



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ZARAGOZA

BIOFERTILIZANTES COMO OPCIÓN DE NATURACIÓN

DE AZOTEAS EN ZONAS URBANAS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGA

PRESENTA:

ROSARIO LEONARDO LÓPEZ

DIRECTOR: M. en C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL

ASESORA: Dra. ROSALVA GARCÍA SÁNCHEZ



Este proyecto fue financiado por la DGAPA Proyecto PAPIME PE200810
MÉXICO, D.F.

AGOSTO 2013

DEDICATORIA

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme permitido ser parte de esta honorable Institución.

A la Facultad de Estudios Superiores “Zaragoza” por el apoyo brindado, por cada uno de los profesores, a los administrativos y los trabajadores que me brindaron su ayuda en cada uno de los momentos que pase en mi segunda casa.

A la DGAPA a través del programa PAPIME PE200810 por el apoyo brindado y sin el cual esta tesis no habría sido posible.

A mi hija Jade Sofía a quien con sus sonrisas y abrazos me alienta día a día para seguir en el camino.

A mi Madre por su comprensión y cariño, así como su fortaleza para no darme por vencida.

A mi hermano José Luis por su coraje, su fuerza y su fortaleza y sobre todo por su ejemplo.

A la Maestra Chuy por haber creído a mí, por escucharme, por sus consejos, y por sus jalones de oreja.

A la Maestra Paty por ser más que mi maestra como una hermana, quién te escucha, te da la mano sin condiciones, ánimo cuando lo necesitas y tu regañada cuando la mereces.

A la Doctora Rosalva por instruirme y por apoyarme para lograr el término de esta investigación, sobre todo por el ánimo brindado para seguir adelante y el aliento de que todo saldrá bien, gracias Dra.

Y especialmente a mi hermana María Dolores por sus palabras de aliento y por no permitirme nunca darme por vencida, dicen que uno eligen a su familia yo no necesite escogerla por que te tengo a mi lado gracias Lolis.

AGRADECIMIENTOS

*Al maestro **Armando**, por creer en mí, y por brindarme su apoyo para poder concluir esta investigación, ¡gracias Prof.!*

A cada una de las personas que estuvieron conmigo a lo largo de mi paso por la FES Zaragoza,

A Emilio Martín, Fanny Karina, Claudia, Juan Manuel, por ser más que amigos y estar conmigo siempre en las buenas y en las malas.

A todos los compañeros y amigos del laboratorio, Muro, "Yovis", Lidia, Pau, Ana, Jaime, Carlos, Erick, gracias por su ayuda.

A la Maestra Elvia, a la Maestra Balbina, al Dr. Arcadio, a Azhaniel, por enriquecer mi trabajo con sus sugerencias, realmente no se como agradecerles, Gracias.

Cuando vayan mal las cosas,

Como a veces suelen ir,

Cuando exista en tú camino,

Solo cuestas que subir

Cuando exista poco haber,

Y muchas deudas que pagar.

Cuando la sombra de la duda

Más lejana, tan sombría...

Descansar acaso debes,

Más nunca desistir.

Es en estos momentos

Cuando más debemos insistir.

(Anónimo)

ÍNDICE

Resumen	1
Introducción	2
Objetivo general	4
Objetivos Particulares	4
Justificación	5
Hipótesis	5
• Capítulo I. Naturación de azoteas en zonas urbanas	6
• Capítulo II. Sustratos utilizados en la naturación	11
• Capítulo III Biofertilizantes y su uso en el cultivo de hortalizas	18
Métodos y materiales	27
Resultados	33
Discusión de resultados	56
Conclusiones	60
Literatura citada	62

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

	13
Cuadro 1. Características físicas, químicas y biológicas de los sustratos	
Cuadro 2. Biofertilizantes y su función	20
Cuadro 3. Tratamientos propuestos y proporciones ocupadas	27
	33
Cuadro 4. Propiedades físicas y químicas de los cuatro sustratos	
Cuadro 5. Análisis de varianza para DA en g/cc)	33
Cuadro 6. Prueba de contraste de medias para la DA	34
Cuadro 7. Análisis de varianza para pH potencial	34
Cuadro 8. Prueba de contraste de medias para pH potencial	35
Cuadro 9. Análisis de varianza para MO	35
Cuadro 10. Prueba de contraste de medias para MO	36
Cuadro 11. Altura de lechuga	37
Cuadro 12. Altura de lechuga análisis de tiempo	38
Cuadro 13. Número de hojas en lechuga	40
Cuadro 14. Número de hojas en lechuga, análisis de tiempo	41
Cuadro 15. Altura en tomate	42
Cuadro 16. Altura en tomate análisis de tiempo	43
Cuadro 17. Número de hojas en tomate	44
Cuadro 18. Número de hojas en tomate, análisis de tiempo	45
	46
Cuadro 19. Diámetro del tallo en tomate	
Cuadro 20. Diámetro del tallo en tomate, análisis de tiempo	47
	48
Cuadro 21. Rendimiento total de lechuga	
	49
Cuadro 22. Análisis de varianza para peso húmedo	
Cuadro 23. Prueba de contrastes para peso húmedo.	49

Cuadro 24. Análisis de varianza para raíz	50
Cuadro 25. Prueba de contraste de medias raíz	50
Cuadro 26. Rendimiento del tomate	51
Cuadro 27. Análisis de varianza para peso húmedo	51
Cuadro 28. Prueba de contraste para peso húmedo	52
Cuadro 29. Análisis de varianza para peso del fruto	52
Cuadro 30. Prueba de contraste de medias para peso del fruto	53
Cuadro 31. Análisis de varianza para raíz	53
Cuadro 32. Prueba de contraste para raíz	54
Cuadro 33. Colonización total en lechuga y tomate	54
Cuadro 34. Densidad de espora en lechuga y tomate en 100 g de suelo seco	55
Fig. 1 Ubicación de la azotea en la FES Zaragoza Campus II.	27

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. D. A en los sustratos	34
Gráfica 2. pH potencial de los sustratos	35
Gráfica 3. MO en los sustratos	36
Gráfica 4. Alturas en lechuga	39
Gráfica 5. Interacción altura-micorriza	39
Gráfica 6. Número de hojas en lechuga	42
Gráfica 7. Número de hojas en lechuga con <i>Rhizophagus intraradices</i>	42
Gráfica 8. Altura de tomate	42
Gráfica 9. Altura de tomate con y sin <i>Rhizophagus intraradices</i>	44
Gráfica 10. Número de hojas de tomate	46
Gráfica 11. Número de hojas de tomate con y sin <i>Rhizophagus intraradices</i>	46
Gráfica 12. Diámetro del tallo en tomate	48
Gráfica 13. Diámetro del tallo en tomate con y sin <i>Rhizophagus intraradices</i>	48
Gráfica 14. Peso húmedo en lechuga	49
Gráfica 15. Peso de raíz en lechuga	50
Gráfica 16. Peso húmedo del tomate	52
Gráfica 17. Peso del fruto en tomate	53
Gráfica 18. Raíz en tomate.	54
Gráfica 19. Conteo de espora en lechuga y tomate	55

RESUMEN

La disminución de las áreas verdes en las ciudades es un problema a nivel mundial, en la Ciudad de México una de las alternativas para incrementar las áreas verdes es la naturación de azoteas. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un cultivo de dos hortalizas (*Lactuca sativa* L., y *Physalis ixocarpa* Brot.) adicionando biofertilizantes (vermicomposta y la micorriza arbuscular *Rhizophagus intraradices*), para su establecimiento y manejo en una azotea naturada. Para llevar a cabo el trabajo se probaron diferentes mezclas de sustratos, el diseño experimental fue un factorial de 4 x 2 para cada una de las especies dando un total de 80 unidades experimentales. Las propiedades físico-químicas del sustrato se sometieron a un ANOVA, con un intervalo del 95% de confianza utilizando el software de análisis estadístico StatGraphics Versión Centurion XVI. Las variables agronómicas evaluadas se sometieron a un análisis de medidas repetidas con dos factores: Factor 1: tratamiento, y Factor 2: micorriza y la interacción entre estos dos factores. El paquete estadístico utilizado fue el SPSS Versión 20. El mejor sustrato para el crecimiento de *Lactuca sativa* y *Physalis ixocarpa* fue el compuesto por vermicomposta, agrolita y peatmoss sin la micorriza arbuscular *Rhizophagus intraradices*, debido a que el peatmoss y la vermicomposta contribuyen a que la materia orgánica se encuentre en mayor disponibilidad para las plantas. Es factible la naturación de azoteas en zonas urbanas con las especies propuestas (*Lactuca sativa* y *Physalis ixocarpa*). Los mejores resultados en cuanto a rendimiento de ambas hortalizas se obtienen con la aplicación de vermicomposta, no existiendo diferencia entre los tratamientos que fueron micorrizados y aquellos que no lo fueron, sin embargo la micorriza arbuscular *Rhizophagus intraradices* contribuyó en el proceso de adaptación en el establecimiento de los cultivos en la azotea y las plantas con micorriza arbuscular *Rhizophagus intraradices* presentaron características cualitativas que no fueron cuantificadas como: mayor verdor, mejor vigor y floración temprana, además se evitó la utilización de fertilizantes químicos. La naturación de azoteas con hortalizas debe considerar, además de las buenas condiciones para el cultivo, que los sustratos sean ligeros ya que el menor peso facilita su manejo en una azotea.

