con bokashi, salvo Z75B, que presentó resultados similares a los sustratos con composta (Cuadro 13).

Cuadro 13. Valores de peso seco de las plántulas de pimienta

Sustrato	P _p (DE)	P _t (DE)	P _r (DE)
g			
CT	53(±32) ^{bc}	36(±18) ^c	17(±15) ^b
Z25C	77(±53) ^{bc}	53(±35) ^b	23(±18) ^b
Z50C	65(±39) ^{bc}	41(±24) ^c	23(±16) ^b
Z75C	52(±31) ^c	31(±19) ^c	20(±13) ^b
BT	136(±90) ^{ab}	92(±59) ^{ab}	45(±33) ^{ab}
Z25B	154(±116) ^a	103(±79) ^a	51(±39) ^{ab}
Z50B	156(±101) ^a	94(±56) ^{ab}	62(±47) ^a
Z75B	85(±63) ^b	49(±31) ^{bc}	36(±36) ^{ab}

*Composta; C-T, composta/tezonle; B-T, bokashi/tezonle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %; P_p, Peso seco planta, P_t, Peso seco tallo; P_r, Peso seco raíz.

9.2.2.1.5 Índices de la calidad de las plántulas

El índice de Dickson, presentó diferencias estadísticas entre tratamientos ($p \leq 0.05$). El mejor valor lo presentó el tratamiento Z50B y los valores más bajos Z25C y Z50C, los demás tratamientos presentaron valores intermedios (Cuadro 14). Esto es resultado directo de los valores obtenidos en los índices de esbeltez y tallo/raíz (Cuadro 14).

Cuadro 14. Índices de calidad de plántulas de pimienta

Sustrato	ITR	IE	QI
CT	3.130(±1.713) ^a	0.817(±0.177) ^{ab}	0.016(±0.009) ^c
Z25C	2.629(±0.831) ^{ab}	0.8771(±0.179) ^a	0.015(±0.011) ^b
Z50C	1.915(±0.717) ^b	0.8739(±0.152) ^a	0.015(±0.009) ^b
Z75C	1.721(±0.814) ^b	0.770(±0.091) ^{ab}	0.012(±0.007) ^{bc}
BT	2.528(±1.075) ^{ab}	0.819(±0.176) ^{ab}	0.027(±0.018) ^{ab}
Z25B	2.235(±0.701) ^{ab}	0.802(±0.133) ^{ab}	0.025(±0.017) ^{ab}
Z50B	1.723(±0.521) ^b	0.712(±0.138) ^b	0.031(±0.020) ^a
Z75B	1.879(±0.751) ^b	0.811(±0.076) ^{ab}	0.019(±0.017) ^{ab}

* Zeo, Zeolita; Tez, Tezonle; Boc, Bokashi; Com, Composta; C-T, composta/tezonle; B-T, bokashi/tezonle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 % ITR, índice tallo/raíz, IE, índice de esbeltez, QI, índice de calidad de Dickson

9.3 Análisis de componentes principales (ADCP)

9.3.1 Jitomate

El análisis de componentes principales para la emergencia, desarrollo y establecimiento de plántulas de jitomate (Fig 16), demuestra que los factores determinantes para un sustrato exitoso son: porcentaje de espacio poroso, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica y relación carbono/nitrógeno (Anexo III).

Los clúster (Fig. 16), que más resaltan, son los formados por las variables de respuesta vegetal, y los sustratos con un 25 % de zeolita (Z25c y Z25B) y los binarios (CT y BT)

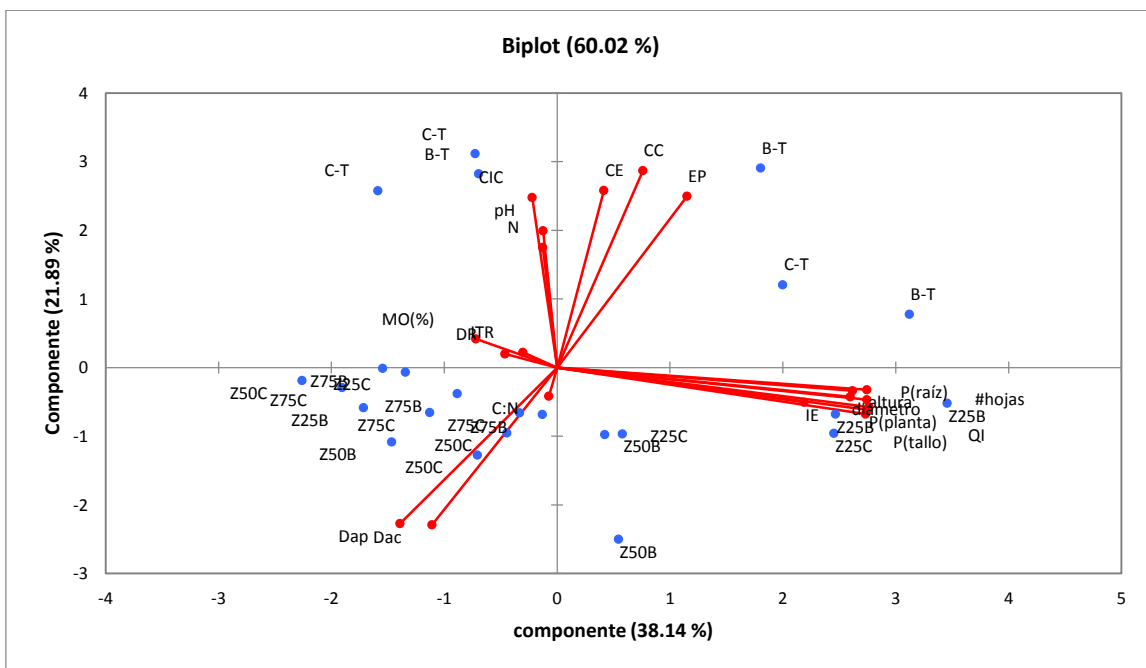


Figura 16. Análisis de componentes principales para jitomate

9.3.2 Pimiento

El análisis de componentes principales para la emergencia, desarrollo y establecimiento de plántulas de pimiento morrón, demuestra que los factores determinantes para un sustrato exitoso son: porcentaje de espacio poroso, densidad aparente y real, porcentaje de materia orgánica y relación carbono/nitrógeno (Fig 17), (Anexo III).

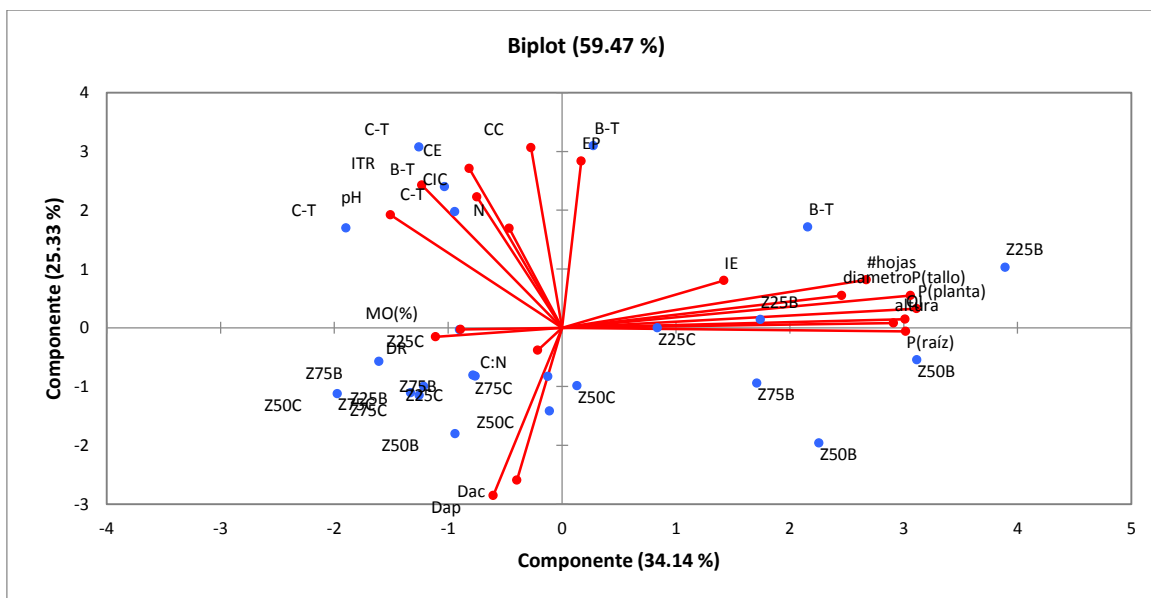


Figura 17. Diagrama del Análisis de Componentes principales para pimiento

X. Discusión de Resultados

10.1 Jitomate

Los índices de germinación y emergencia del jitomate tuvieron mejor respuesta en aquellos tratamientos (BT, Z25B y Z25C) con una mayor capacidad de retención de humedad (Fig. 7). Dubreucq *et al.*, (2000) explican que esto se debe a que la disponibilidad de agua es una condición esencial para la germinación de las semillas, ésta determina la imbibición y posterior activación de procesos metabólicos, como rehidratación, reparación de membranas y de ADN, elongación celular y aparición de la radícula, lo que explica que el sustrato de composta/tezontle al registrar una menor retención de humedad presentara un menor establecimiento de plántulas, pero no así el de bokashi-tezontle, bokashi con 25% de zeolita y composta con 25% de zeolita (Fig.6).

El hecho de que aquellos sustratos que contenían bokashi en diferente proporción, presentaran mejores valores de emergencia, es explicado en parte por Deaquiz-Oyola *et al.* (2008), quienes mencionan que existe una mayor producción de plántulas en sustratos a base de turba rubia y cascarilla de arroz quemado (1:1 v/v), los cuales generalmente son componentes importantes de un bokashi, estos mejoran la humedad de la mezcla y enriquecen con elementos minerales, por otro lado los mismos autores sugieren que la cascarilla de arroz al proporcionar una alta retención de humedad y mayor espacio poroso, permite una adecuada disponibilidad de oxígeno y mejor actividad respiratoria; Handreck y Black (2002), mencionan que la porosidad total de un sustrato afecta la capacidad de intercambio gaseoso del medio, disminuyendo el contenido de oxígeno que las semillas requieren para germinar, al respecto, los tratamientos utilizados que contenían bokashi presentaron valores similares de espacio poroso (Cuadro 10),

además el contenido de agua retenida (Fig. 6), fue media en comparación a los demás sustratos elaborados. Por otro lado, los valores de densidad aparente y densidad real en estos mismos sustratos ofrecen mejores condiciones para la germinación y posterior emergencia del jitomate.

Varios autores señalan que el periodo más sensible a la salinidad es durante la germinación y desarrollo inicial de la planta (Doorenbos y Kassam, 1979; Ayers y Westcot, 1985). En relación a la capacidad de intercambio catiónico (Cuadro 9) y la conductividad eléctrica, registradas en los sustratos probados en este trabajo (Fig. 5), no resultaron un factor limitante para la emergencia, ya que la capacidad de intercambio catiónico fue elevada por el aporte de zeolita (79 cMol kg^{-1}), y la conductividad eléctrica fue baja (NOM-021).

Es importante mencionar que todas las variables evaluadas en las plántulas de jitomate, presentaron diferencias estadísticas significativas en relación a los diferentes sustratos evaluados, debido al tiempo de permanencia de las plántulas en el almácigo (70 días). Wilches y Álvarez (2007) encontraron en su estudio de propagación de jitomate en diferentes sustratos que las variables de respuesta tales como porcentaje de emergencia, altura, diámetro de las plántulas y supervivencia, no presentaron diferencias entre los tratamientos, debido al tiempo que permanecieron las plántulas en el almácigo (70 días), el cual no fue suficiente para expresar el efecto de los tratamientos, debido a que la plántula depende principalmente de sus propias reservas para alimentarse. Por otra parte Deaquiz-Oyola *et al.* (2008), indican que si las plántulas de jitomate permanecen mucho tiempo en el almácigo, se puede presentar una disminución en la actividad metabólica en el almacenamiento de reservas alimenticias y en reducción del volumen celular, por ende se presenta una afectación en el crecimiento y desarrollo de las plántulas.

Las diferencias estadísticas se presentaron en variables como altura, diámetro del tallo, peso seco y número de hojas.

Es importante destacar que en relación a la cantidad materia seca que produjeron las plántulas de jitomate, los mejores sustratos fueron aquellos que mantuvieron una proporción de 37.5 % de sustrato orgánico y 62.5 % de sustrato mineral (Z25B y Z25C) (Cuadro 6). Trabajos anteriores señalan también que los mejores resultados se encuentran al usar 37.5 o 50 % de sustrato orgánico, resaltando el uso de turba; Fernández-Bravo *et al.* (2005) encontraron que plántulas de jitomate sembradas en turba obtuvieron los mejores resultados de masa seca, las mezclas de 37.5 y 50% cubren las necesidades nutricionales del cultivo del jitomate, para obtener alrededor de 100 t ha^{-1} sin adición de fertilizantes. Marquéz Hernández *et al.* (2008), reportan que con la vermicomposta con arena al 50% como con perlita al 37.5% y 50% así como la biocomposta más perlita al 37.5%. Contrastando nuestros resultados con los de estos autores, encontramos que en el caso de la producción de jitomate huaje en almácigo, los sustratos con una proporción menores al 50% de componente orgánico (37.5%), pueden generar plántulas vigorosas, tales como aquellos que presentan tanto bokashi como composta.

Marquéz-Hernández *et al.* (2008). Mencionan que un incremento de los materiales inorgánicos por encima del 50%, puede ocasionar una pérdida en la

calidad de las plántulas cultivadas, pero que un incremento en el componente orgánico no afecta la calidad de las plántulas; sin embargo los resultados de este trabajo revelan que es importante para la producción de jitomate guaje mantener una proporción del componente orgánico por debajo del 50 % y del componente mineral, entre 50 y 75 %. De esta manera los sustratos con mejores resultados fueron aquellos con un 37.5% y el resto mineral (62.5%). Por otro lado los mismo autores al trabajar con biocomposta, encontraron que las propociones entre el nitrógeno y la materia orgánica presente en el abono orgánico es importante para favorecer la calidad de las plántulas, resultando la mejor propoción 1.17 % de nitrógeno y 29.2% de materia orgánica lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo para la composta y el bokashi (Figs. 2-3), sin embargo es importante resaltar que la respuesta de las plántulas no depende solo de la proporción de nitrógeno y materia orgánica en el abono sino en el sustrato en sí, así los mejores sustratos fueron aquellos con contenidos de materia orgánica, entre 5-15 % y 2-3 % de nitrógeno, además de ser los sustratos con mejores respuestas a los índices evaluados (Cuadro 12), así como en el peso registrado en las plántulas (Cuadro 11).

El pH es otro factor a considerar en los sustratos para la producción de jitomate en almácigo. Se ha determinado que los mejores valores están entre 5-7 (Doorenbos y Kassam, 1979; González, 1984) teniendo ligeras variaciones dentro de ese umbral (Benacchio, 1982; FAO, 1994; Corpeño, 2004; Naika *et al.*, 2005). Este rango se mantuvo solamente en las mezclas con fracción de zeolita (25, 50 y 75%) y bokashi (37.5, 25 y 12.5%) (Cuadro 8), en dichos sustratos el desarrollo de las plántulas fue mejor (Cuadros 11-12).

El jitomate es un cultivo que prefiere suelos con buen drenaje (Huerres y Caraballo, 1988; Corpeño, 2004), los encharcamientos pueden promover el desarrollo de enfermedades, a las cuales el jitomate es muy susceptible, por lo que los sustratos con gran cantidad de zeolita resultaron ser menos favorables para la propagación de plántulas, al presentar encharcamientos tras el riego (Fig. 6). Los mejores sustratos, fueron aquellos aquellos que mantienen una capacidad de campo cercana al 14 % (Zeo y Z25B).

Por lo que respecta a la conductividad eléctrica, los valores registrados en todos los sustratos fueron inferiores a lo que se reportan en la literatura (Fig. 5), ya que se le cataloga como un cultivo bastante tolerante a la salinidad o moderadamente sensible a la salinidad (Benacchio, 1982). La disminución del rendimiento para diversos valores de conductividad eléctrica es como sigue: 0% para 2.5 dS m⁻¹, 10% para 3.5 dS m⁻¹; 25% para 5.0 dS m⁻¹; 50% para 7.6 dS m⁻¹ y 100% para 13 dS m⁻¹.

10.2 Pimiento

El pimiento presentó una respuesta muy heterogénea en relación a la emergencia en los diferentes sustratos evaluados (12-78 %). De acuerdo a Saleh *et al.* (1996), cuando se presentan porcentajes de germinación bajos y erráticos en semillas de chile, esto puede ser atribuido al contenido de sustancias inhibitoras en sus cubiertas. Por lo que se han propuesto tratamientos previos a las semillas con

alguna solución de sales de potasio para incrementar el porcentaje de germinación (Macit, 1981). En este trabajo, los resultados de emergencia fueron de bajos a medios, por lo que se sugiere aplicar un tratamiento pregerminativo como lo propone Macit (1981), para incrementar el porcentaje de emergencia.

López Baltazar *et al.* (2013), reportan que en sustratos alternativos elaborados a base de vermicomposta y composta, se obtiene una buena germinación en semillas de pimiento así como un crecimiento adecuado. Estos resultados se obtienen con proporciones de 50% y 100% de vermicomposta y composta de bagazo de maguey, correspondientemente. Contrastando estos resultados con los de nuestro trabajo, sólo el tratamiento de bokashi logró algo similar, sin embargo, son sustratos con mezclas inferiores al 50 % de sustrato orgánico, pero que fueron los mejores en cuanto a la emergencia y supervivencia de pimiento (Fig. 8).

Respecto a las condiciones de producción de plántulas, varios han sido los materiales utilizados en el mercado, sin embargo prácticamente todos emplean algún componente orgánico y otro mineral. El uso y la aplicación de sustratos orgánicos incrementan la carga de nutrientes para los cultivos.

Los resultados de Fortis *et al.* (2012), demuestran que la producción de chile pimiento morrón en sustratos orgánicos bajo invernadero, con las mezclas de sustrato orgánico y mineral 1:1, pueden ser una alternativa viable, puesto que generan rendimientos aceptables; sin embargo, en el presente estudio, los resultados indican lo contrario, (Cuadro 14), es decir, se obtuvieron mejores resultados en mezclas con sólo un 37.5 % de material orgánico, y se observó un resultado similar en cuanto al peso seco registrado en las plántulas de pimiento (cuadro 13).

La presencia de materiales compostados en los sustratos permite mejorar los parámetros de calidad de las plántulas de pimiento (Cuadros 13 y 14). La bibliografía ha documentado que los materiales compostados son capaces de asegurar el aporte de nutrientes y mejorar las condiciones físicas del medio de crecimiento de los plántulas, con el consiguiente incremento en la retención y disponibilidad hídrica, por lo que al incrementar la fracción mineral de los sustratos estudiados ésta disposición de nutrientes se ve afectada, lo que se refleja en las variables de respuesta analizadas (Fig. 13, 14 y 15). Por otro lado, es difícil distinguir el efecto de un mejor aprovechamiento del agua y del de una mayor disponibilidad de nutrientes (Fig. 6), debido a que ambos factores se encuentran íntimamente relacionados. (Premuzic y Nicolosi, 1995; Princich *et al.*, 1996; Valenzuela y Gallardo, 1997).

Fortis *et al.* (2012), indican que resultados con las mezclas de sustrato 1:1, demostraron que la producción de chile pimiento morrón en sustratos orgánicos bajo invernadero, incrementaron la presencia de nitratos lo que indicaría que el N estuvo disponible para el cultivo. Por el contrario, las pruebas de nitrógeno realizadas (Fig. 3) indican que la diferencia entre las mezclas diferentes a una proporción 1:1 tienen apenas variaciones de nitrógenos disponibles, además de no corresponder ésta lectura con la mejor producción (Cuadro 14). A pesar de ello con estas mezclas se obtuvieron resultados aceptables (Cuadro 17).

En el caso del pH, los sustratos deben presentar valores entre 5.2-6.3, para un buen crecimiento de las plántulas (Abad, 1993a). Los altos valores de pH, obtenidos en los sustratos evaluados en este trabajo (Cuadro 8) se deben a la naturaleza de los materiales utilizados (Quezada y Méndez, 2005; Duran y Henríquez, 2007). La alternativa a estos valores puede ser la sustitución de algunos insumos, como cuáles especificar, por el bagazo de agave tequilero ya sea en bruto, composteado y vermicomposteado presenta valores de pH de 4.37, 7.01 y 6.92 respectivamente (Rodríguez, 2004). Valores más óptimos para la propagación de pimiento morrón.

Cao y Tibbitts (1994) han encontrado que los incrementos en pH, promueven la absorción de amonio (NH_4^+) mientras que una reducción favorece la absorción de nitratos (NO_3^-), lo que generaría que en los sustratos trabajados para el pimiento morrón, se favorezca una alta asimilación del amonio (Cuadro 8). Los valores óptimos para el pimiento morrón oscilan entre 6.5 y 7, aunque puede resistir ciertas condiciones de acidez hasta un pH de 5.5 (Soler *et al.*, 2002).

Con respecto a CE la literatura recomienda que sus valores no deberían exceder 3 dS m^{-1} (Bunt, 1988; Carter y Grieve, 2008). Nieto-Garibay *et al.* (2002) utilizaron una composta comercial para producción de chile la cual presentaba valores de 8.2 dSm^{-1} . En este trabajo, la conductividad eléctrica (Fig. 5) fue muy baja, por lo que no se tienen problemas de salinidad.

La literatura cita que los parámetros normales de materia orgánica en sustratos compostados para la producción de pimiento oscilan de un 23.33 (Cruz-Lázaro, 2009) a un 24.75% (Moreno *et al.*, 2005), en este sentido, los sustratos orgánicos evaluados presentaron contenidos bajos de materia orgánica (Fig. 2), debido a que al incrementar el contenido de fracción mineral, se produce una baja de peso seco (Cuadro 13), así como al disminuir el contenido de materia orgánica disponible. Además a menor contenido de materia orgánica, los índices de tallo/raíz y de esbeltez (Cuadro 14) disminuyen.

Los resultados obtenidos contrastan con los obtenidos por Subler *et al.* (1998), quienes encontraron que el mejor desarrollo del cultivo se da con pequeñas proporciones de vermicompost, entre 10 y 20%. Atiyeh *et al.* (2000b) mencionan que al usar más de 20% de compost en el sustrato, hay un decremento en el rendimiento del cultivo. Márquez *et al.* (2008), encontraron en sustratos orgánicos con mezclas de vermicompost al 50% + arena, vermicompost + perlita al 37.5 y 50% rendimientos 9 veces mayores a los obtenidos en campo.

Probablemente factores como la lixiviación, una menor tasa de mineralización, volatización, adsorción, entre otras, pueden influir para no obtener el rendimiento potencial del cultivo (Hashemimajd *et al.*, 2004). Azarmi *et al.*, (2008), señalan que es necesario suplementar los nutrientes para inducir un mayor rendimiento en los cultivos cuando se utilizan sustratos orgánicos.

11.3 Berenjena

La emergencia de berenjena, fue muy baja en todos los sustratos. Esto pudo ser debido a dos aspectos importantes. El primer factor es el remojo de semillas en agua durante períodos de tiempo de 72 horas, lo cual puede

incrementar la germinación, con un tiempo medio de 33 días, así como con mayores valores en las variables de crecimiento y en la acumulación de materia seca (Barraza, 2013). Ensayos realizados por Maldonado *et al.* (2002) concluyen que la capacidad de germinación de las semillas, se reducen, debido a una condición de abastecimiento hídrico favorable, lo que provocó una reducción en la germinación, debido probablemente a que las enzimas hidrolíticas de los cotiledones no fueron activadas, lo que no desencadenó la activación metabólica de la semilla (Obroucheva y Antipova, 1997; Nonogaki y Morohashi, 1999). Los sustratos donde únicamente se presentaron plántulas de berenjena, fueron aquellos en las que el porcentaje de zeolita generó encharcamientos tras el riego, favoreciendo así el comienzo de germinación de las semillas de berenjena.

Otra posible causa de que se presentara un porcentaje de emergencia bajo, pudo ser la temperatura; ya que son necesarios de 23 a 28 °C durante siete a diez días después de la siembra, para que se produzca la germinación y emergencia, con un mínimo de 18°C y un máximo de 35° C, con una temperatura óptima de crecimiento de 20 a 25°C. La planta paraliza su crecimiento con de 10°C o menos. Estos requerimientos, categorizan a la berenjena como una de las hortalizas con la mayor exigencia térmica (Benacchio, 1982; Ibar y Juscafresa, 1987; Baradas, 1994; Yuste, 1997). En este trabajo la temperatura media durante el desarrollo fue de 22 °C, y se presentaron temperaturas mínimas de hasta 7 °C, y máximas de 35 °C, inhibiendo el desarrollo de las plántulas que emergieron.

XI. Costo de producción de cada tratamiento

El análisis de costo se contempla en dos partes, una para la producción de los diferentes tratamientos (Cuadro 15) y para la producción de plántulas de jitomate (Cuadro 16) y pimiento (Cuadro 17) por cada tratamiento.

En cuanto a los sustratos, se observa que el de menor costo de producción es la composta, donde cada kilogramo costó \$45, esto se debe principalmente al hecho de que los desechos de jardines y alimentos no tienen un costo determinado. El caso contrario ocurre con el bokashi, que al tener una gran variedad de ingredientes eleva el costo hasta llegar a los \$11.35. De los sustratos minerales, el tezontle (\$9) representa el doble de inversión que la zeolita (\$4.8).