INTRODUCCIÓN

La disminución de las áreas verdes en las ciudades es un problema a nivel mundial, en la Ciudad de México una de las alternativas para incrementar las áreas verdes es la naturación de azoteas. Para ello se debe potenciar el desarrollo de espacios verdes, a través de parques jardines, pavimentos cubiertos de vegetación en la calle y edificios naturados, aprovechando las fachadas y azoteas (Boente, 1999).

La agricultura urbana, en especial la que se desarrolla en azoteas es una necesidad de la vida actual, se caracteriza por la innovación y la adaptación a necesidades específicas. Estas innovaciones incluyen opciones que puedan proporcionar una fuente de alimentos, al maximizar rendimientos utilizando contenedores o macetas (Gunter, 2008).

En la azotea se pueden sembrar alimentos, como lechugas, zanahorias, tomates y muchas hortalizas más. Esto brinda la oportunidad de consumir verduras orgánicas, ayuda a valorar más los alimentos, conocer los ciclos naturales y la relación con la tierra, además de ser una forma de ahorro familiar.

Ante esta circunstancia es necesario aprovechar espacios a los cuales se les presta poca atención, como son las azoteas de los hogares, en las cuales se podría establecer un cultivo de hortalizas.

Cabe mencionar que en la literatura especializada no se reportan trabajos semejantes, ya que la naturación de azoteas solo se ha realizado con fines arquitectónicos como en el caso de la “Quinta Fachada: propuesta técnica y estética que llevó a cabo el Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado. Facultad de Arquitectura UNAM en el cual se describe las características generales utilizados en la naturación de azoteas y algunas mediciones térmicas realizadas a materiales inertes usados en la naturación (García, V., 2009). El estudio llevado a cabo por García, D., (2009) titulado “La naturación de azoteas en la Ciudad de México: propuesta de campaña publicitaria” en la que se da a conocer los beneficios de la utilización de las azoteas naturadas campaña dirigida al sector de la construcción.

El reto, fue, “Desarrollar un prototipo de naturación de azotea urbana, desde la perspectiva del uso de biofertilizantes y la agricultura orgánica”, probando diferentes sustratos al adicionar biofertilizantes; vermicomposta y un inóculo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), para ayudar a las plantas a soportar las condiciones ambientales extremas que se presentan en las azoteas y para que alcancen un mayor rendimiento.

En el presente trabajo la naturación de la azotea con las especies propuestas (*Lactuca sativa* y *Physalis ixocarpa*) se llevó a cabo con éxito. De tal forma que los mejores resultados en cuanto a rendimiento de ambas hortalizas se obtuvieron con el sustrato (vermicomposta, agrolita y peatmoss) no existiendo diferencia entre los tratamientos que fueron micorrizados con *Rhizophagus intraradices* y aquellos que no lo fueron, sin embargo la micorriza arbuscular *Rhizophagus intraradices* contribuyo en el proceso de adaptación en el establecimiento de los cultivos en la azotea y las plantas con micorriza arbuscular *Rhizophagus intraradices* presentaron características morfológicas que no fueron cuantificadas mayor verdor, mejor vigor y floración temprana, trabajos como este son importantes porque además de la naturación de la azotea permite obtener hortalizas frescas en este caso lechuga y tomate de cáscara en los cuales no se hizo uso de fertilizantes químicos que contribuyeran a aumentar la contaminación.

Para este propósito se ha dividido el trabajo en los siguientes capítulos:

En el primer capítulo se describen los antecedentes de la naturación de azoteas, el concepto de naturación, la importancia de la naturación así como la elección de las especies vegetales en espacios naturados.

En el segundo capítulo se hace hincapié en la relación suelo-planta, la diferencia entre suelo y sustrato, el concepto de sustrato, características de los sustratos y por último los tipos de sustratos.

En el tercer capítulo se habla de la importancia de utilizar biofertilizantes, tipos de biofertilizantes, con especial énfasis en la vermicomposta y las micorrizas

arbusculares *Rhizophagus intraradices* y finalmente se hace una breve descripción de las especies utilizadas en este trabajo.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un cultivo de dos hortalizas (*Lactuca sativa* L., y *Physalis ixocarpa* Brot.) adicionando biofertilizantes (vermicomposta y la micorriza arbuscular *Rhizophagus intraradices*), para su establecimiento y manejo en una azotea naturada, para lo cual se probaran diferentes tipos de sustrato a los cuales se les adicionaran biofertilizantes, la finalidad de llevar a cabo este trabajo es la de aprovechar zonas a las que generalmente se les presta poca atención como son las azoteas, además de que en el DF las azoteas naturadas solo se utilizan con fines arquitectónicos y paisajísticos.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Analizar las propiedades físicas y químicas de cuatro sustratos en la producción de dos hortalizas cultivadas en azotea.
- Comparar el efecto de adicionar *Rhizophagus intraradices* durante el crecimiento y rendimiento de los cultivos de *Lactuca sativa* y *Physalis ixocarpa* cultivadas en azotea
- Comparar el efecto de adicionar vermicomposta durante el crecimiento y rendimiento de los cultivos de *Lactuca sativa* y *Physalis ixocarpa* cultivadas en azotea

JUSTIFICACION

En la literatura especializada se reporta el establecimiento de las azoteas naturadas, solo con fines ornamentales y paisajísticos, sin embargo, no se ve a este espacio como un lugar que se puede aprovechar para cultivar hortalizas. El reto entonces es: Desarrollar, establecer y manejar el cultivo de hortalizas en una azotea, como un modelo para probar diferentes tipos de sustratos, inoculados con micorriza arbuscular *Rhizophagus intraradices* y vermicomposta, los cuales servirán como biofertilizantes para fortalecer el cultivo de *Lactuca sativa* y *Physalis ixocarpa*, por ser especies que se utilizan regularmente en la dieta de la familia mexicana y que aportan una gran cantidad de nutrientes.

HIPOTESIS

El efecto de la adición de biofertilizantes (*Rhizophagus intraradices* y vermicomposta) al sustrato asegurará el establecimiento y mejorará el rendimiento del cultivo de lechuga y de tomate en azoteas urbanas, donde las condiciones ambientales son desfavorables; con esta base se podrá generar una propuesta de naturación de azoteas urbanas.

Capítulo I

NATURACIÓN DE AZOTEAS EN ZONAS URBANAS

En México y en todo el mundo es preocupante el descuido del ambiente, este se ha convertido en un problema a todos niveles, de tal forma que se han tomado medidas preventivas que aminoren dicho impacto, una de las acciones emprendidas es la creación de zonas verdes. Sin embargo, el espacio para su disposición a nivel suelo ya es mínimo debido principalmente a la urbanización.

Las alternativas que ha creado el gobierno es la de naturar zonas a las que generalmente se les presta poca atención como son las azoteas y los muros de las casas. Estos lugares pueden servir no solo para la recreación, ya que pueden utilizarse para albergar diferentes áreas de esparcimiento, como comedores al aire libre, actividad deportiva o un espacio de juego para infantes entre otras.

La idea de las “ciudades verdes”, a través de la incorporación de elementos naturales se ha utilizado desde la antigüedad en los Jardines Colgantes de Babilonia, una de las siete maravillas del mundo antiguo, construidos por Nabucondosor durante el siglo IV A. C., donde se ubicaban terrazas superpuestas sostenidas por arcos (Montero, 2007). En los países escandinavos, los tejados de las cabañas estaban cubiertos de césped debido a que servían de protección ante el frío y las avalanchas de nieve (Andrew, citado por García, 2009:30).

La naturación de edificios ha aumentado en los últimos años; su aparición en la arquitectura moderna comienza en la última década del siglo XIX y los hoteles fueron las primeras edificaciones en presentar estas características. Actualmente se han propuesto no solo en edificios públicos, sino que también en el sector residencial que ha tenido un incremento de los edificios multifamiliares (Iracheta, 2008).

En la actualidad se busca la vinculación del espacio urbano con el medio ambiente, así es que surge la naturación de azoteas, en la cual se toma en cuenta el clima, la ubicación del lugar para que se reduzca el costo energético y se minimice el impacto ambiental y de esta forma mejorar la calidad de vida (García, 2009).