Cuadro 15. Costo de producción de sustratos por kilogramo

Mezcla	Composición (%)				Costo _{kg} (\$)
	Zeolita	Tezontle	Bokashi	Composta	
Zeo	100	0	0	0	4.8
Tez	0	100	0	0	9
Boc	0	0	100	0	11.35
Com	0	0	0	100	0.45
B-T	0	0	0	0	10.18

C-T	0	0	0	0	4.72
Z25B	25	37.5	37.5	0	8.83
Z25C	25	37.5	0	37.5	4.74
Z50B	50	25	25	0	7.48
Z50C	50	25	0	25	4.76
Z75B	75	12.5	12.5	0	6.14
Z75C	75	12.5	0	12.5	4.78

* Zeo, Zeolita; Tez, Tezontle; Boc, Bokashi; Com, Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %

Finalmente, para mostrar una mejor lectura de la rentabilidad que presentaron los diferentes cultivos, se empleo el índice de rentabilidad.

$$R = 100 \left(\frac{QI \times P}{C} \right)$$

Dónde:

R= Rentabilidad

QI= Índice de Calidad de Dickson obtenido por el tratamiento

P= Número total de plántulas producidas

C= Costo por plántula en el tratamiento.

11.1 Jitomate

Las plántulas de jitomate presentaron costos elevados en los tratamientos absolutos, debido a que presentaron una baja producción de plántulas, principalmente por falta de nutrientes (Cuadro 16).

Cuadro 16. Costo de producción de plántulas de jitomate

Costo de producción de plántulas de jitomate (\$)						
Mezcla	Costo _{sust.}	Semilleros	Mano de obra	Semillas	Costo _{Total}	Costo _{Planta}
Zeo	25.92	73.5	143.34	7.5	250.26	17.87
Tez	48.6	73.5	143.34	7.5	272.94	45.49
Boc	61.29	73.5	143.34	7.5	285.63	28.56
Com	2.43	73.5	143.34	7.5	226.77	32.39

B-T	54.94	73.5	143.34	7.5	279.28	4.50
C-T	25.51	73.5	143.34	7.5	249.85	7.57
Z25B	47.68	73.5	143.34	7.5	272.02	3.40
Z25C	25.61	73.5	143.34	7.5	249.95	3.28
Z50B	40.43	73.5	143.34	7.5	264.77	3.67
Z50C	25.71	73.5	143.34	7.5	250.05	3.12
Z75B	33.17	73.5	143.34	7.5	257.51	3.21
Z75C	25.81	73.5	143.34	7.5	250.15	3.33

* Zeo, Zeolita; Tez, Tezontle; Boc, Bokashi; Com, Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %

Al contrastar los sustratos combinados, los costos son similares por lo que se consideró además el número de plántulas producidas por cada sustrato (Fig. 7) y el índice de calidad de Dickson (Cuadro 12) en esos sustratos.

El primer criterio tomado en cuenta para encontrar el sustrato más rentable es el número de plántulas, siendo los sustratos Z25B (80), Z75B (80) y Z50C (80); el siguiente factor es el costo de producción por plántula (Cuadro 16), siendo los más económicos Z50C (\$3.12), Z75B (\$3.21) y Z25C (\$3.28); por último se considera el índice de Dickson obtenido, registrando un mejor rendimiento en Z25B (0.064), B-T (0.044) y Z25C (0.037).

Cuadro 17. Índice de rentabilidad de plántulas de jitomate

Sustrato	Jitomate			
	Costo/Planta	IQ	Plantulas	Rentabilidad
B-T	4.5	0.044	62	60.6222
C-T	7.57	0.016	33	6.9749
Z25B	3.4	0.064	80	150.5882
Z25C	3.28	0.037	76	85.7317
Z50B	3.67	0.032	72	62.7792
Z50C	3.12	0.016	80	41.0256
Z75B	3.21	0.014	80	34.8909
Z75C	3.33	0.015	75	33.7837

* Zeo, Zeolita; Tez, Tezontle; Boc, Bokashi; Com, Composta; C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %

Haciendo el contraste de estas variables (Cuadro 17), se presentaron los siguientes casos: Si se desea una producción con alto número de plántulas producidas, a un menor costo, se recomienda el uso de una mezcla de zeolita al 50 % con composta (Z50C), pero si se desea que la producción tenga una mejor calidad la recomendación es usar bokashi con sólo un 25 % de zeolita (Z25B).

11.2 Pimiento

Tanto para los tratamientos absolutos como para las mezclas Z75B y C-T, los costos de producción representan una inversión de más de \$10 por cada plántula

producida, esto se debe principalmente al bajo porcentaje de emergencia obtenido (Cuadro 18).

Cuadro 18. Costo de producción de plántulas de pimienta

Mezcla	Costo de producción de plántulas de Pimiento (\$)					
	Costo _{sust.}	Semilleros	Trabajo	Semillas	Costo _{Total}	Costo _{Planta}
Zeo	25.92	73.5	143.34	7.5	250.26	35.75
Tez	48.6	73.5	143.34	7.5	272.94	54.58
Boc	61.29	73.5	143.34	7.5	285.63	40.80
Com	2.43	73.5	143.34	7.5	226.77	32.39
B-T	54.94	73.5	143.34	7.5	279.28	7.75
C-T	25.51	73.5	143.34	7.5	249.85	13.88
Z25B	47.68	73.5	143.34	7.5	272.02	3.48
Z25C	25.61	73.5	143.34	7.5	249.95	4.30
Z50B	40.43	73.5	143.34	7.5	264.77	4.13
Z50C	25.71	73.5	143.34	7.5	250.05	3.67
Z75B	33.17	73.5	143.34	7.5	257.51	21.45
Z75C	25.81	73.5	143.34	7.5	250.15	4.46

*C-T, composta/tezontle; B-T, bokashi/tezontle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %

Al contrastar los sustratos combinados, los costos son similares por lo que se consideró además el número de plántulas producidas por cada sustrato (Fig. 8) y el índice de calidad de Dickson (Cuadro 14) en esos sustratos.

Los sustratos con el mayor número de plántulas emergidas fueron Z25B (78), Z50C (68) y Z50B (64). Con respecto a su índice de calidad de Dickson, las mejores respuestas se presentaron en Z50B (0.031), B-T (0.027) y Z25B (0.025); finalmente, respecto al costo por plántula (Cuadro 18), la menor inversión se realizó en Z25B (\$3.48), Z50C (\$3.67) y Z50B (\$4.13).

Pese a que el sustrato Z25B presenta el tercer mejor índice de respuesta, resultó ser el menos costoso y el que presentó el mayor número de propagadas, por lo cual se considera la mejor opción para propagar pimienta morrón (Cuadro 19).

Cuadro 19. Índice de rentabilidad de plántulas de pimienta

Sustrato	Pimiento			
	Costo _{Planta}	QI	Emerg	Rentabilidad
B-T	7.75	0.027	36	12.5419
C-T	13.88	0.016	18	2.0749
Z25B	3.48	0.025	78	56.0344

Z25C	4.3	0.015	58	20.2325
Z50B	4.13	0.031	64	48.0387
Z50C	3.67	0.015	68	27.7929
Z75B	21.45	0.019	12	1.0629
Z75C	4.46	0.012	56	15.0672

*C-T, composta/tezonle; B-T, bokashi/tezonle; Z25B y Z25C, zeolita al 25% con bokashi y con composta; Z50B y Z50C, zeolita al 50 %; Z75B y Z75C, zeolita al 75 %

XII. Conclusiones

La zeolita incorporada en los almácigos para la propagación de las plantas, mejora las características físicas y químicas del sustrato, así como el número de plántulas obtenidas y su calidad morfológica.

La fracción ideal de zeolita fue del 25 %, ya que a mayor cantidad, se presentan efectos no deseados, como un mayor tiempo entre la siembra y la emergencia de plántulas, un menor porcentaje de emergencia, y una menor calidad morfológica de las plántulas.

El sustrato compuesto de bokashi, con una fracción del 25% de zeolita (Z25B) fue el mejor para producción de plántulas de jitomate y de pimiento morrón, al ser el que presentó la mayor cantidad de plántulas, presentar una mejor respuesta morfológica y presentar un menor costo de producción.

La berenjena no emergió en ninguno de los tratamientos, como una respuesta principalmente a las condiciones ambientales prevalescentes durante el estudio.

Las variables de respuesta plantular del jitomate y del pimiento, no presentaron una correlación significativa con respecto a las variables físicas y químicas de los sustratos empleados.

La hipótesis del trabajo se cumplió, para jitomate y pimiento morrón, ya que la zeolita adicionada a los sustratos de germinación, debido a su alta capacidad de intercambio catiónico, favoreció una mayor emergencia de plántulas, con una mejor calidad morfológica, resultando la mejor proporción la de un 25%, ya que a un mayor porcentaje, dicha CIC, impide un libre aprovechamiento de los nutrientes por parte de las plántulas generando en ellas deficiencias nutrimentales.

XIII. Referencias

- Abad, M. 1993a. Inventario y características. pp. 65-80. In: Cultivo sin suelo. F. Canovas y J. Díaz. (Ed). Instituto de Estudios Almerienses. FIAPA.
- Abad, M. 1993b. Características y propiedades. En: Cultivos sin suelo curso superior de especialización. Editor F. Canovas Martínez & J. Díaz Álvarez. FIAPA. Almería, PP. 47-62.
- Abad, M. y P. Noguera. 1997. Los sustratos en los cultivos sin suelo. pp. 101-150. In: Manual de cultivo sin suelo. M. Urrestarazu (ed.). Universidad de Almería. Servicio de Publicaciones

- Alarcón, A., Alamaraz, J.J., Ferrera, R. Gonzalez, M., Lara M., Manjarrez, M., Quintero, R., y Santamaría, S. 2001. Manual de tecnología de hongos micorrízicos en la producción de especies forestales en vivero. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México, 98 p.
- Allen, E.R., L. Hossner, D. Ming y D. Henninger. 1996. Release rates of phosphorus, ammonium, and potassium in clinoptilolite-phosphate rock systems. *Soil Science Society of America Journal* 60:1467-1472.
- Andrea, B. Manejo ecológicos del suelo. Dominicana. Editorial RAPAL. 2004, no. 1, 27 pp.
- Andrén, O. Kätterer, T. 2008. Agriculture system. Ecosystem. Pág 96-101.
- Anónimo (2004) Diagnóstico de aguas de riego. http://www.infoagro.com/riegos/diagnostico_aguas.htm.
- Anónimo (2005) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Sistema de Información Agropecuarias de Consulta (SIACON). Versión 1.1. México, D.F. En CD.
- Araméndiz-Tatis, H., Cardona-Ayala, C., Correa-Álvarez, E. 2013. Efecto de diferentes sustratos en la calidad de plántulas de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 7(1): 55-66 pp.
- Arteaga B., León, A. 2003. Efecto de la mezcla de sustratos y fertilización sobre el crecimiento de *Pinus durangensis* Martínez en vivero. *Foresta Veracruzana* 5(2):9-16.
- Atiyeh RM, Domínguez, J. Subler, S., Edwards, C. 2000. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiología* 44: 709-724.
- Atiyeh, RM., Subler, S., Edwards, C., Bachman, G., Metzger, J., Shuster, W. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiología*, 44:579-590.
- Ayers RS, Westcot DW (1994) Water quality for agriculture. FAO Irrigation and drainage paper 29 Rev. 1. FAO. Rome. 174 pp.
- Azarmi, R., Gíglou, M., Taleshmikail, R. 2008. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) field. *Afr. J. Biotechnol.* 7:2397-2401.
- Bastida T.A. 2002. Sustratos hidropónicos. Serie de Publicaciones Agribot. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 72 p.
- Bastida, T. A. 1999. El medio de cultivo de las plantas. Sustratos para hidroponía y producción de plantas ornamentales. Serie de Publicaciones AGRIBOT Núm. 4 Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Preparatoria Agrícola. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 72 p.
- Benítez G., Equihua, M., Pulido Salas, M.T. 2002. Diagnóstico de la situación de los viveros oficiales de Veracruz y su papel para apoyar programas de reforestación y restauración. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* (8)1:5-12.
- Berenguer, J. J.; Escobar, I., Cuartero, J. 2003. Gastos de cultivos de tomate tipo cereza en invernadero. *Actas de Horticultura (ISHS)* 39: 47-48.
- Birchler, T., Rose, R.W. Royo, A., Pardos. 1998. La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica.
- Bracho, J., Pierre, F. Quiroz, A. 2009. Caracterización de componentes de sustratos locales para la producción de plántulas de hortalizas en el estado Lara, Venezuela. *Bioagro.* vol.21, n.2, pp. 117-124.
- Briceño, J. Gudiño, J., Zorrilla, E. 2008. Sustrato a base de café, estiércol, coco y arena para la germinación de tomate. *Creando Revista Científica Juvenil.* Vol. VII-VIII (2008-2009): 81-86 pp.
- Bunt, A. C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. 2 (Ed.) Unwin Hyman Ltd. London, Great Britain. 309 p.
- Cabrera, P. 2011. Colección "Buenas Prácticas". Aboneras tipo Bokashi. Guatemala: FAO
- Callejas-Ruiz, B.A., Castillo-González, A.M., Colinas-León, M.T., González-Chávez, M.C., Pineda-Pineda, J. y Valdez-Aguilar, L.A. 2009. Sustratos y hongos micorrízicos arbusculares en la producción de nochebuena. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(1):57-66.
- Cao, W. y Tibbitts, T. W. 1994. Responses of potatoes to solution pH levels with different form of nitrogen. *J. Plant Nutr.* 17:109-126.
- Carlite, W. 1999. The effects of the environment lobby on the selection and use of growing media. *Acta Horticulturae.* 481. 587-596.