La naturación urbana como concepto surge en Alemania en la década de los años 90, a través de la unión de empresas privadas, instituciones y la Universidad de Humboldt de Berlín, con el objetivo de contribuir al sostenimiento ecológico urbano de algunos barrios como el de Prenzlauer Berg (García, 2009).

El concepto de naturación es poco conocido; éste implica la incorporación de la naturaleza al entorno cotidiano. En las ciudades, además de contar con jardines y parques, se pueden incrementar las zonas verdes a través de la naturación de zonas urbanas sobre azoteas o cubiertas que mejoren el ambiente de la zona.

El término naturación propone la convivencia con la naturaleza de una manera espontánea. Para ello se debe de potenciar los espacios verdes, a través de parques y jardines, pavimentos con vegetación y edificios naturados, aprovechando las fachadas y cubiertas (Boente, 1999).

García (2009) menciona que el propósito de la naturación de azoteas es permitir el crecimiento de vegetación sobre las casas, edificios o superficies descubiertas, con el fin de compensar la falta de áreas verdes en las ciudades, obteniendo ventajas ecológicas, estéticas y económicas que beneficien a la sociedad.

Naeve (2002) menciona que algunas personas siembran sus propias frutas y verduras para obtener hortalizas frescas, sin embargo, el huerto tradicional no coordina con el estilo de vida actual, así que los horticultores utilizan técnicas intensivas que les ayuda a maximizar el rendimiento utilizando contenedores.

➤ **Importancia de la naturación de azoteas urbanas**

En la Ciudad de México, las áreas verdes han disminuido debido al incremento de la población y a la búsqueda de nuevos lugares donde se puedan construir zonas habitacionales para responder a la alta demanda de vivienda. Ante tal circunstancia se ha planteado la posibilidad de naturar los edificios y las casas de las zonas urbanas como una alternativa para recuperar dichas áreas. Uno de los espacios que se puede aprovechar en los edificios son las azoteas a las cuales se les incorpora vegetación, ya que en la mayoría de las construcciones se concibe a este espacio como total o parcialmente desocupado, lo cual permite que tenga un gran potencial para ser utilizado (García, 2011).

En México sólo existen 10,000 a 11, 000 m² de azoteas verdes. En el DF se localiza el 90% de los techos verdes seguido de Guadalajara y Monterrey (Iracheta, 2008).

Una azotea naturada (AN) es básicamente un espacio diseñado para brindar la oportunidad de relajarse y disfrutar de un ambiente placentero, además ayuda a amortiguar el impacto visual de las construcciones grises en la ciudad, psicológicamente los espacios verdes ayudan a reducir el estrés diario, un ambiente cargado de colores y olores agradables es una opción deseable (Iracheta, 2008). Las AN son espacios para que la gente disfrute y mejore el entorno. Desde el pequeño jardín privado, hasta grandes extensiones arborizadas ayudan psicológicamente al bienestar de los usuarios, previniendo el estrés ciudadano y fomentando la convivencia entre la comunidad (García, 2011).

La mejora del ambiente atmosférico se logra cuando las plantas retienen el polvo y las partículas contaminantes como el dióxido de carbono y aportan oxígeno; según un estudio realizado en Canadá si se cubriera 6% de las azoteas de Toronto se podrían eliminar 30 toneladas de partículas suspendidas en el aire (Fernández, 2004). Un edificio de 4 plantas con cobertura vegetal en México filtra hasta 40 toneladas de partículas suspendidas en el aire (Paisajismo urbano, s/a).

Las azoteas verdes ayudan a reducir el calor dentro del inmueble con vegetación, ya que sirve como aislante térmico así se disminuiría el uso del aire acondicionado en los edificios por que los techos con naturación absorben menos los rayos del sol, esto en conjunto es benéfico porque reduce el efecto de isla de calor en las grandes ciudades. Este efecto se presenta cuando los edificios y el pavimento se calienta durante el día y su calor es liberado en las noches, asimismo el calor producido por las actividades humanas es emitido a la atmósfera y esa masa de aire caliente queda atrapada bajo una capa de aire frío, provocando que los contaminantes no puedan desplazarse (García, 2009).

Las plantas colaboran a retener el agua de lluvia y participan en el proceso de evotranspiración para crear un ambiente más fresco al enfriar el aire, además se reduce el agua que llegará al drenaje aprovechándola mejor y evitando los riegos de inundaciones (Sicilia, 2011; Ecotono Urbano, 2008).

El aislamiento acústico es otro beneficio de las azoteas naturadas, por ende es utilizado en zonas con mucho ruido, ya que es absorbido al introducir una base de superficie blanda con cubierta vegetal como el pasto, así se percibe la reducción de los sonidos (García, 2009; Sicilia, 2011).

El mejoramiento estético de la azotea, que es un espacio vacío, y con la introducción de la naturación se mejora el paisaje urbano para lograr un mayor atractivo de la ciudad (Sicilia, 2011).

El mantenimiento de las azoteas se reduciría, ya que se evitaría la impermeabilización del techo cada 3 ó 5 años porque con este tratamiento técnico se modera la erosión provocada por la lluvia y se evitarían las goteras (García, 2009).

El contacto con la naturaleza ayuda a la regulación emocional, provocando emociones positivas y mejora el estado de ánimo de las personas, además, mejora la autoestima y al bienestar, consigue mayor participación y sociabilidad (García, 2011).

➤ **La elección de las especies vegetales en espacios naturados**

Es necesario conocer las características fisonómicas de las plantas que se quieren colocar en la azotea, de tal forma que se pueda conocer de manera anticipada el espacio que necesitaran y la altura que deban tener los contenedores o macetas, algunos de los criterios para seleccionar las plantas adecuadas para llevar a cabo la naturación de una azotea son:

- ❖ Adaptarse a las condiciones físicas y climáticas de la región donde se encuentre.
- ❖ Ser resistentes a alta radiación solar
- ❖ Resistencia a temperaturas extremas
- ❖ Resistencia a grandes períodos de sequía
- ❖ Resistencia a niveles altos de contaminación
- ❖ Resistencia a plagas y enfermedades
- ❖ Capacidad de desarrollarse en sustratos poco profundos
- ❖ Capacidad de extenderse rápidamente horizontalmente
- ❖ Requerir de cuidados escasos o nulo
- ❖ Se sugiere el uso de plantas perennes “siempre verdes” (García, 2011).

Capítulo II

SUSTRATOS UTILIZADOS EN LA NATURACIÓN

Anteriormente se hacía uso de suelo para la producción de plantas ornamentales en la región central del país (Bastida, 2002). El término suelo se refiere al material exterior, poco compacto de la superficie terrestre, es la región en la que se sustenta la vida vegetal y de la cual las plantas tienen soporte mecánico y muchos de sus nutrientes. El cual está formado por cinco componentes principales: materia mineral, agua, aire, materia orgánica y organismos vivos (Cuanalo de la Cerda, 1990). Sin embargo con los avances tecnológicos y la introducción de contenedores para el cultivo de plantas se ha limitado el uso del suelo y se ha permitido el desarrollo de los sustratos hortícolas que tienen su origen en el cultivo de plantas en un contenedor (Búres, 1997). La palabra sustrato deriva del latín *sub* (bajo) y *stratum* (capa), que significa base que sirve de soporte o sostén, por tanto el sustrato es un sólido que se utiliza para cultivar plantas (Guerrero y Masaguer, 1999).

Hernández (2009) menciona que un sustrato está formado por tres fases: sólida, constituida por las partículas, líquida constituida por el agua y nutrientes; y gaseosa, responsable del transporte de oxígeno y dióxido de carbono entre las raíces. Un sustrato es un material sólido natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un recipiente, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radical y desempeña una función de soporte para la planta, pudiendo intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la misma.

Cualquier material orgánico, mineral o artificial se puede emplear como sustrato, con la condición de que desempeñe las funciones expuestas anteriormente. El problema fundamental de los sustratos es asegurar la producción de biomasa de las partes aéreas con la ayuda de un volumen limitado de sistema radicular (Díaz, 2009).

El cultivo de plantas en sustrato presenta diferencias sustanciales respecto del cultivo de plantas en el suelo, cuando se cultiva en un contenedor el volumen de sustrato es limitado y de él las plantas absorberán el oxígeno, agua y nutrimentos (Pastor, 1999). Cuando se cultiva en un contenedor, las características de un sustrato resultan decisivas en el crecimiento de la planta ya que se produce una interacción entre las características del contenedor como la altura, el diámetro y el manejo de la combinación planta-sustrato (Esquivel, 2001, citado por Hernández y Jiménez, 2003: 14).