- Carter, C. T., and Grieve, C. M. 2008. Germination of *Antirrhinum majus* L. (Snapdragon) when produced under increasingly saline conditions. *HortScience* 43:710-718.
- Castillo, E. A.; Quarín, H. S.; Iglesias, C. M. 2000. Caracterización química y física de composta de lombrices elaboradas a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agricultura Técnica (Chile)* 60: 74-79.
- Cegarra, J. A.; Roig, A. F.; Navarro, M. P.; Bernal, M.; Abad, M.; Climent, D. y Aragón, P. Características, compostaje y uso agrícola de residuos sólidos urbanos. En: *Memorias Jornadas de Recogidas Selectivas en Origen y Reciclaje*. Córdoba, España: Ed Mundi - Prensa 1993. pp. 46-55.
- Cerrato, M.E., Leblanc, H.A., Kameko, C. 2007. Potencial de mineralización de nitrógeno de bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad EARTH. *Tierra Tropical* 3(2): 183-197pp
- Chávez, D., Pereira, G., Machuca, A. 2014. Estimulación del crecimiento en plántulas de *Pinus radiata* utilizando hongos ectomicorrízicos y saprobios como biofertilizantes. *BOSQUES* 35: 57-63.
- Civeira, G., y Rodríguez, M., B., 2011. Nitrógeno residual y lixiviado del fertilizante en el sistema Suelo-Planta-Zeolitas. *Ci. Suelo (Argentina)* 29 (2): 285-294.
- Claassen VP, Carey JL (2004) Regeneration of nitrogen fertility in disturbed soils using composts. *Compost Sci. & Util* 12(2): 145-152.
- Courtney, R. G. y Mullen, G. J. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. *Bioresource Technology*, 2008, vol.99, pp. 2913-2918. ISSN 1873-2976.
- Cruz, C. E.; Sandoval, V. M.; Volke, H. V. H.; Can, Ch. A. y Sánchez, E. J. 2012. Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3:1361-1373.
- Cruz-Flores, G. Guerra-Hernández, E.A, 2014. Métodos de Evaluación y diagnóstico para agua y suelo. UNAM, FES Zaragoza. pp 208.
- Cruz-Lázaro *et al*, 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Uciencia* 25(1): 59-67
- Cruz-Lázaro, E de la.; Estrada-Botello, M. A.; RobledoTorres, V.; Osorio-Osorio, R.; Márquez-Hernández, C. y Sánchez-Hernández, R. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicompost como sustrato. *Universidad y Ciencia.* 25:59-67.
- Cruz-Lázaro, E de la.; Osorio-Osorio, R.; MartínezMoreno, E.; Lozano del Río, A.; Gómez-Vázquez, A. y Sánchez-Hernández, R. 2010. Uso de compostas y vermicompostas para la producción de tomate orgánico en invernadero. *Interciencia.* 35:363-368.
- De Luna, V. A. y Vázquez, A. E. Elaboración de Abonos Orgánicos. México: Universidad de Guadalajara 2009. pp. 4-12.
- Deaquiz-Oyola, Y., Álvarez-Herrera, J., Fraile, A. 2008. Efecto de diferentes láminas de riego y sustratos en la propagación de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hotícolas.* Vol 2 (1). Págs 54-65.
- Dubreucq, B.; N. Berger; E. Vincent; M. Boisson; M. Caboche y L. Lepiniec. 2000. The Arabidopsis AtEPR1 extensin-like gene is specifically expressed in endosperm during seed germination. *Plant J.* 23, 643-652.
- Duryea, M.L. 1985. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. En: M.L. Duryea, editor, *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests.* Páginas 1-4. Oregon State University, Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis.
- Eghball, B. 2000. Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2024-2030.
- Erhart, E. y Hartl, W. Mulching with compost improves growth of blue spruce in Christmas tree plantations. *European Journal of Soil Biology*, 2003, vol. 39, no. 3, pp. 149-156. ISSN 1164-5563.
- Faife Cabrera, F. y Toledo Reina, S.P. Viabilidad de semillas de *Melocactus gutartii* León conservadas por seis y doce meses. *Centro Agrícola* 34(1): 47-50, enero-Marzo, 2007.
- FAO-PESA. 2011. Elaboración y uso de bokashi. Ministerio de Agricultura y Ganadería. El Salvador. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA).
- Febles, J., Borsatto, F., y Soca, M. 2014. Fercel-Clinoptilolite natural product to optimize the fertilization and reduce environmental pollution p156-160. En: *Memorias 16th World Fertilizer Congress of CIEC. Technological Innovation for Sustainable Tropical Agriculture.* Río de Janeiro, Brasil.
- Feldman, L. J. 1984. Regulation of root development. *Annual Review of Plant Physiology* 35: 223-242.
- Ferguson, G. y I. Pepper. 1987. Ammonium retention in sand amended with clinoptilolite. *Soil Sciences Society of American Journal* 51:231-234.

- Fernández-Bravo, C.; N. Urdaneta; W. Silva; H. Polisz y M. Marín. 2005. Germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Río Grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos. *Rev. Fac. Agron. LUZ* 23(2), 188-195.
- Fortis Hernández; *et al.* 2012. Sustratos orgánicos en la producción de pimiento morrón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.3 Núm.6 p. 1203-1216
- García Lozano B.A. Biorreguladores de crecimiento, fertilizantes químicos y orgánicos en tomate (*Lycopersicum esculentum* MILL.) de invernadero. Tesis (Maestra en Ciencias en Producción Agrícola). Escobedo Nuevo León. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía. 2011. 94 pp.
- Gaviola, S. 1996. Factores de Manejo que inciden sobre la calidad de las hortalizas. *Avances en Horticultura* 1(1).
- Gianneto Pace G, Montes Rendón A, Rodríguez Fuentes G. Características, propiedades y aplicaciones industriales. Caracas: Ediciones Innovación Tecnológica; 2000. pp. 95-8.
- Gilloway, RL; RW Weaver; DW Ming & JE Gruener. 2003. Nitrification in a zeoponic substrate. *Plant Soil* 256: 371-378.
- Golueke, C.G. 1972. *Composting: A study of the process and its principles*. Emmaus: Rodale Press, Inc. 110p.
- Gómez, T. L.; Gómez, C. M. A.; Schwentesius, R. R. 1999. Producción y comercialización de hortalizas orgánicas en México, pp. 121-158. *In: Agricultura de exportación en tiempos de globalización, el caso de las hortalizas, flores y frutos*. Gramont De C., H.; Gómez C., M. A.; González, H.; Schwentesius R., R. (eds.). CIEESTAM/UACH. Chapingo, Estado de México.
- Hartmann, H. y Kester, D. 2002. *Plant propagation. Principles and practices*. Prentice Hall.
- Hashemimajd, K.; Kalbasi, M.; Golchin, A.; Shariatmadari, H. 2004. Comparison of vermicompost and composts as potting media for growth of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition* 27: 1107-1123.
- He, N., Xe, M y Ding, Y. 2008. Computational study on IM-5 zeolite: What is its preferential location of Al and proton siting? *Microporus and Mesoporus Materials*. 111 (1-3). Pág 551-559.
- Heeb A, Lundegardh B, Ericsson T, Savage PG. 2005. Nitrogen from affects yield taste of tomatoes. *J. Food Sci. Agric.* 85: 1405-1414.
- Hernández, M., A., Rojas, F., Corona, L., Lara, V., H., Portillo, R., Salgado, M., A., Petranoskii, V. 2005. Evaluación de la porosidad de zeolitas naturales por medio de curvas diferenciales de adsorción. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 21 (2). Págs 71-81.
- Incrocci, A. P.; Campiotti, C. A.; Balducci, R.; Giunchi, L. 2003. Energy, water and fertilizer requirement of a closed loop soilless culture of greenhouse cherry tomato in Sicily. *Acta de Horticultura (ISHS)* 614: 189-192.
- Inglezakis, V., M. Loizidou y H. Grigoropoulou. 2004. Ion exchange studies on natural and modified zeolites and the concept of Exchange site accessibility. *Journal of Colloid and Interface Science*. 275:570-576.
- Iñamagua Uyaguari, J.P. Evaluación de la calidad de plántulas de tomate (*Solanum esculentum* L) y acelga (*Beta vulgaris* L var. *cicla*.) obtenidas sobre diferentes sustratos. Tesis (Ingeniero agropecuario). Cuenca-Ecuador. Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería Agropecuaria. 2010. 48pp.
- Jakobsen, S. T. Leaching of nutrients from pots with and without applied compost. *Resour. Conserv. Recyc.*, 1996, vol.18, pp. 1-11. ISSN 0921-3449.
- Jaramillo-López, P.F., Ramírez, M.I., Pérez-Salicrup, D.R. 2015. Impacts of bokashi on survival and growth rates of *Pinus pseudostrobus* in community reforestation projects. *Journal of Environmental Management* 150: 48-56 pp.
- Jha, V. K., Hayashi, S., and Hazard, J. 2009. Modification on natural clinoptilolite zeolite for its NH₄⁺ retention capacity. *Mater* 169: 29-35.
- Jiménez Terry, F.A. Agramonte Peñalver, D., Ramírez López, M., Pérez Peralta, M., La O Cárdenas, M., Pons Corona, M., Collado López, R. (2012). Uso de humus de lombriz en la formulación de sustratos para la aclimatación de cultivos tropicales. *Centro Agrícola*, 39(3), 37-44.
- Juárez, R.C.L. 2011. Producción de planta forestal en dos viveros tecnificados de Tamaulipas 2008-2009. Memoria de experiencia, Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, estado de México.
- Julca-Otiniano, A. *et al.* 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA (Chile)* Volumen 24, N. 1, págs. 49-61.

- Kithome, M., J. W. Paul, L. M. Lavkulich, y A. A. Bomke. 1998. Kinetics of Ammonium Adsorption and Desorption by the Natural Zeolite Clinoptilolite. *Soil Sciences Society of American Journal* 62:622-629.
- Kubota *et al.* 2015. Influencia del tamaño de maceta y la composición de sustrato sobre la calidad de *Pongamia pinnata* (L.) Pierre. *Investig. Agrar.* 2015; 17(1): 95-71.
- Leblanc. A.; Cerrato, E. M. y Vélex, E. L. Comparación del contenido de nutrientes de bokashis elaborados con desechos de fincas del trópico húmedo de Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología.* 2005, no. 76, p. 50-56.
- Leggo, P. 2000. An investigation of plant growth in an organo-zeolitic substrate and its ecological significance. *Plant Soil* 219: 135-146.
- Lemaire, F. 1997. The problem of biostability in organic substrates. *Acta Horticulturae*, 450: 6369.
- Leone, A.P; Menenti, M; Buondonno, Letizia, A; Maffei, C; Sorrentino, G. 2007. A field experiment on spectrometry of crop response to soil salinity. *Agricultural Water Management* 89: págs. 39-48.
- Leskovar, D. I.; Stofella, P. J. 1995. Vegetable seedling root systems: Morphology, development, and importance. *HortScience* 30(6): 1153-1159.
- Lewis, M. D., F.D. Moore y K.L. Goldberry. 1984. Ammonium-exchanged clinoptilolite and granulated clinoptilolite with urea as nitrogen fertilizers. Pages 123-137. In: W.G. Pond and F.A. Mumpton (eds.). *Zeo Agriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture.* Westview Press, Boulder, CO, USA. 264 pp
- López Baltazar *et al.* 2013. Evaluación agrónomica de sustratos en plántulas de Chile "onza" (*Capsicum annuum*) en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Pub. Es p. Núm. 6. p. 1139-1150
- López Carmona, D.A. 2013. Respuesta de micorrizas de maíz (*Zea mays*) a un gradiente de estrés hídrico y fertilización mineral. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México.
- López M., Hernández, M. Barahona, C. Martínez, M. Portillo, R. y Rojas, F. 2010. Propiedades fisicoquímicas de la clinoptilolita tratada con fertilizantes a usar como aditivo en el cultivo de *Pleurotus ostreatus*. *Terra Latinoam.* 28: 1-8.
- López Martínez *et al.*, 2014. Sistemas de riego para la producción de planta de *Prosopis laevigata* (Humb & Bonpl. Ex Wild), M.C Johnst. En vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 10 (2): 45-51.
- MacKown, C. y T. Tucker. 1985. Ammonium nitrogen movement in a coarse-textured soil amended with zeolite. *Soil Science Society of America Journal* 49:235-238.
- Maldonado, C.; E. Pujado y F.A. Squeo. 2002. El efecto de la disponibilidad de agua durante el crecimiento de *Lycopersicon chilense* sobre la capacidad de sus semillas para germinar a distintas temperaturas y concentraciones de manitol y NaCl. *Rev. Chil. Histor. Natur.* 75, 651-660.
- Manjarrez MMJ, Ferrato-Cerrato R, González-Chávez MC (1999) Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de Chile serrano. *Terra* 17: 9-15.
- Márquez HC, Cano RP, Rodríguez DN (2008) Uso de sustratos orgánicos para La producción de tomate en invernadero. *Agric. Téc. Méx.* 34(1): 69-74.
- Márquez Hernández, C.; Cano Ríos, R. y Rodríguez Dimas, N. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agric. Téc. Méx.* 34:69-74.
- Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Chew-Madinaveitia, Y.I., Moreno-Reséndez, A., Rodríguez-Dimas, N. 2005. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 12(2): 163-169.
- Marquéz-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Rodríguez-Dimas, N. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agricultura Técnica en México.* Vol 34 (1). Págs 69-74.
- Martínez, P.F. 2002. Manejo de sustratos para horticultura. En: "Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas". Campinas: Instituto Agronômico. Documentos IAC 70:53-76.
- Martínez, P.F. y Roca, D. 2011. Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. En: Flórez R., V.J. (Ed.). *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo.* Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp. 37-77.
- Meléndez, G. Indicadores químicos de calidad de abonos orgánicos. En: *Abonos orgánicos: Principios, características e impacto en la agricultura.* Ed Meléndez, G. San José, Costa Rica. 2003. p. 50-63.
- Meléndez, G. y Soto, G. Como medir la calidad de los abonos orgánicos. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 2004, no. 72, p. 91-97.