La utilización de sustratos ha modificado el manejo de las plantas, debido a que su selección en la mayoría de los casos tiene una influencia directa sobre la calidad de los productos (Maldonado, 2010). Los sustratos en la mayoría de los casos son mezclas de dos o más componentes con el fin de combinar sus propiedades físicas y químicas para obtener un medio de textura uniforme adecuado para el cultivo (Hudson y Kester, 1999). El sustrato es el medio donde se efectúan complejas reacciones químicas previas a la absorción de agua y nutrimentos por las raíces; dicha actividad es mayor en la fracción coloidal del suelo (arcillas) y en la materia orgánica (Acosta y col., 2009).

El sustrato interviene en el proceso de nutrición de la planta. Los sustratos se pueden clasificar en químicamente inertes y químicamente activos. En el caso de los químicamente inertes, éstos actúan únicamente como soporte de la planta, mientras que en los restantes intervienen además en procesos de adsorción y fijación de nutrimentos (Pastor, 1999).

Algunas de las características de los sustratos son:

a) Físicas

Determinadas por la estructura interna de las partículas, su granulometría y el tipo de empaquetamiento. Las propiedades físicas de los sustratos deben ser óptimas para el establecimiento de las plantas, debido principalmente a que no se pueden modificar una vez establecidas las plantas.

b) Químicas

Estas propiedades están definidas por la composición nutricional de los materiales; y se caracterizan por la transferencia de materia entre el sustrato y la solución del mismo.

c) Biológicas

Son propiedades dadas por los materiales orgánicos, cuando éstos 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 (cuadro 1) (Búres, 1997).

Cuadro 1. Características físicas, químicas y biológicas de los sustratos.

Características Físicas	Características Químicas	Características Biológicas
Densidad real y aparente	Capacidad de intercambio catiónico	Contenido de materia orgánica (MO)
Distribución granulométrica	pH	Estado y velocidad de descomposición.
Porosidad y aireación	Capacidad buffer	
Retención de agua	Contenido de nutrientes	
Permeabilidad	Relación C/N	
Distribución de tamaños de poros		
Estabilidad estructural		

El sustrato ideal no existe, solo se puede definir un sustrato adecuado para cada caso concreto y éste dependerá de numerosos factores. El tipo de planta que se producirá, fase del proceso productivo, condiciones climatológicas y lo que es fundamental, el manejo de ese sustrato, así como el costo. Dependiendo del tipo de planta que se desea producir será el sustrato a utilizar.

Esteve (s/a) recomienda utilizar sustratos que tengan las siguientes características:

- pH alrededor de 7,
- Ligeros, Permeables
- Estables (debe ser de lenta descomposición, de modo que no varíen las propiedades del sustrato mientras está el cultivo),
- Poseer una granulometría que permita una adecuada aireación frente a un buen suministro de agua fácilmente disponible,
- Exentos de semillas y patógenos,
- Elevada capacidad de retención de agua,
- Baja densidad aparente,
- Elevada porosidad,
- Baja salinidad,
- Bajo costo y de fácil manejo.

➤ **Tipos de sustratos**

▪ **Orgánicos**

Son la base de las mezclas que se pueden hacer dada la importancia de la riqueza y la capacidad de retención de nutrientes (Esteve, s/a). Además intervienen en procesos de adsorción y fijación de nutrimentos (Pastor, 1999).

- Peatmoss o turba: Está formada por restos, que han sido conservados debajo del agua en estado de descomposición parcial (Hudson y Kester, 1999). Tiene un rango de pH entre 3.5 y 4.3. La turba contiene ácidos húmicos y reguladores del crecimiento vegetal que influye positivamente, es ligera (densidad aparente entre 0.070 y 0.035 g/cc) y se mezcla con facilidad (Huacuja, 2009).

Existen diversos tipos de turbas, según su lugar de formación: Las más utilizadas son las de *Sphagnum* (provenientes de yacimientos nordeuropeos, americanos y asiáticos), que se clasifican a su vez en:

1. Turbas rubias: más fibrosas, color rojizo, gran tamaño de poros, mayor aireación (90-95% de porosidad total), con el 80-96% de materia orgánica (MO) Su capacidad de absorción de agua suele ser de 1000-1500 g/100g de turba. Su Capacidad de Intercambio Catiónico, (CIC) se cifra en 10-150 meq/100g., lo cual tiene un buen efecto buffer. Esta fue la utilizada en este trabajo.
2. Turba negra: de color negro, de CIC mayor (más nutrientes), más retención de agua, con un 50% de MO, son sometidas a congelación para mejorar sus propiedades físicas. Su retención de agua es de 400-500 g/100 de turba (Huacuja, 2009).

La Turba es uno de los medios de crecimiento más usados para el cultivo de plantas en contenedores, porque mantiene la humedad tiene una alta porosidad permitiendo que las plantas presenten mayor vigor dando como resultado mayor porcentaje de supervivencia (Hartmann y Kester, 1987). Algunos de los inconvenientes de la utilización de las turbas son su bajo contenido en nutrientes, y su baja retención de humedad. Una vez que tiene un contenido bajo en agua, es difícil volverla a humedecer.

- Tierra de bosque: También conocida como mantillo forestal. Está constituida por restos orgánicos de hojas y ramas de diversos tamaños. Se puede emplear directamente o sometiéndola a un proceso de compostaje, lo cual es más recomendable. Posee, pH bajo, rica en nutrientes y poca retención de humedad, dependiendo de su origen sus características pueden variar (Peñaloza, 2011). Tiene una densidad aparente baja de 0.3 g/cc (ligera); porosidad cercana al 90% con una buena aireación y retención de agua, fácilmente asimilable. El contenido en materia orgánica es del 60%. Con un pH ligeramente ácido (6.5); la conductividad es media (250-500 ms/c), y su capacidad de intercambio catiónico (CIC) suele estar entre 40-100 meq/100g. Dependiendo de su origen sus características

pueden variar mucho, encontramos sustancias fitotóxicas, elevada salinidad, pH bajo y con pobreza en nutrientes (Huacuja, 2009).

Entre los sustratos más utilizados se encuentra la tierra negra, que generalmente corresponde a suelos tipo Andosol, de textura fina con partículas pequeñas, que presentan mala aireación y drenaje deficiente, cuando está seca se dificulta hidratarlas, pero presenta buena retención de humedad, con pH ácido y alta capacidad de intercambio catiónico, aportando nutrientes al complejo de la fertilización de las plantas. Presenta capacidad amortiguadora variable, el contenido de sales es también variable y debe emplearse una vez que se haya esterilizado. Su estabilidad física es apropiada una vez humedecida (Hernández y Jiménez, 2003).

❖ Inorgánicos

En el caso de los químicamente inertes, éstos actúan únicamente como soporte de la planta, (Pastor, 1999). Derivados de minerales naturales, suelen usarse como complemento de los sustratos orgánicos para mejorar sus propiedades físico químicas (Esteve, s/a).

- Agrolita: obtenida a partir de rocas volcánicas, sometidas a un calentamiento rápido (870-1000°C) hasta producir su expansión. El agua que contiene la roca origina burbujas, siendo muy porosa y ligera, de fácil triturado, pH neutro, poca actividad químicamente (CIC inapreciable) (Huacuja, 2009). La agrolita es un sustrato granular de color blanco, presenta partículas grandes y pequeñas que proporcionan buena aireación, buen drenaje y baja retención de humedad (Bastida, 2002; Búres, 1997). Es un material con densidad aparente de 0.12 gr/cm³ y una densidad real de 2.65 gr/cm³. Presenta una porosidad del 95% de su volumen, aspecto que lo hace un material ligero, con alta estabilidad que no contiene nutrientes por lo que se considera un material inerte, pH de neutro a ligeramente alcalino, baja capacidad de intercambio catiónico. Contiene muy pocas sales solubles y es fácil de mezclar con otros materiales, (Bastida, 2002; Búres, 1997).

- Tezontle: Es una roca volcánica extrusiva, constituidos por silicatos de aluminio, los cuales son formados por fragmentos y partículas de lava porosa y poco pesada, con una moderada cantidad de poros. Presenta una coloración negra o rojiza. Es un material que retiene una baja cantidad de agua y tiene un pH de 7.0 a 8.0, la densidad real y densidad aparente de este material oscilan entre 2.45-2.75 y 0.82-1.43, respectivamente (Anicua, 2008; Hernández y Jiménez, 2003).

Existen tres tipos de tezontle: a) negro, que está ligeramente erosionado y consiste en brechas de piroclásticas; b) amarillo, producto de la erosión del negro y c) rojo que procede de otro tipo de erupción volcánica y cuyo color es debido a la presencia de hierro en forma férrica. El más utilizado en la horticultura es el tezontle rojo. Debido a que retiene muy poca agua conviene mezclarse con otros materiales con una capacidad de retención de agua más elevada (Hernández y Jiménez, 2003).

En México, el tezontle es uno de los materiales inorgánicos más usados en la producción de hortalizas y ornamentales, debido principalmente a su bajo costo y disponibilidad (Hernández, 2009).

Capítulo III

BIOFERTILIZANTES Y SU USO EN EL CULTIVO DE HORTALIZAS

Los biofertilizantes son recomendados en la Agenda 21 como resultado de la llamada Cumbre de la Tierra, firmada en Río de Janeiro en 1992. Son considerados biotecnologías “apropiables”, que es un término creado para las herramientas biotecnológicas que contribuyen al desarrollo sustentable de un país y que proveen beneficios tangibles a los destinatarios y, además, por ser ambientalmente seguras, socioeconómica y culturalmente aceptables.

Los microorganismos del suelo aprovechados en la agricultura han tenido diversas denominaciones, tradicionalmente se han utilizado los términos “inóculo” o “inocular” que es la introducción de gérmenes en un sustrato cualquiera (Font Quer, 1977), pero también se han denominado “fertilizantes” (Dommergues, 1978) e “inoculantes microbianos” (Kapulnik y Okon, 2002).

Dependiendo del tipo de relación con la planta los microorganismos pueden ser benéficos o nocivos (Schippers y col., 1987). En el caso de los microorganismos benéficos utilizados como biofertilizantes, la relación es mutualista conocida como simbiosis. Si se forman estructuras especializadas dentro de las células de las plantas (nódulos, vesículas entre otros) se denomina simbiosis obligada o estricta.

Los hongos micorrízicos pertenecen a este tipo y son importantes en las plantas porque penetran y colonizan las células radicales del hospedante, forman un sistema de transferencia bidireccional, llevan nutrientes minerales del suelo a la planta y compuestos orgánicos de la planta al suelo. De este modo, la asociación posibilita, mediante mecanismos bioquímicos, mayor absorción de nutrientes, principalmente fósforo (Bethlenfalvay, 1993; González, 1993) y cuando el microorganismos sobrevive sin la planta y se asocia en beneficio de ambos, la simbiosis se conoce como asociativa o facultativa (Aguirre y col., 2009).

Los microorganismos se adicionan al suelo para desempeñar funciones específicas que benefician a la productividad de las plantas como: fijación de nitrógeno, solubilización de minerales, producción de estimuladores del crecimiento vegetal y biocontrol de patógenos (Shafir y col., 1972). Dichos nutrientes son una fuente de alimento para la población de microorganismos, aumenta la retención de humedad en el suelo y los movimientos del agua y del aire, mejora la bioestructura del suelo y con ello el crecimiento de las raíces. Al trabajar con desechos de materia orgánica estos son útiles para ser transformados en abonos, ejemplo de ello es la vermicomposta o humus de lombriz (Kolmans y Vásquez, 1999).

➤ **Importancia de utilizar biofertilizantes**

Actualmente se utilizan diferentes microorganismos con funciones específicas en la agricultura para mejorar la productividad de las plantas. Todos son una fuente facilitadora del manejo de los nutrimentos que benefician el funcionamiento de los cultivos, y forman parte de una tecnología que garantiza una productividad biológica, económica y ecológica más exitosa y sin contaminación del ambiente y de inocuidad reconocida para el ser humano (Aguirre y col., 2009).

Estos se clasifican en dos grupos de acuerdo a los microorganismos utilizados para su elaboración:

- a) El primer grupo incluye microorganismos con capacidad de sintetizar sustancias que promuevan el crecimiento de las plantas, fijando nitrógeno atmosférico, solubilizando hierro y fósforo inorgánico y mejorando la tolerancia al stress por sequía, salinidad, metales tóxicos y exceso de pesticidas, por parte de la planta.
- b) El segundo grupo incluye microorganismos capaces de disminuir o prevenir los efectos de deterioro de microorganismos patógenos cuadro 2 (Armenta-Bojórquez y col., 2010).

Cuadro 2. Biofertilizantes y su función

Biofertilizantes	Función	Observaciones
<i>Rhizobium</i> , <i>Bradyrhizobium</i> , <i>Sinorhizobium</i>	Fijación biológica del N	Estimulación en la capacidad de captar nitrógeno atmosférico en las leguminosas.
Hongos micorrízicos arbusculares	Facilita la absorción de fósforo	Permite que tanto el sistema fotosintético de la planta y la actividad de la enzima nitrogenasa, se beneficien por tener disponibilidad de fósforo.
<i>Pseudomonas</i>	Promotoras del crecimiento vegetal	Estos microorganismos liberan compuestos orgánicos (sideróforos) y promueven el crecimiento de las plantas con las que se asocian.
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Control biológico	Estos microorganismos tiene la capacidad de secretar sideróforos que quelatan el Fe.
Microorganismos descomponedores	Compostaje	Descompone los residuos orgánicos generando diferencias de temperatura
<i>Eisenia foetida</i> y <i>Eudrilus eugeniae</i>	Vermicompostaje	Esta técnica aprovecha la actividad metabólica de lombrices para producir humus con alto contenido de nutrientes.

Alarcón y Ferrera-Cerrato 2000, Carvajal y Mera, 2010.

➤ Vermicomposta

La vermicomposta es el producto de una serie de transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica al pasar a través del tracto digestivo de las lombrices *Eisenia foetida*, *Eisenia andrei*, *Lumbricus rubellus*, al utilizar este biofertilizante puede reducirse el uso de fertilizantes químicos (Velasco-Velasco y col., 2003; Soto y Muñoz, 2002).

La vermicomposta presenta las siguientes características:

- * Material de color oscuro, con agradable olor a mantillo de bosque,
- * Posee un pH neutro.
- * Incrementa la solubilidad de los elementos nutritivos, liberándolos en forma paulatina, y facilita su asimilación por las raíces e impide que éstos sean

lixiviados con el agua de riego de esta forma se mantiene disponibles por más tiempo en el suelo,

- * Favorece la germinación de las semillas y el desarrollo de las plantas.
- * Incrementa la actividad biótica del suelo.
- * Su acción antibiótica aumenta la resistencia de las plantas en contra de plagas, enfermedades y organismos patógenos.
- * Mejora las características estructurales del terreno, desliga suelos arcillosos y airea suelos arenosos.
- * Durante el trasplante previene enfermedades o cambios bruscos de temperatura y humedad.
- * Aumenta la retención hídrica de los suelos disminuyendo el consumo de agua por los cultivos (Atiyeh y col., 2000; Canellas y col., 2002; Pereira y Zezzi-Arruda, 2003, Atiyeh y col., 2000b; Brown y col., 2000)

➤ **Importancia del uso de vermicomposta**

La vermicomposta utilizada como abono contribuye al mejoramiento de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, (Durán y Henríquez, 2007). La aplicación de la vermicomposta ha mejorado la germinación y crecimiento de diferentes tipos de plantas (Subler y col., 1998; Atiyeh y col., 2000), debido a la gran cantidad de nutrientes presentes en la composta y que no se encuentran en los fertilizantes químicos en su totalidad, como son el nitrógeno, fósforo, potasio soluble así como calcio y magnesio (Orozco y col., 1996).

La vermicomposta es un contenedor biológico de sustancias activas y reguladores del crecimiento de las plantas en un medio de crecimiento o almácigo (Atiyeh y col., 2002; Tomati y col., 1990). Con el uso de la vermicomposta como sustrato disminuyen los niveles de bacterias patógenas e inhiben el movimiento de los metales pesados durante el proceso de transformación (Domínguez y col., 1997) por acción del extracto que producen las lombrices (Aguirre del Real, 1985). El uso de vermicomposta permite el establecimiento de asociaciones simbióticas en las raíces de las plantas llamadas hongos de raíz o micorrizas fúngicas (Siddiqui, 2008).

➤ **Micorrizas**

La micorriza es una asociación simbiótica que se presenta entre las raíces de plantas superiores y ciertos hongos del suelo, el hongo a su vez aumenta la toma de agua y nutrimentos minerales, además incrementa la resistencia de las plantas al estrés hídrico (Smith y Read, 1997, citado por Zepeda y col., 2010:53). Las micorrizas, se encuentran distribuidas en el 90% de las plantas terrestres (Bago y col., 2011; Romero, 2004; Carneiro y col., 1998).

La planta suministra al hongo carbono producto de la fotosíntesis, además, protección de las condiciones externas. A su vez, el hongo ayuda a la planta a absorber nutrientes minerales del suelo a través de sus hifas, ya que desempeñan un importante papel en la traslocación hacia la planta de iones de fosfato (Romero, 2004).

Existen dos tipos de asociaciones micorrízicas: Ectomicorrizas y Endomicorrizas. (Bago y col., 2011; Sánchez-Colín, 2005; Carneiro y col., 1998).