- Millán G., F. Agosto, L. Vásquez, L. Botto, L. Lombardi, y L. Juan 2008. Uso de clinoptilonita como un vehículo de fertilizantes nitrogenados en un suelo de la región Pampeana de Argentina. *Cien. Inv. Agr.* 35: 293-302.
- Miller, M.J., Mariola. M.J. y Hansen, D.O. 2007. EARTH to farmers: Extension and the adoption of environmental technologies in the humid tropics of Costa Rica. *Ecol. Eng.* 34. 349–357
- Ming DW, Mumpton FA. Minerals in soil environments. Soil Science Society of America. Book Series. 2. edition. Wisconsin: Dixon JB; Weed SB, editors; 1989. pp. 873-911.
- Mitsch, W.J., Jørgensen, S., 2003. Ecological engineering: a field whose time has come. *Ecol. Eng.* 20, 363–377.
- Miyasaka, S. C.; Hollyer, J. R. y Kodani, L. S. Mulch and compost effects on yield and corm rots of taro. *Field Crops Res.*, 2001, vol. 71, pp. 101-112. ISSN 0378-4290.
- Moncada, A., Caracciolo, G. and D'Anna, F. 2008. Effects of substrate solarization on tomato soilless cultivation. *Acta Horticulturae*, 801:1485-1491.
- Moreno Reséndez, A. y Valdés Perezgasga, Ma. T. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agric. Téc. Méx.* 65:26-34.
- Nelson, P. 1998. Greenhouse operation and mangement. Prentice Hall, New Jersey. 637 p. New Jersey. 880 p.
- Nieto-Garibay A, Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, Larrinaga-Mayoral JA, García-Hernández JL (2002) El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27(8): 417-421.
- Nieto-Garibay, A.; Murillo-Amador, B.; Troyo-Diéguez, E.; Larrinaga-Mayoral, J. A. y García-Hernández, J. L. 2002. El uso se compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia.* 27:417-421.
- Nonogaki, H. y Y. Morohashi. 1999. Temporal and spatial pattern of the development of endo- β -mannanase activity in germinating and germinated lettuce seeds. *J. Exp. Bot.* 50, 1307-1313.
- Obroucheva, N.V. y O.V. Antipova. 1997. Physiology of the initiation of seed germination. *Russ. J. Plant Physiol.* 44, 250-264.
- Olivo, V.B y Buduba, C.G. 2006. Influencia de seis sustratos en el crecimiento de *Pinus ponderosa* en contenedores bajo condiciones de invernáculo. *Bosque* 27(3): págs. 267-271.
- Osorio, N, W. 2014. Manejo de nutrientes en suelos del trópico. Segunda edición, Vieco. L.S.A.S., Medellín. pág 401.
- Ouédraogo, E.; Mando, A. y Zombré, N. P. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment.*, 2001, vol. 84, no. 3, pp. 259-266. ISSN 0167-8809.
- Pastor, J. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra* 17(3): 231-235.
- Pfeiffer, E.E. 1992. Introducción al método agrícola biodinámico. París.
- Pineda, P. J.; Castillo, G. M.; Morales, C.; Colinas, L. M. T.; Valdez, A. L. y Avitia, G. E. 2008. Efluentes y sustratos en el desarrollo de nochebuena. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(2):131-137.
- Premuzic, Z.; Nicolosi, R. 1995. Determinación de materia seca y macronutrientes en plántulas de tomate de cultivos orgánicos. *Actas del XVIII Congreso Argentino de Horticultura*. Termas de Río Hondo, Santiago del Estero, Argentina. p. 123.
- Princich, F. R.; Gallardo, C. S.; Valenzuela, O. R. 1996. El uso de gallinaza como medio de crecimiento para plántulas de pimiento. *Actas del VIII Congreso Latinoamericano de Horticultura y VI Congreso Nacional de Horticultura*. Montevideo, Uruguay. p. 57.
- Producción de plantas en viveros forestales / María Gabriela Buamscha... [et.al.]; coordinado por Liliana T. Contardi... [et.al.]. - 1a ed. - Buenos Aires: Consejo Federal de Inversiones; Comodoro Rivadavia: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco UNPSJB; Comodoro Rivadavia: Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, Argentina, 2012.
- Puerta et al., 2012. Producción de plántulas de pimentón en sustratos orgánicos a base de mezclas con fibra de coco. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (2). Págs 298-306.
- Quesada Roldán, G., Méndez Soto, C. 2005. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Agronomía Mesoamericana* 16 (2): 171-183.
- Quesada, G. y C. Méndez. 2005. Análisis fisicoquímico de materias primas y sustratos de uso potencial en almácigos de hortalizas. *Rev. Agr. Trop.* 35, 1-13.
- Rainbow, A y wilson, N. 1998. The transformation of composted organic residues into effective growing media. *Acta Horticulturae*, 469: 79-95.

- Ramírez-Builes, V.H., Naidu-Duque, N. 2010. Respuesta del lulo La Selva (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*) a la aplicación de fermentos aeróbicos tipo bokashi.
- Ramírez-Farías, L. "Inteligencia de mercados y nichos comerciales para el fomento de productos agropecuarios no tradicionales", en Memoria de la Primera Exposición Nacional 11-13 de diciembre de 1997, SAGAR, México, p.246.
- Ramos Agüero, D. y Elein, T, A. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del bokashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Cultivos tropicales vol. 35, num. 4. Págs. 52-59.
- Ramos Agüero, David; Terry Alfonso, Elein; Soto Carreño, Francisco; Cabrera Rodríguez, Juan A. Bokashi: abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en bocas del toro, Panamá. Cultivos Tropicales, vol. 35, núm. 2, abril-junio, 2014, pp. 90-97
- Reyes, C. F., Rivera O, Jiménez M, Montes de Oca J L., Occeguera Z, Hernández A R., García J. R y Martínez, S. (2011). Aclimatación de cultivares de caña de azúcar procedentes de la fase de enraizamiento a los que se les aplicó Fitomas-E. *Centro Agrícola*, 38(1), 35-38.
- Riviere, L. y Caron, J. 2001. Research in substrates: state of the art and need for the coming 10 years. *Acta Horticulturae*, 548: 29-37.
- Robles, S.R. 2010. Calidad de planta y variación de semillas en *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. En la región costa de Oaxaca. Tesis Licenciatura. Universidad del Mar Campus Puerto Escondido, Oaxaca.
- Rodríguez Macías, R.; Alcántar González, E. G.; Iñiguez Covarrubias, G.; Zamora Natera, F.; García López, P.; Ruíz López, M. A. y Salcedo Pérez, E. 2010. Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia*, 35:515-520.
- Rodríguez-Dimas N, Cano-Ríos P, Favela-Chávez E, Figueroa-Viramontes U, Paul-Álvarez V de P, Palomo-Gil A, Márquez-Hernández C, Moreno-Reséndez A (2007) Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13(2): 185-192
- Romero-Arenas, O., López Escobedo, R., Damián Huato, M.A., Hernández Treviño, I., Parraguirre Lezama, F.C. Huerta Lara. M. 2012. Evaluación del residuo de cáscara de nuez (*Junglans regia* L.) en la producción de plántulas de *Pinus patula*, en vivero. *Agronomía Costarricense* 36(2): 103-113.
- Ruiz C., J.A., G. Medina G., I. J. González A., H.E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K.F. Byerly M. y R.A. Martínez P. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.
- Saltiel, J., Bauder, J., Palakovich, S., 1994. Adoption of Sustainable Agricultural Practices: Diffusion, Farm Structure, and Profitability. *Rural Sociol.* 59, 333–349.
- San Martín, H. C.; Ordaz, Ch. V. M.; Sánchez, G. P.; Colinas, L. M. T. y Borges, G. L. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia* 46(3):243-254.
- Sasaki, S; Alvarado, A; Li Kam, A. 1994. Curso básico de agricultura orgánica. Costa Rica, Convenio UCR.JOCV. 30 p.
- Shintani, M.; Leblac, H. y Tabora, P. Tecnología tradicional adaptada para una agricultura sostenible y un manejo de desechos modernos. 1ª ed. Guácimo (CR): Universidad EARTH. Guía para uso práctico 2000. 25 pp.
- Singh, B.P. y U.M. Sainju. 1998. Soil physical and morphological properties and root growth. *HortScience* 33(6), 966-971.
- Soca, M., Daza-Torres., M., C. 2015. La zeolita y su efecto en la eficiencia del nitrógeno en arroz y maíz. *Rev. Cienc.Agr.*32 (2): págs 46-55.
- Soca, M., Daza-Torres., M., C. 2016. Evaluación de fracciones granulométricas y dosis de zeolita para la agricultura. *Agrociencia* 50. Págs 965-976.
- Soler, R.; Brunetti, P. and Senesi, N. 2002. Comparative chemical and spectroscopic characterization of humic acid from sewage sludges and sludgeamended soils. *Soil Sci.* 167:235-245.
- Soto G., Meléndez, G. 2004. Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*. No 72. Pág 91-97.
- Soto, G. 2003a. Abonos orgánicos: definiciones y procesos. *In* Meléndez, G; Soto, G; Uribe, L. eds. *Abonos Orgánicos: principios, características e impacto en la agricultura*. Costa Rica, CATIE, UCR.

- Stella, A., Rosales, F., Romero, J., Romero, C., Jiménez, M.I, Jiménez, R., Acuña, O., Tabora, P., Segura, R., Pocasangre, L.E. Villalobos, M. 2006. Estandarización de enmiendas orgánicas para banano en América Latina y el Caribe. ACORBAT. Brasil. 2008. p. 234-240.
- Subler, S.; Edwards, C. A. and Metzger, J. D. 1998. Comparing vermicomposts and composts. *Biocycle*. 39:63-66.
- Tadeo, F. 2000. Fisiología de las plantas y el estrés. pp. 481-498. En: Azcon-Bieto, J. y M. Talón (eds.). *Fundamentos de fisiología vegetal*. Mc Graw-Hill/ Interamericana de España, Barcelona.
- Thompson B.E., 1985. Seedling morphology: what you can tell by looking. En: *Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Tests*. Duryea M. L., ed. Corvallis, Oregon, FRL, pp. 59-71.
- Tittonell, P. ADe Grazia, J.; Chiesa, A. 2003. Emergencia y tasa de crecimiento inicial en plántulas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cultivados en sustratos adicionados con polímeros superabsorbentes. *Revista Ceres* 50(291): 659-668.
- Tuzel Y, Yagmur B, Gumus M (2003) Organic tomato production under greenhouse conditions. *Acta Hort (ISHS)* 614: 775-780.
- Valenzuela, O. R.; Gallardo, C. S. 1997. Uso de lombricomposteo como medio de crecimiento para plántulas de tomate (cv. Platense). *Revista Científica Agropecuaria* 1: 15-21.
- Vargas, T. P.; Castellanos, R. J. Z.; Muñoz-Ramos, J. J.; Sánchez, G. P.; Tijerina, Ch. L; López, R. R. M.; Martínez, S. C. y Ojodeagua, A. J. L. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agric. Téc. Méx.* 34(3):323-331.
- Villar Salvador, P. 2003. Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. *Restauración de Ecosistemas Mediterráneos*, Rey-Benayas, J.M.; Espigares Pinilla, T. y Nicolau Ibarra, J.M. (Editores), Universidad de Alcalá / Asociación Española de Ecología Terrestre, 2003.
- Wien, H. C. 1997. Transplanting. In: Wien, H. C. (Ed.). *The Physiology of Vegetable Crops*. CAB INTERNATIONAL, Oxon, UK.
- Wilches, F. y J. Álvarez. 2007. Tamaños de alveolo y diferentes láminas de riego en obtención de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, UPTC, Tunja.
- Xiaohou, S., Min, T., Ping, J., Weiling, C. 2008. Effect of EM Bokashi application on control of secondary soil salinization. *Water Science and Engineering* 1(4): 99-106 pp.
- Zeolita, uso agrícola. Recuperado de <http://hidrogelcolombia.es.tl/Zeolita-uso-agr%EDcola.htm> (17/08/15)

XIV. Anexos

Anexo 1. Técnicas de análisis físico y químico de suelos empleadas.

Método Gravimétrico de Capacidad de Campo.

- Secar a una temperatura estable de 105-110 °C las muestras por un período de 24 o 48 h
- Pesar 10 g de suelo¹
- Enfriar en desecador
- Colocar un papel filtro en el embudo y a continuación los 10 gramos de sustrato, colocar un vaso de precipitados para recolectar el agua drenada por el sustrato
- Saturar con 50 ml de agua destilada el sustrato
- Colocar plástico PVC sobre el embudo para evitar pérdidas por evapotranspiración.
- Dejar drenar por 24 o 48 h.
- Pesar la muestra de sustrato húmedo

Obtener el %CC con la siguiente fórmula:

$$\%CC = \left(\frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} \right) \times 100$$

1 Puede reducirse la cantidad de sustrato en variación de la densidad del mismo o su capacidad de expansión al absorber agua

Método de pH

- Calibrar el potenciómetro con las soluciones calibradoras, especialmente 10 y 7
- Colocar 10 g de suelo molido y homogeneizado, secado al aire en un vaso de precipitados de 100 mL.
- Añadir 20 mL de agua destilada, para lograr una relación suelo/solución 1:2
- Agitar manualmente durante 1 minuto y dejar reposar por 10 minutos. Repetir este procedimiento dos veces.
- Agitar perfectamente la suspensión del suelo antes de efectuar la lectura correspondiente de pH.

Conductividad Eléctrica

- Colocar 10 g de suelo secado al aire en un vaso de precipitados de 100 mL.
- Añadir 50 mL de agua destilada, agitar y dejar reposar por 24 h.
- Medir la conductividad del sobrenadante, posteriormente enjuagar la celda con agua destilada. Tomar la temperatura de la muestra problema.
- Realizar las correcciones de CE con el factor de temperatura.

Materia orgánica

- Pesar 0.1 g de sustrato (esto debido al alto contenido de materia orgánica contienen las muestras problema), tamizado en una malla de 2 mm, se colocan en un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Se añaden 5 mL de dicromato de potasio 1N y se agita, Adicionalmente se preparará un blanco.
- Se añaden 10 mL de ácido sulfúrico concentrado y se agita durante un minuto, se deja reposar por 30 min o hasta que haya enfriado.
- Se añaden 100 mL de agua destilada, se agita y se deja enfriar.
- Se agregan 5 mL de ácido fosfórico concentrado, 0.05 g de fluoruro de sodio y 10 a 15 gotas de indicador de difenilamina.
- Se titula con ácido ferroso 0.5 N.

El porcentaje de materia orgánica se obtendrá con la siguiente fórmula:

$$\%M.O = 5 \left(1 - \frac{M}{B} \right) \times 6.70$$

Reactivos.

- 1.- Dicromato de potasio 1N. Disolver 48.82 g de $K_2Cr_2O_7$ en agua destilada y aforar a 1 L.
- 2.- Indicador de difenilamina. Disolver 0.5 g de difenilamina en 20 mL de agua destilada y añadir 100 ml de ácido sulfúrico concentrado.
- 3.- Sulfato ferroso 1.0 M. Disolver 278 g de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ en agua a la que previamente se le agregaron 80 mL de H_2SO_4 concentrado. Enfriar y diluir a un 1 L.

Método Kjeldal para nitrógeno total

- Colocar 1 g de suelo tamizado en malla 1.5 mm o malla 30 en matraz Kjeldal (32 g)
- Agregar 4 mL de mezcla de ácido sulfúrico-salicílico. (150 mL)
- Después de 30 min adicione 0.1 g de mezcla catalizadora (3.6 g)
- Calentar a temperatura media alta hasta que el digestado se torne claro.
- Bullir la muestra por una hora. A partir de este momento, la temperatura se debe regular para que los vapores del ácido se condensen en el tercio inferior del cuello del matraz.
- Se deja enfriar, se agrega el agua destilada (15 mL pueden ser suficientes) (550 mL) para colocar el digestado en suspensión mediante agitación.
- Dejar decantar las partículas de sílice y evite precipitación de cristales de NH_4SO_4 , transferir al equipo de destilación y agregar 15 mL de NaOH 50%. (550 mL)
- Se procede a la destilación. Se recibe el destilado en 10 mL de ácido bórico al 4% y 0.2 mL de mezcla de indicador verde de bromocresol-rojo de metilo y llevar hasta un volumen de 50 mL. (360 mL ácido, 7.2 mL indicador)
- Se titula con ácido sulfúrico 0.05 N, hasta un tono levemente rosado en la solución. (1800 mL máx.)
- Método del modificado del versenato de Scholleberg y Simon (1945)
- Pesar 2.5 g de suelo tamizado (malla 2 mm)
- Agregar 10 mL colocar la muestra en un embudo con papel filtro o algodón para filtrar.
- Agregar 10 mL de $CaCl_2$ 1 N pH 7.0 (repetir cinco veces, agregar sólo hasta que haya terminado de filtrar completamente cada alícuota de 10 mL)
- Agregar 10 mL de etanol procediendo de la misma forma que en el paso anterior. Desechar el filtrado del paso 3 y 4.
- Agregar 10 mL de NaCl 1 N pH 7.0, repetir cinco veces como en el paso 3. Conservar el filtrado.

- Agregar al filtrado 10 mL de la solución buffer pH 10.0
- Agregar 5 gotas de clorhidrato de hidroxilamina
- Agregar 5 gotas de eriocromo negro T
- Titular con EDTA hasta el viré de púrpura a azul.

Anexo 2.Requerimientos agroecológicos de los cultivos empleados

Pimiento morrón

Características descriptivas

Nombre científico: *Capsicum annuum* (L.) Merr. var. *annuum*; Cultivar Pimiento.

Nombres comunes: Chile dulce, chile morrón, pimiento morrón, pimiento, pimentón, ají (Valle, 2010; Orellana *et al.*, 2012).

Familia: *Solanaceae*.

Origen: México (González, 1984). Mesoamérica de América del Sur y Central; domesticado en México (Valle, 2010). Continente americano, probablemente en Bolivia y Perú, donde se han encontrado semillas ancestrales de más de 7,000 años, y desde donde se habría diseminado a toda América (Orellana *et al.*, 2012).

Distribución: 40° N a 40° S (Benacchio, 1982). América, Europa, África y Asia. Los principales países productores son: China, Estados Unidos y México (Orellana *et al.*, 2012).

Adaptación: Zonas templadas y subtropicales (González, 1984). Zonas templadas, subtropicales y tropicales, semifrías, semicálidas y cálidas, áridas, semiáridas, subhúmedas y húmedas (FAO, 1994; Aragón, 1995). Regiones tropicales y subtropicales (Orellana *et al.*, 2012).

Ciclo de madurez: 75-130 días (Baradas, 1994). 95-100 días después del trasplante (Benacchio, 1982). 120 a 150 días (Doorenbos y Kassam, 1979). 95-100 días después del trasplante (Benacchio, 1982). 120 a 150 días (Doorenbos y Kassam, 1979). Es un cultivo anual. En el segundo año puede rebrotar y volver a producir mediante poda de rejuvenecimiento antes de que termine su desarrollo vegetativo (Serrano, citado por Valle, 2010). Es un cultivo de 100-180 días; la cosecha dura 75-120 días, con cortes semanales o bisemanales durante 6-15 semanas, dependiendo del manejo que se dé al cultivo. El primer ciclo de fructificación inicia a los 90-100 días después de plantado (Orellana *et al.*, 2012).

Tipo fotosintético: C₃.

Requerimientos climáticos

Altitud: 0-1800 m (González, 1984). 0-2300 m, según la variedad (Orellana *et al.*, 2012). El óptimo altitudinal está entre 1600 y 2500 m (Maciel *et al.*, 2005).

Fotoperíodo: Tiene tendencia a no presentar sensibilidad al fotoperíodo (Baradas, 1994). Indiferente al fotoperíodo o planta de día corto (Doorenbos y Kassam, 1979). Existen tanto cultivares de día corto como de día largo (Benacchio, 1982). La iniciación del primordio floral está cuantitativamente controlada por la duración del día, pero las plantas tienden a preferir un fotoperíodo intermedio (Vince-Prue, citado por Rylski, 1985). Planta de días cortos.

Sin embargo, existen cultivares cuyas exigencias varían de 12 a 15 horas Orellana *et al.*, 2012).

Radiación (Luz): Requiere radiación solar directa. La cantidad de luz requerida va de 32.3 a 86.1 Klux (Baradas, 1994). El chile dulce necesita iluminación intensa, de lo contrario, el ciclo vegetativo se alarga. Por otro lado, la sombra tenue en campo puede ser benéfica para el cultivo (reduce el estrés de agua y la quema de frutos por el sol); sin embargo, el exceso de sombra disminuye la tasa de crecimiento del cultivo y puede provocar aborto de flores y frutos. (Orellana *et al.*, 2012).

Temperatura: Para germinar requiere una temperatura mínima de 13°C, siendo la óptima de 25°C y la máxima de 40°C (Ibar y Juscafresa, 1987). El rango de temperatura es 10-35°C, con un óptimo para fotosíntesis de 25-30°C. La media óptima está entre 19 y 24.5°C (Benacchio, 1982). El rango óptimo de temperatura va de 18 a 23°C. Es una especie sensible a las heladas (Doorenbos y Kassam, 1979). Cuando las temperaturas nocturnas son inferiores a 16°C o superiores a 32°C, se reduce el amarre y desarrollo de frutos (Baradas, 1994). El óptimo de temperatura nocturna está entre 16 y 18°C, y para el cuajado de fruta, la mínima, óptima y máxima son de 18-20, 25 y 35°C. La temperatura de congelación es de -1°C. El óptimo de crecimiento es 20-25°C (Yuste, 1997a). El mayor amarre de frutos se produce a temperaturas nocturnas alrededor de 15°C (Rylski y Spiegelman, 1982).

Precipitación (agua): Requiere de 600 a 900 mm para completar el ciclo vegetativo. En condiciones en que la evapotranspiración máxima es de 5 a 6 mm día⁻¹, se puede agotar hasta el 25-30% del agua total disponible en el suelo, sin que se aprecie una reducción en la absorción de agua del suelo (Doorenbos y Kassam, 1979). Requiere de 500 L m⁻², para lograr el desarrollo de todo el ciclo de cultivo (Ibar y Juscafresa, 1987). Requiere 580 mm por ciclo de cultivo (Baradas, 1994). Demanda de 750 a 1500 mm de precipitación (González, 1984). 600-1200 mm de precipitación. Se cultiva preferentemente bajo riego, siendo los periodos críticos por exigencia de agua los del establecimiento del cultivo, floración y formación del fruto (Benacchio, 1982).

Humedad relativa: Requiere de atmósfera moderadamente húmeda, ya que es muy susceptible al ataque de enfermedades. La humedad relativa óptima es de 50-70% (Ibar y Juscafresa, 1987). Óptima 60 a 70 % (Valle, 2010). En periodo de floración y cuajado, la humedad relativa optima está entre 50 y 70 %; valores altos y abundante follaje favorecen los ataques de enfermedades y dificultan la fecundación de las flores. Mientras que la humedad baja, ocasiona frutos deformes y pequeños. Si a esta se añan altas temperaturas, se provoca caída de flores y frutos (Serrano; citado por Valle, 2010). 70-90% (Orellana *et al.*, 2012). Las condiciones de conservación en cámara frigorífica son 7-10°C y 90% de humedad relativa (Yuste, 1997a).

Requerimientos edáficos

Profundidad de suelo: Requiere suelos con un mínimo de 60 cm de profundidad (INIFAP, 1994). Los suelos deberían ser de al menos 70 cm de profundidad (Ibar y Juscafresa, 1987). La profundidad de raíces puede llegar hasta 1 m, pero bajo riego, las raíces se concentran principalmente en la capa superior

de suelo de 0.3 m de profundidad. Normalmente el 100% de absorción de agua tiene lugar en la primera capa de suelo de 0.5 a 1.0 m de profundidad (Doorenbos y Kassam, 1979). Requiere suelos de profundidad moderada (FAO, 1994; Orellana *et al.*, 2012), con una profundidad efectiva mínima de 35 a 50 cm (Aragón, 1995).

Textura: Requiere suelos de textura ligera a media (Doorenbos y Kassam, 1979). Prefiere suelos francos, franco-arcillo-limosos y franco-arcillosos (Benacchio, 1982). Desarrolla mejor en suelos de textura ligera a media (FAO, 1994). Los suelos ideales son de textura ligera a intermedia: franco arenosos, francos; no son convenientes suelos muy arcillosos (Orellana *et al.*, 2012).