- a) Ectomicorrizas: Se caracterizan por formar un manto compacto de hifas que cubren las raíces cortas con una red micelial que crece entra las células corticales llamada Red de Hartig. Las hifas que forman el manto se prolongan y forman cordones miceliales que crecen entre las partículas del suelo, y son las responsables de la mayor absorción y traslocación de nutrimentos hacia el fitobionte (Ferrera-Cerrato, 1993).

- b) Endomicorrizas: En este tipo de asociación no se forma un manto sobre la raíz, y las hifas penetran en el interior de las células de la corteza (Romero, 2004), también crece intercelularmente. Las más ampliamente distribuidas son las micorrizas arbusculares (MA) (Sánchez-Colín, 2005; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999; Carneiro y col., 1998).

➤ **Micorrizas arbusculares**

Las micorrizas arbusculares forman simbiosis con el 80% de las plantas con flores (Brundrett, 2009; Romero, 2004; Carneiro y col., 1998), y probablemente evolucionaron con la flora terrestre del periodo Devónico (Brundrett, 2009; Carneiro y col., 1998).

Los hongos micorrízicos son capaces de proveer a las plantas diferentes nutrientes en forma asimilable. Esto puede ocurrir mediante diferentes procesos, por ejemplo la inoculación de plantas con micorrizas contribuye a incrementar la absorción de agua y a solubilizar los minerales mediante la fosfatasa ácida, y a transformar el fósforo que se encuentra en el suelo, formando compuestos estables, en formas disponibles para la planta (Shafir y col., 1972; Mosse, 1986; Bethlenfavay, 1993; Linderman, 1993 citados por Uribe y Dzib, 2006:68).

Estos hongos, al establecerse en la zona cortical del sistema radical de las plantas, tienen la característica de formar estructuras internas, las cuales de acuerdo con su función pueden favorecer el intercambio nutrimental y el almacenamiento de reservas (Bolan, 1991; Sieverding, 1991).

Los arbusculos son estructuras fúngicas del tipo de los haustorios, cuyo papel es contribuir al incremento de la capacidad de absorción y aprovechamiento de nutrimentos por ambos participantes de la simbiosis (Sánchez-Colín, 2005; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999).

Otro tipo de estructura que es característica de estos hongos son las vesículas, cuya función principal es ser sitios de almacenamiento de reservas para el hongo (Sánchez-Colín, 2005; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999).

Ambas estructuras se originan por micelio intra e intermatricial, cuya característica es traslocar los gránulos de polifosfatos a los sitios donde el fósforo es demandado (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999).

Los beneficios que los hongos formadores de micorrizas arbusculares reportan al sistema suelo-planta se han descrito y de sobra contrastados, de manera que su uso potencial como biofertilizante ecológico y herramientas útiles en programas de biorremediación y recuperación de áreas contaminadas o degradadas está ampliamente aceptado (Bago y col., 2011; Sánchez-Colín, 2005).

La utilización de las micorrizas, en las décadas pasadas, demostró que incrementa el fósforo absorbido de la solución del suelo por las plantas hospederas, debido principalmente a que las hifas del hongo se extienden y exploran una mayor área del suelo comparada con la de los pelos radicales. Esto se refleja en un aumento en el rendimiento (Tovar-Franco, 2006).

Sin embargo, la utilización de las micorrizas no es sencilla ya que dichos organismos son simbioses obligados de ahí que la forma de utilizarlos sea a través de inoculación por medio de suelo o raíces colonizadas, y la eficacia y eficiencia de los hongos micorrízicos arbusculares depende de la planta y las condiciones a las cuales se encuentren sometidos (Tovar-Franco, 2006).

Las principales fuentes de inóculo de hongos micorrízicos arbusculares están amplia y uniformemente distribuidas en los 10cm superficiales del suelo (Pattinsib, 1990); y corresponde a las esporas, el micelio externo de los hongos micorrízicos arbusculares y a las raíces previamente colonizadas de plantas coexistentes o fragmentos de las preexistentes (Barea y col., 1991).

Rhizophagus intraradices es un hongo endomicorrizico, el cual estimula el crecimiento y desarrollo de diferentes especies de plantas. Muchas de las especies de *Rhizophagus* producen esporas dentro de las raíces, las cuales son usualmente propagadas por insectos. Son biotrofos obligados, es decir que no pueden sobrevivir sin la planta hospedera. Se piensa que *Rhizophagus intraradices* tiene un genoma modesto con tan solo 15 Mpb, aproximadamente (INRA GlomusDB, s/a).

La capacidad de uso de un sustrato se refiere al potencial que tiene un sustrato como recurso para desarrollar diferentes cultivos a continuación se describen las especies utilizadas en este estudio.

❖ **Lechuga (*Lactuca sativa* L.)**

La lechuga es la planta más importante del grupo de las hortalizas de hoja, es ampliamente conocida y se cultiva en casi todos los países del mundo. Es una de las hortalizas típicas de ensalada y ha sido considerada como una planta con propiedades tranquilizantes. Su alto contenido de vitaminas la hace muy apreciada en la dieta moderna. La lechuga contiene los siguientes elementos: 94.3 % de agua, 1.2 % de proteína, 0.2% de grasas, 2.9% de carbohidratos, 0.7 % de fibras y 0.7 % de cenizas. Además son ricas en vitamina A, C y D. La lechuga, es una planta herbácea anual, pertenece a la familia Asteraceae (Compositae), del género *Lactuca* y de la especie *sativa* (Martínez, 1991).

Las semillas germinan a temperaturas de 20 a 25°C, en el suelo, aunque se reporta que la óptima es de 20 a 30 °C. Estas plantas exigen mucha luz, se ha comprobado que la escasez de ésta provoca que las hojas sean delgadas y que en múltiples ocasiones las cabezas se suelten. La lechuga se caracteriza por adaptarse a una amplia variedad de suelos, aunque prefiere los suelos francos arenosos y fértiles con alto contenido de materia orgánica y un buen drenaje, este cultivo no resiste la acidez y es muy sensible a la salinidad, principalmente en estadios jóvenes (<http://www.siap.gob.mx>).

En México la lechuga se cultiva bajo riego durante todo el año; se reporta una superficie sembrada de 18,775.52 ha, con rendimientos 20.12 ton/ha, producción de 370,065.92 ton. La lechuga se siembra en un semillero o almácigo a cinco milímetros de profundidad. Aproximadamente un mes o cuarenta días después de la siembra, cuando la planta tenga cinco o seis hojas verdaderas y una altura de ocho centímetros, se pasa a su lugar definitivo (<http://www.siap.gob.mx>).

❖ **Tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.)**

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*) es un cultivo cuyo fruto se utiliza en la preparación de un gran número de platillos regionales. Al tomate de cáscara se le conoce desde tiempos precolombinos; la herbolaria medicinal mexicana le atribuye al fruto propiedades curativas, a sus cáscaras se les atribuye propiedades contra las enfermedades respiratorias (Hernández, y León 1992; <http://www.siap.gob.mx>).

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*) es conocido también como tomate verde en el centro del país, tomate fresadilla en el norte y tomatillo en Sinaloa, Zacatecas y Aguascalientes (Islas, 2006). Etimológicamente proviene del vocablo “Ayacachtomat” que se compone de Ayach (Tli) “igual a sonaja” y tomatl a “tomate” (Buscasov, s/a, citado por Islas, 2006:14). El tomate pertenece a un grupo muy diversificado en géneros y especies: 90 y 2000 respectivamente, distribuidas en regiones tropicales y templadas (Cano y Marroquín, 1994).

Se considera un cultivo hortícola de gran importancia en México; en 2011 el área sembrada con esta hortaliza fue de más de 47, 830.85 hectáreas con una producción de 563,306.12 toneladas rendimiento promedio de arriba de 13.93 ton/ha este cultivo se produce en todas las entidades de la República Mexicana. Se siembra principalmente por medio de trasplante, primero en un almácigo al aire libre, protegido de los rayos directos del sol y de los vientos. Se cultiva preferentemente en tierras que disponen de riego (<http://www.siap.gob.mx>).

El tomate de cáscara se desarrolla en condiciones de pH de suelo entre 6-7, temperatura de 20 a 30° C para la germinación y de 22 a 25°C para el crecimiento vegetativo. En la etapa de floración requiere de 30 a 32°C. Durante el resto del ciclo, incluyendo la floración, necesita de un 60% de la capacidad hídrica del suelo (Saray y Loya, 1977). Los suelos aptos para cultivar tomate son los de media a mucha fertilidad, profundos o bien drenados, pueden ser franco-arenosos, arcillo-arenosos y orgánicos (Corpeño, 2004).

MÉTODOS Y MATERIALES

El trabajo experimental se llevó a cabo en una azotea naturada de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campus II localizada en las coordenadas geográficas 19.373062 N, 99.034164 E (<http://toolserver.org>) (fig. 1). El clima que predomina es templado subhúmedo con lluvias en verano (<http://serviciometereologico.nacionalmexicano>).



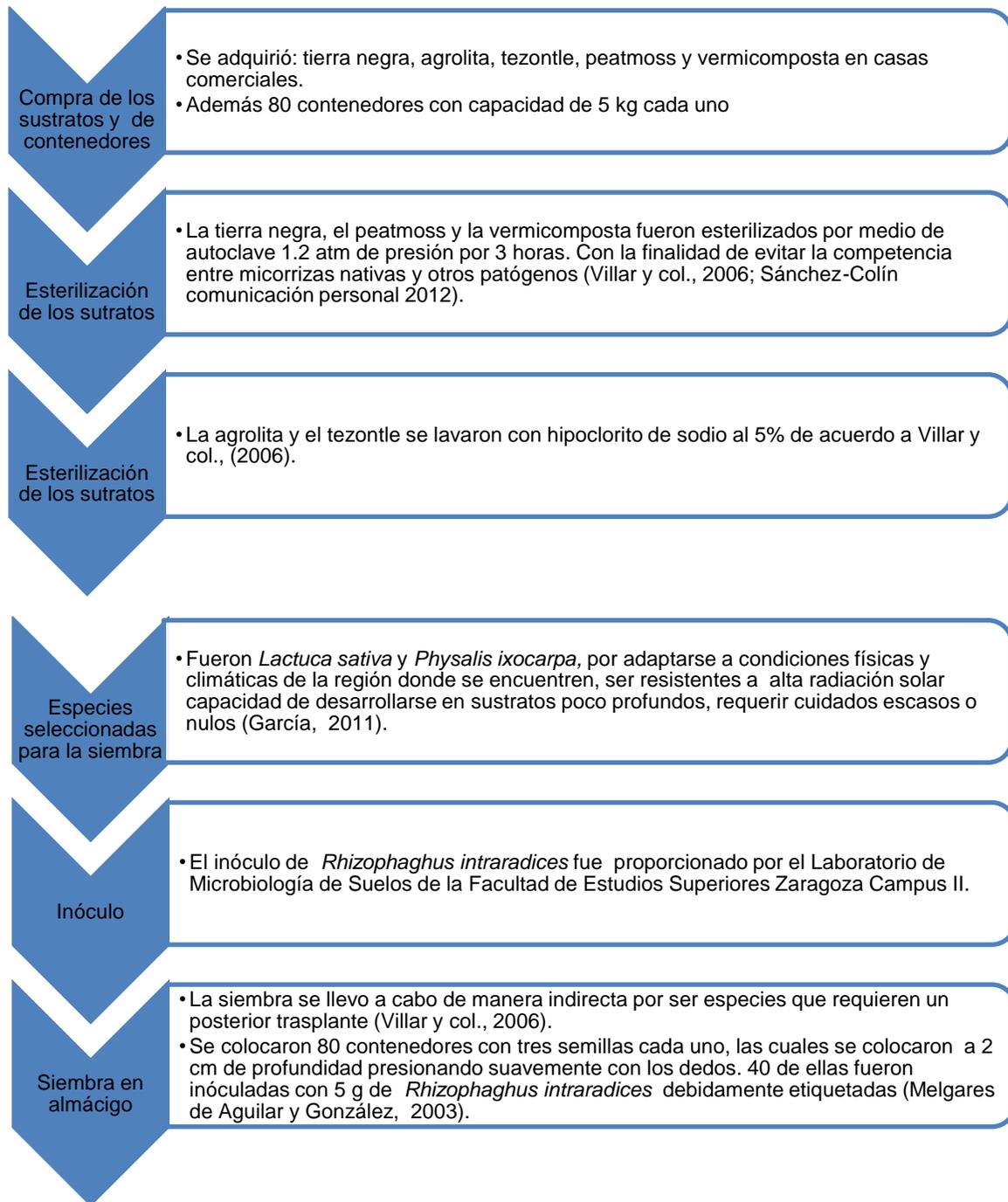
Fig.1. Ubicación de la azotea en la FES Zaragoza Campus II.

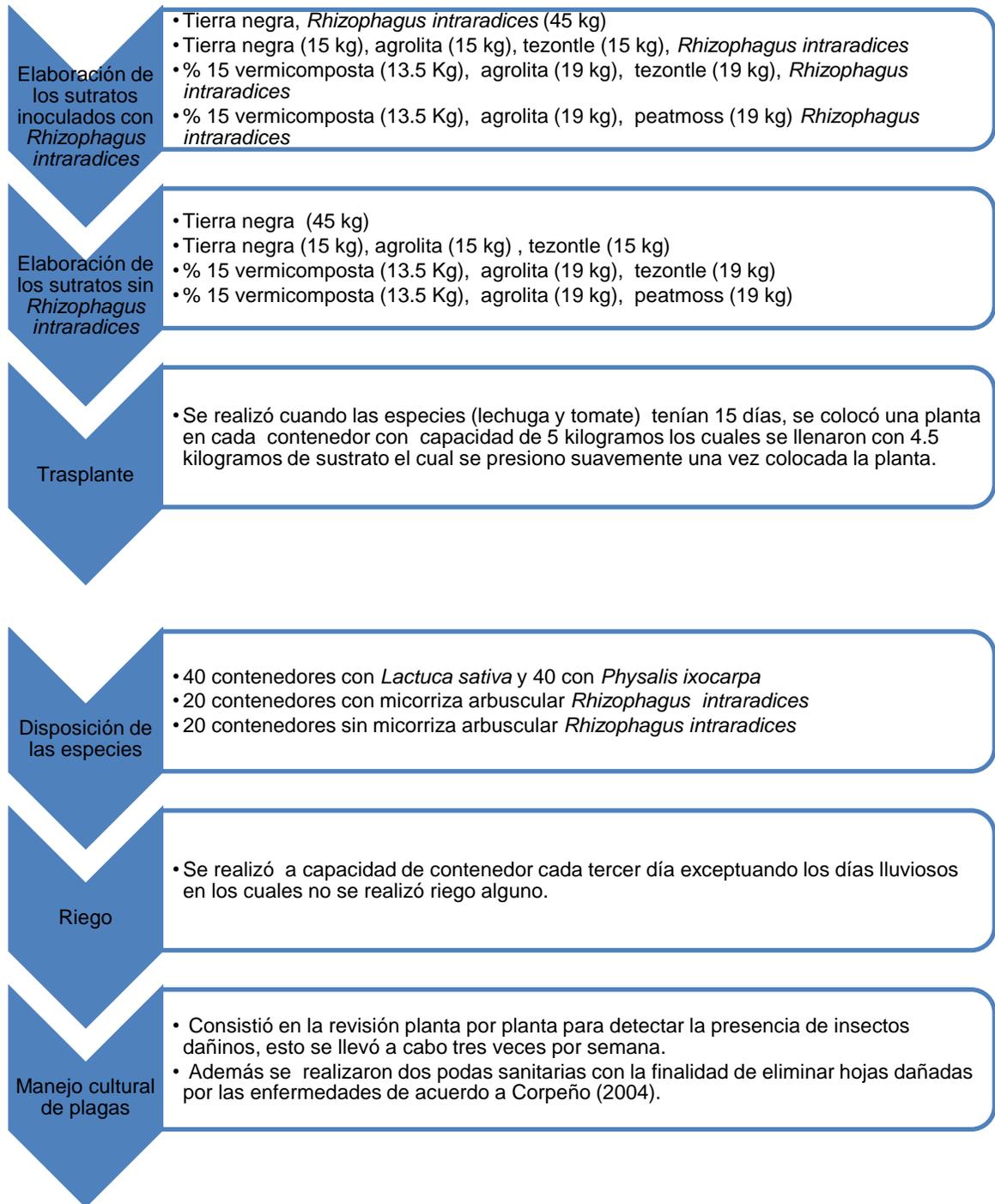
Se estableció un diseño experimental con 80 unidades experimentales, constituido por 4 tratamientos con *Rhizophagus intraradices* y 4 tratamientos sin *Rhizophagus intraradices*, con 5 repeticiones en dos especies (*L. sativa* y *P. ixocarpa*) distribuidas completamente al azar (cuadro 3).