Drenaje: Evitar encharcamientos, ya que el chile requiere de suelos bien drenados (González, 1984). Requiere suelos con buen drenaje (FAO, 1994). Prefiere suelos bien drenados, el exceso de humedad incrementa enfermedades de la raíz asociadas a los hongos *Phytophthora capsici* y *Fusarium* sp. (Cano; citado por Gómez *et al.*, 2010). Este cultivo requiere suelos profundos y con buen drenaje; el encharcamiento por periodos cortos, ocasiona la caída de las hojas por la falta de oxígeno en el suelo, además de que favorece el desarrollo de enfermedades fungosas (Orellana *et al.*, 2012).

pH: 5.5 – 7.0 (Doorenbos y Kassam, 1979). 5.0 – 7.5 (Benacchio, 1982). El óptimo se ubica entre 6.5 y 7.0, pero puede vegetar en suelos con pH hasta de 8.0 (Ibar y Juscafresa, 1987). Su rango de pH está entre 5.5 y 7.0, con un óptimo de 6.2 (FAO, 1994). pH óptimo de 5.5-7.0 (Castellanos *et al.*, 2000; Orellana *et al.*, 2012).

Salinidad/Sodicidad: En la etapa de plántula es muy sensible a la salinidad, pero en etapas posteriores es moderadamente sensible. La disminución del rendimiento para distintos niveles de conductividad eléctrica es la siguiente: 0% para 1.5 dS m⁻¹; 10% para 2.2 dS m⁻¹; 25% para 3.3 dS m⁻¹; 50% para 5.1 dS m⁻¹ y 100% para 8.6 dS m⁻¹ (Doorenbos y Kassam, 1979; Ayers y Westcot, 1985). Medianamente tolerante a la salinidad (Benacchio, 1982). Es un cultivo sensible a la salinidad (Sánchez, 2001). Moderadamente tolerante en campo, mucho menos que tomate, ya que una conductividad eléctrica alrededor de 2.0 disminuye el rendimiento en 7% y, 31% si la C.E. es 3.0 (Castellanos *et al.*, 2000). Durante la etapa de producción de plántula es sensible a la salinidad del suelo; pero a medida que se desarrolla en campo, se vuelve relativamente tolerante (Orellana *et al.*, 2012).

Fertilidad y química del suelo: Es planta exigente en materia orgánica por lo que llega a agotar al suelo, de tal forma que además de agregar materia orgánica, es conveniente no repetir la plantación hasta pasados de tres a cinco años. Son buenas alternativas de cultivo leguminosas, compuestas, aliáceas, crucíferas y umbelíferas, pero deben evitarse otras solanáceas y las cucurbitáceas (Ibar y Juscafresa, 1987). El Boro es un nutrimento esencial en la etapa de polinización; sin embargo, su requerimiento foliar es moderado, de 0.7-1.0 mg L⁻¹ (ppm) (Castellanos *et al.*, 2000). La demanda nutrimental de N, P₂O₅, KO, CaO y MgO para producir una tonelada de frutos de pimiento morrón en invernadero es: 2.4, 0.2, 2.3, 0.5 y 0.4 Kg, respectivamente (Valle, 2010). En campo abierto varía de: 2.4-4.0, 0.4-1.0, 3.4-5.29, 0.55-1.80 y 0.28-0.49 Kg, respectivamente. La deficiencia de Mg puede ocasionar frutos pequeños, en menor cantidad y calidad

(Salazar y Juárez, 2013). Según Graifenberg et al., citados por Valle (2010) las extracciones en invernadero son mayores en Potasio y menores en Fósforo que en campo abierto.

Resistencia a sequía: Es muy sensible a la sequía por lo que el suelo debe mantenerse siempre húmedo (Ibar y Juscafresa, 1987). El déficit hídrico estanca el desarrollo y ocasiona daños en la calidad del fruto (rajaduras o pudrición apical) (Gómez et al., 2010). Este cultivo se considera susceptible a la sequía ya que sólo puede tolerar el estrés hídrico por periodos cortos. Periodos más prolongados de sequía pueden ocasionar caída de hojas, flores y frutos, por lo que disminuye el rendimiento y la calidad del fruto (Orellana et al., 2012).

Tolerancia a altas temperaturas: Es una especie moderadamente tolerante a altas temperaturas, ya que presenta problemas en la reproducción por arriba de los 32°C, por caída de flores (De Vilmorín, 1977). Con altas temperaturas, la planta puede manifestar crecimiento vegetativo excesivo y baja producción. Cuando las altas temperaturas ocurren durante la fructificación disminuye la calidad del fruto (más frutos pequeños, de coloración deficiente y con pudrición apical) y el rendimiento. Algunas medidas que pueden ayudar a aliviar el efecto de las altas temperaturas son incrementar la humedad del suelo y realizar la polinización de manera manual (Valle, 2010). Con la ocurrencia de altas temperaturas se producen frutos partenocárpicos (muy pequeños y de formas irregulares) (Salas y Urrestarazu; citados por Valle, 2010).

Puerta et al. (2012) Realizaron análisis físicos y químicos de sustratos con base en fibra de coco, más seis materiales diferentes, las mezclas fueron en proporción 1:1, la mezcla de cachaza de caña y fibra de coco resultó ser la alternativa más viable de producción de pimiento morrón, sin embargo, no presentan un análisis costo-beneficio que compare los resultados obtenidos entre los otros sustratos y el que contiene cachaza para determinar que este es el más viable.

Jitomate

Características descriptivas

Nombre científico: *Lycopersicon esculentum* Mill.

Nombres comunes: Tomate (España y Francia; Noroeste de México), tomat (Indonesia), faan keé (China), tomati (África Occidental), tomatl (Náhuatl), jitomate (México), pomodoro (Italia) nyanya (Swahili) (Naika et al., 2005).

Familia: Solanaceae.

Origen: México (González, 1984). América del Sur, región Andina (Huerres y Carballo, 1988). Sudamérica, región Andina (Naika et al., 2005).

Distribución: 40°N a 40°S (Benacchio, 1982).

Adaptación: Zonas tropicales, subtropicales y templadas (González, 1984). Planta de clima cálido pero con buena adaptación a climas templados (Corpeño, 2004).

Ciclo de madurez: 25 a 35 días en vivero, más 90 a 140 días en el campo (Doorenbos y Kassam, 1979). 60 a 90 días a madurez del fruto (Corpeño, 2004).

45 a 55 días después de floración ocurre la primera cosecha. El ciclo de producción puede llevar hasta 90-120 días (Naika *et al.*, 2005).

Tipo fotosintético: C₃.

Requerimientos climáticos

Altitud: 0-1000 m (Benacchio, 1982). 0-1800 m (González, 1984). 100-1500 m (Corpeño, 2004). Mientras más se acerca hacia áreas tropicales (21-23°LN), más se adapta a altitudes cercanas al nivel del mar.

Fotoperíodo: Planta de día neutro (Doorenbos y Kassam, 1980; Baradas, 1994). No lo afecta el fotoperíodo, aunque requiere buena iluminación, de 8 a 16 h, de manera que la densidad de población es importante (Corpeño, 2004).

Radiación (Luz): Requiere alta intensidad luminosa. La escasez de luz produce debilitamiento en las plantas, las cuales se tornan más susceptibles a enfermedades (Huerres y Caraballo, 1988). Los frutos registran el más alto contenido de ácido ascórbico cuando crecen a altas intensidades luminosas (Baradas, 1994). Esta especie prefiere mucha insolación (Benacchio, 1982). Alta intensidad de luz afecta color de hojas y frutos. Follaje denso conserva temperaturas bajas y protege al fruto de la luz. Nublados pueden causar abscisión de flores y frutos (Naika *et al.*, 2005).

Temperatura: El rango de temperatura está entre 15 y 29°C (Guenkov, 1969). El crecimiento vegetativo es muy lento con temperaturas por debajo de 10°C, así como la floración se detiene con temperaturas menores que 13°C. Las altas temperaturas afectan la floración. La temperatura óptima para la floración se encuentra entre 15 y 18°C. Es una especie sensible al termoperíodo, las altas temperaturas nocturnas (22-30°C) reducen la formación de flores. El licopeno, que es responsable de la coloración del fruto, comienza a destruirse por arriba de los 30°C. La temperatura del suelo debe estar entre 25 y 30°C para lograrse la más alta actividad fotosintética (Huerres y Caraballo, 1988). Rango 10-35°C, óptimo para fotosíntesis 25-30°C. Las medias óptimas para este cultivo son 21-24°C de día y 15-20°C de noche. La mínima no debería bajar de 12°C y las noches deberían ser relativamente frescas (18-20°C). Temperaturas diurnas inferiores a 21°C reducen sensiblemente la floración; para maduración, la temperatura diurna debe ser superior a 23°C, pero no superior a 27°C. Áreas con temperaturas altas nocturnas superiores a 20°C, son poco aptas para el tomate. La oscilación térmica diaria debería ser de 9 a 11°C (Benacchio, 1982). La temperatura óptima es de 26-32°C para germinación de la semilla, 25-26°C para crecimiento de la plántula, 22-27°C para la germinación del polen y crecimiento del tubo polínico, 18-20°C para formación de fruto y 24 a 28°C para la maduración de fruto (Baradas, 1994). El óptimo de temperatura media mensual es de 20 a 24°C, el desarrollo se detiene a 10-12°C y la planta se hiela a -2°C (Ibar y Juscafresa, 1987). Las temperaturas óptimas diurnas van de 28 a 30°C y las nocturnas de 15 a 18 °C. Temperaturas >35°C y <10 °C en floración provocan abscisión y limitan el cuajado del fruto (Corpeño, 2004). La temperatura de suelo mínima, óptima y máxima para el tomate es 12, 20-24 y 34°C (Yuste, 1997a).

Precipitación (agua): Requiere 460 mm de agua por ciclo de cultivo (Baradas, 1994). Necesita 400-600 mm por periodo vegetativo. En condiciones en que la evapotranspiración máxima es de 5 a 6 mm día⁻¹, la absorción de agua para

atender todas las necesidades hídricas del cultivo se ve afectada cuando se ha agotado más del 40% del agua total disponible en el suelo (Doorenbos y Kassam, 1979). Se cultiva preferentemente bajo condiciones de riego, pero en caso de cultivarse bajo temporal, 600 mm se consideran suficientes para esta especie (Benacchio, 1982). Para plantas con una altura promedio de 70 cm, el coeficiente de cultivo (K_c) para las etapas inicial, intermedia y final de desarrollo es 0.6, 1,15 y 0.7-0.9, respectivamente (Allen *et al.*, 2006).

Humedad relativa: El rango más favorable de humedad relativa va de 50 a 60% (Huerres y Caraballo, 1988). Óptima de 65 a 70%. Humedades relativas <40% afectan viabilidad del polen y causan déficit de Ca por limitaciones en evapotranspiración (podredumbre apical del fruto) (Corpeño, 2004). Las condiciones de conservación en cámara frigorífica para tomate verde son 10-15°C de temperatura, y 90-95% de humedad relativas. Mientras que para tomate maduro son 2-10°C y 90-95% de humedad relativa (Yuste, 1997a).

Requerimientos edáficos

Profundidad de suelo: Requiere suelos profundos (Benacchio, 1982) por lo general mayores que 1 m. Más del 80% de la absorción total de agua tiene lugar en la primera capa de suelo de 0.5 a 0.7 m y el 100% de la absorción de agua de un cultivo plenamente desarrollado tiene lugar a partir de la primera capa de suelo de 0.7 a 1.5 m (Doorenbos y Kassam, 1979). El tomate necesita suelos profundos para expresar su máximo potencial de producción (Corpeño, 2004).

Textura: Los suelos óptimos son los limos ligeros (Doorenbos y Kassam, 1979). Desarrolla bien en suelos franco-arcillosos pero prefiere suelos franco-arenosos de mediana fertilidad (Benacchio, 1982). Le son favorables suelos franco-arenosos y arcillo arenosos (Corpeño, 2004).

Drenaje: Requiere suelos con buen drenaje (Huerres y Caraballo, 1988; Corpeño, 2004). Los encharcamientos pueden promover el desarrollo de enfermedades, a las cuales el tomate es muy susceptible.

pH: El rango óptimo de pH va de 5 a 7 (González, 1984). 5.5-6.8 (Benacchio, 1982; Naika *et al.*, 2005). 5.0-7.0 (Doorenbos y Kassam, 1979). Su rango de pH va de 5.5 a 7.0, siendo el óptimo 6.2 (FAO, 1994). Óptimo para mejores rendimientos: 5.9-6.5 (Corpeño, 2004).

Salinidad/Sodicidad: Es bastante tolerante a la salinidad (Benacchio, 1982). Moderadamente sensible a la salinidad. La disminución del rendimiento para diversos valores de conductividad eléctrica es como sigue: 0% para 2.5 dS m⁻¹, 10% para 3.5 dS m⁻¹; 25% para 5.0 dS m⁻¹; 50% para 7.6 dS m⁻¹ y 100% para 13 dS m⁻¹. El periodo más sensible a la salinidad es durante la germinación y desarrollo inicial de la planta (Doorenbos y Kassam, 1979; Ayers y Westcot, 1985). Tolerante, su umbral es de CE=2.5 dS m⁻¹. A valores de 3,4, 5 y 6 dS m⁻¹ el rendimiento se reduce en 65, 75, 85 y 95%, respectivamente (Castellanos *et al.*, 2000). Cultivo sensible a la salinidad (Sánchez, 2001). Su relativa tolerancia a la salinidad se atribuye a ajustes osmóticos (Amico *et al.*, 2006).

Fertilidad y química del suelo: Para un rendimiento aproximado de 50 t ha⁻¹, se requieren aproximadamente de NP₂O₅- K₂O - MgO - Ca: 200, 115,208, 37 y 41 kg ha⁻¹, respectivamente (Corpeño, 2004). Según el nivel de P₂O en el suelo, la cantidad a agregar (kg ha⁻¹) para un rendimiento de 80 t ha⁻¹ es: Muy bajo, de 55-

60; bajo, de 40-50; moderadamente bajo, 30-40; medio, 22-30; moderadamente alto; 18-22, alto, 0-18 (Castellanos *et al.*, 2000).

Resistencia a sequía: Tolerancia al estrés hídrico debido a mayor crecimiento de raíces o por ajustes osmóticos; por lo que existen genotipos que desarrollan con menos humedad del suelo (Amico *et al.*, 2006; Wittwer, 1995; Larcher, 2003). No resiste largos periodos de sequía, ya que éstos pueden causar abscisión de flores y frutos (Naika *et al.*, 2005).

Tolerancia a altas temperaturas: Susceptible a altas o bajas temperaturas, pero ambientes enriquecidos de CO₂ reducen los efectos negativos debido a que la planta trabaja con aperturas de estomas más pequeños (Wittwer, 1995; Larcher, 2003). Altas temperaturas pueden provocar aborto de flores y frutos (Naika *et al.*, 2005).

Berenjena

Descripción de la especie y requerimientos agroecológicos.

Nombre científico: *Solanum melongena* L. Var. *esculentum* Nees.

Nombres comunes: Berenjena, flor de huevo, nana.

Familia: *Solanaceae*.

Origen: Asia tropical (González, 1984). India (Benacchio, 1982).

Distribución: 40° N a 40° S (Benacchio, 1982). Adaptación: Zonas tropicales y subtropicales, por debajo de los 1600 msnm (González, 1984).

Ciclo de madurez: 70 días luego del trasplante (Benacchio, 1982). 75-150 días (Baradas, 1994).

Tipo fotosintético: C₃.

Requerimientos climáticos.

Altitud: 0-800 m (Benacchio, 1982). En los trópicos, desarrolla bien hasta una altitud de 900 m (Purseglove, 1987).

Fotoperíodo: Insensible al fotoperíodo (Baradas, 1994).

Radiación (Luz): Requiere alta iluminación (Yuste, 1997a), con un óptimo de intensidad luminosa entre 32.3 y 86.1 Klux (Baradas, 1994).

Temperatura: La temperatura de congelación es 0°C. La temperatura óptima para crecimiento es de 22 a 27°C, con una temperatura umbral mínima para desarrollo de 13-15°C y una temperatura umbral máxima de desarrollo de 40°C. La temperatura de crecimiento cero es 10-12°C y la temperatura nocturna óptima va de 17 a 22°C. Las temperaturas mínima y máxima para germinación son 15 y 35°C, respectivamente, con un óptimo de 20 a 25°C. La temperatura óptima para floración se ubica entre 20 y 30°C (Yuste, 1997a). Rango, 10-35°C, con un óptimo para fotosíntesis de 25-30°C. La oscilación diaria de temperatura debería ser de 9 a 10°C. Se adapta bien a temperaturas medias superiores a 22°C pero por debajo de los 30°C (Benacchio, 1982). Las temperaturas diurnas deberían ubicarse en el rango de 25 a 35°C, mientras que las nocturnas entre 20 y 27°C (Baradas, 1994). Las temperaturas nocturnas óptimas van de 15 a 18°C, mientras que las diurnas óptimas oscilan entre 22 y 26°C. El cero fisiológico se ubica en 9-10°C (Ibar y Juscafresa, 1987).

Precipitación (Agua): Se produce preferentemente bajo riego, requiriendo de 340 a 515 mm por ciclo de producción, pero también puede prosperar en regiones con una precipitación anual entre 600 y 1200 mm (Benacchio, 1982). De acuerdo con Allen *et al.* (2006), los coeficientes de cultivo para las etapas inicial, intermedia y final de desarrollo en plantas que llegan a alcanzar una altura de 80 cm, son 0.6, 1.05 y 0.9, respectivamente.

Humedad relativa: Requiere condiciones medias de humedad ambiental (Yuste, 1997a), esto es entre 40 y 70% de humedad relativa. El óptimo se ubica entre 60 y 70% de humedad relativa (Ibar y Juscafresa, 1987). Las condiciones de conservación en cámara frigorífica son 5 a 10°C y 90-95% de humedad relativa (Yuste, 1997a). La berenjena comprende varias especies que se cultivan como verduras, valiosas por su interés gastronómico y nutricional, lo mismo que como frutas o plantas medicinales. Existen berenjenas provenientes de Asia, África y Sudamérica. La más conocida es *Solanum melongena*, ampliamente cultivada en Asia (78 % de la producción mundial) y en menor grado en la cuenca del mediterráneo.

Requerimientos edáficos

Profundidad de suelo: Requiere suelos profundos (Yuste, 1997a), por lo general mayores a 1 m.

Textura: Suelos francos, franco-arcillosos pero bien drenados (Benacchio, 1982). Prospera en suelos de textura areno-arcillosa (Yuste, 1997a). La textura más favorable es la arcillo-arenosa, de consistencia media (Ibar y Juscafresa, 1987).

Drenaje: Requiere terrenos con buen drenaje (Yuste, 1997a). No tolera encharcamientos (Benacchio, 1982).

pH: El rango óptimo de pH va de 6.0 a 7.0 (Yuste, 1997a). 6.0-7.5 (Benacchio, 1982). Rango óptimo, 6.0 a 7.0 (Ibar y Juscafresa, 1987). El óptimo de pH está entre 6.0 y 7.0 (Ignatieff, citado por Moreno, 1992).

Salinidad/Sodicidad: Es moderadamente tolerante a la salinidad (Ibar y Juscafresa, 1987).

Fertilidad y química del suelo: Para un rendimiento estimado de 40 ton ha⁻¹ la berenjena absorbe las siguientes unidades de nutrientes: Nitrógeno 75 (fruto) y 207 (planta total); Fósforo 27 (fruto) y 46 (planta total); Potasio 108 (fruto) y 340 (planta total); Calcio 12 (fruto); Magnesio 4 (fruto); Azufre 5 (fruto) (IFA, 1992).

Resistencia a sequía: Puede tolerar sequía (Baradas, 1994). La berenjena es un cultivo catalogado como moderadamente sensible al estrés hídrico (Lovelli *et al.*, 2007). En respuesta a la falta de agua la planta sufre cambios en su fisiología, morfología y distribución de biomasa, baja el rendimiento y calidad de los frutos. En condiciones de estrés hídrico, disminuyen el contenido relativo de agua y el potencial de agua de las hojas, llegando este último a ser de tres a seis veces menor que en las plantas sin estrés (Sarker y Hara, 2009). En condiciones de baja disponibilidad de agua, la planta incrementa la temperatura de las hojas en 3-4 °C, se reduce el contenido de clorofila (Kirnak *et al.*, 2001), la tasa fotosintética, la conductancia estomática, la conductividad hidráulica de las raíces y la transpiración (Sarker y Hara, 2009; Saker y Hara, 2011); además, hay una menor absorción de nutrientes (N, P, K) y movimiento de ellos dentro de la planta

(Kirnak *et al.*, 2001). Respecto a los cambios anatómicos, Sarker y Hara (2009) reportan que las plantas bajo estrés hídrico reducen la densidad de estomas en 3 y 5% en las caras adaxial y abaxial respectivamente y el tamaño de los estomas. La estructura de la raíz no se modificó por el estrés hídrico, pero ocasionó la formación y acumulación de suberina en las células de la raíz que obstruyen la conductividad hidráulica. Como respuesta general a la sequía, hay una reducción en el crecimiento de la planta; Kirnak *et al.* (2001) asentaron que cuando la humedad del suelo llega a 40% de capacidad de campo, la altura de la planta se reduce en 46%, el diámetro del tallo en 51%, el peso total en 43% y la tasa relativa de expansión de las hojas en 75%. La relación raíz-tallo es 2:1 veces mayor en plantas estresadas, lo que muestra que el estrés hídrico modifica la distribución de la biomasa en la planta, asignando más recursos hacia la raíz. A consecuencia de todos los cambios que ocurren en la planta por falta de agua, el rendimiento de frutos comercializables y la calidad de los frutos obtenidos son significativamente menores (Kirnak *et al.*, 2001; Lovelli *et al.*, 2007).

Tolerancia a altas temperaturas: Las plantas transgénicas acumulantes de poliaminas han mostrado tener niveles superiores de tolerancia a estrés abiótico derivado de altas temperaturas, bajas temperaturas, sequía, metales pesados y salinidad (Prabhavathi y Rajam, 2007). Las épocas de plantación más frecuentes son: La primera quincena de agosto para recolectar entre septiembre y diciembre Medios de agosto a mediados de septiembre, para recolectar entre octubre y junio. Y segunda quincena de diciembre, para recolectar entre marzo y junio.

Anexo 3 Tablas del Análisis de componentes principales.

3.1 Análisis de componentes principales de plántulas de jitomate (ADCP). Los valores en negrita corresponden para cada variable al factor para el cual el coseno cuadrado es el mayor.

Cuadro 20. Valores propios del ADCP para jitomate

	F1	F2	F3	F4	F5
Valor propio	7.627	4.377	1.964	1.491	1.221
Variabilidad (%)	38.135	21.886	9.819	7.456	6.104
% acumulado	38.135	60.021	69.840	77.296	83.400

Cuadro 21. Vectores propios de los componentes

	F1	F2	F3	F4	F5
pH	-0.016	0.291	0.437	-0.027	-0.018
M.O (%)	-0.091	0.061	-0.083	0.637	0.107
N	-0.016	0.255	0.485	0.156	-0.099
C:N	-0.009	-0.060	-0.425	0.310	-0.150
CE	0.052	0.376	0.201	0.086	0.006
CIC	-0.028	0.361	0.057	0.182	-0.287
DR	-0.058	0.029	-0.038	0.392	0.603
DA _p	-0.176	-0.331	0.262	0.135	-0.023
DA _c	-0.140	-0.333	0.290	0.083	-0.017
EP	0.146	0.364	-0.299	0.007	0.186
CC	0.096	0.418	-0.128	-0.140	0.001
altura	0.348	-0.047	0.093	0.075	0.062
diametro	0.329	-0.062	0.123	0.155	0.129
#hojas	0.332	-0.049	0.181	0.089	-0.012
P(planta)	0.348	-0.089	-0.016	-0.040	-0.056
P(tallo)	0.346	-0.098	-0.009	-0.055	-0.044
P(raíz)	0.348	-0.068	-0.034	-0.006	-0.084
ITR	-0.038	0.032	0.088	-0.396	0.636

IE	0.277	-0.074	0.128	0.186	0.182
QI	0.350	-0.084	-0.028	-0.012	-0.065

3.2 Análisis de componentes principales de plántulas de pimiento (ADCP). Los valores en negrita corresponden para cada variable al factor para el cual el coseno cuadrado es el mayor

Cuadro 22. Valores propios del ADCP para pimiento

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valor propio	6.828	5.065	2.213	1.808	1.215	1.041
Variabilidad (%)	34.141	25.326	11.067	9.041	6.074	5.207
% acumulado	34.141	59.467	70.534	79.575	85.649	90.856

Cuadro 23. Vectores propios ADCP para pimiento

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
pH	-0.182	0.250	0.318	-0.229	-0.228	0.033
MO(%)	-0.107	-0.004	0.081	0.541	0.422	-0.257
N	-0.056	0.220	0.465	-0.070	0.278	-0.091
C:N	-0.026	-0.050	-0.278	0.384	-0.341	-0.528
CE	-0.098	0.352	0.157	-0.010	-0.119	-0.190
CIC	-0.090	0.289	0.102	0.078	0.419	-0.026
DR	-0.134	-0.020	0.051	0.423	-0.117	0.642
Dap	-0.073	-0.371	0.259	-0.044	0.121	0.010
Dac	-0.048	-0.337	0.303	-0.027	-0.174	-0.172
EP	0.020	0.368	-0.279	0.159	0.025	0.279
CC	-0.033	0.398	-0.192	-0.066	0.067	-0.075
altura	0.351	0.011	0.019	0.086	-0.229	0.123
diametro	0.296	0.071	0.259	0.279	-0.205	0.073
#hojas	0.322	0.106	0.172	-0.237	-0.061	0.067
P(planta)	0.375	0.042	-0.040	-0.015	0.062	-0.059
P(tallo)	0.369	0.071	-0.038	0.008	0.001	-0.038
P(raíz)	0.364	-0.008	-0.041	-0.052	0.159	-0.089
ITR	-0.148	0.315	0.071	-0.028	-0.375	-0.192
IE	0.171	0.104	0.424	0.373	-0.132	-0.024
QI	0.363	0.019	-0.019	-0.018	0.191	-0.091