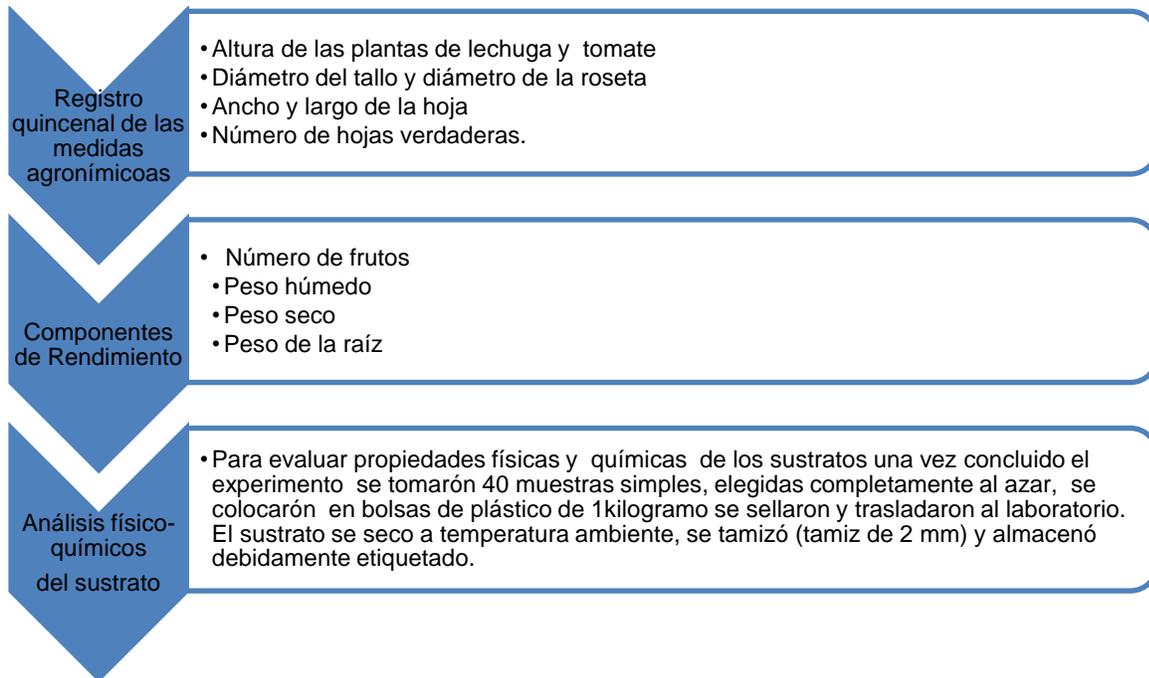
Cuadro 3. Tratamientos propuestos y proporciones ocupadas.

Tratamiento	Sustrato con <i>Rhizophagus</i>	Sustrato sin <i>Rhizophagus</i>
1	Tierra negra, <i>Rhizophagus intraradices</i> (45 kg)	Tierra negra (45 kg)
2	Tierra negra (15 kg), agrolita (15 kg), tezontle (15 kg), <i>Rhizophagus intraradices</i>	Tierra negra (15 kg), agrolita (15 kg), tezontle (15 kg)
3	% 15 vermicomposta (13.5 Kg), agrolita (19 kg), tezontle (19 kg), <i>Rhizophagus intraradices</i>	% 15 vermicomposta (13.5 Kg), agrolita (19 kg), tezontle (19 kg)
4	% 15 vermicomposta (13.5 Kg), agrolita (19 kg), peatmoss (19 kg), <i>Rhizophagus intraradices</i>	% 15 vermicomposta (13.5 Kg), agrolita (19 kg), peatmoss (19 kg)

Diagrama de flujo del método







Métodos para la determinación de parámetros

- Densidad aparente por el método de la probeta (Castillo, 2007).
- Densidad real por el método del picnómetro (NOM-021-RECNAT-2000)
- Conductividad eléctrica relación 1:5 por potenciómetro (Sociedad de la Ciencia del Suelo, A.C, s/a).
- Textura por el método de Bouyoucos(Jackson, 1976).

Métodos para la determinación de parámetros

- pH activo en agua relación 1:2 por el método del potenciómetro (Jackson, 1976).
- pH potencial en solución salina de KCL 1 N en relación 1:2 por el método de potenciómetro (Jackson, 1976).
- Materia orgánica por el método de Walkley y Black (Jackson, 1976).
- Determinación de nitrógeno total (Nt) por factor de conversión a partir de la materia orgánica por el método de vía húmeda (Jackson, 1976).

Análisis

- Estadístico e interpretación de resultados

Establecimiento

- Establecimiento de una azotea utilizando biofertilizantes como una opción de naturación en zonas urbanas

Las muestras de sustrato que se utilizaron para la evaluación del número de esporas, fueron las mismas que se utilizaron para los análisis fisicoquímicos. La evaluación del número de esporas se llevó a cabo por medio de la técnica de tamizado húmedo y decantación según Gerdemann y Nicolson, (1963). El cual consiste en pesar 100 g de suelo seco para después colocarlo en un vaso de precipitado de 1 L., adicionarle agua corriente y agitarlo vigorosamente. Posteriormente se pasa el sobrenadante en una serie de tamices ordenados del mayor al menor (250 μm , 149 μm y 35 μm), se recoge el contenido de cada tamiz con agua destilada en cajas Petri para posteriormente observar al estereoscopio (Ferrera-Cerrato y col., 1993). El número de esporas se reporta por 100g de suelo seco según la siguiente fórmula:

$$\text{Esporas en 100 g de suelo seco} = \frac{(\text{No. de esporas contadas})(\text{g de suelo seco})}{100 \text{ g de suelo húmedo}} \times 100$$

Se realizó la evaluación del porcentaje de colonización total micorrízica en raíz de acuerdo a Phillips y Hayman (1970) con el método de azul tripano, en plantas recolectadas. Esta técnica consiste en el clareo, blanqueo, acidificación, la tinción con azul de tripano, decoloración con lactoglicerol y su posterior observación al microscopio, anotando el número de campos con micelio, arbusculos y vesículas, (Ferrera-Cerrato y col., 1993).

El porcentaje de colonización micorrízica arbuscular por estructuras y total, se obtiene mediante las formulas:

$$\% \text{ de colonización total} = \frac{\text{No. de segmentos colonizados}}{\text{No. de segmentos totales}} \times 100$$

$$\% \text{ de colonización por arbusculos} = \frac{\text{No. de segmentos con arbusculos}}{\text{No. de segmentos totales}} \times 100$$

$$\% \text{ de colonización por vesículas} = \frac{\text{No. de segmentos con vesículas}}{\text{No. de segmentos totales}} \times 100$$

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño estadístico fue un factorial de 4 x 2 con 5 repeticiones para cada una de las especies dando un total de 80 unidades experimentales.

Las propiedades físico-químicas de los sustratos se sometieron a un análisis de varianza y posteriormente se utilizó el software de análisis estadístico StatGraphics versión Centurión XVI para llevar a cabo la comparación entre las medias.

Las variables agronómicas se sometieron a un análisis de mediciones repetidas con el software de análisis estadístico SPSS versión 20 para un diseño factorial con dos factores: Factor 1: tratamiento; Factor 2: micorriza y la interacción que existió entre estos dos factores a los 120 días que duró la fase experimental.

RESULTADOS

Los resultados de los análisis físicos y químicos de los cuatro sustratos empleados se presentan en el cuadro 4. De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-REACT-2000), se observa que la densidad aparente (DA) correspondió a sustratos orgánicos presentando valores menores a 1.0, mientras que la materia orgánica (MO) estuvo dentro del rango de muy alto y la salinidad medida a través del CE fue muy baja.

Cuadro 4. Propiedades físicas y químicas de los cuatro sustratos.

Sustratos	DA	DR	EP	CE	Arena	Arcilla	Limo	pH	MO	Nt
Unidades	g/cc	g/cc	%	dS*m ⁻¹	%	%	%		%	%
1 smc	0.63	2.78	72.28	0.00107	67.6	25.2	7.2	5.43	21.25	1.063
1 cmc	0.51	2.22	72.24	0.00112	67.6	21.6	10.8	6.12	19.94	0.997
2 smc	0.34	1.01	63.2	0.00112	71.2	21.6	7.2	5.39	31.05	1.553
2 cmc	0.23	1.72	80.38	0.00104	67.6	21.6	10.8	5.44	20.7	1.035
3 smc	0.41	2.93	82.21	0.00148	67.6	28.8	3.6	6.52	30.5	1.525
3 cmc	0.45	2.11	76.97	0.00116	71.2	25.2	3.6	7.22	20.01	1.001
4 smc	0.28	1.46	78.38	0.00136	67.6	32.4	0	5.72	24.5	1.225
4 cmc	0.17	1.01	77.24	0.00142	71.2	25.2	3.6	5.44	20.84	1.042

1 smc (tierra negra); 2 smc (tierra negra, agrolita, tezontle); 3 smc (15% vermicomposta, agrolita, tezontle); 4 smc (15% vermicomposta, agrolita, peatmoss); 1cmc (tierra negra, *Rhizophagus intraradices*); 2 cmc (tierra negra, agrolita, tezontle, *Rhizophagus intraradices*); 3 cmc (15% vermicomposta, agrolita, tezontle, *Rhizophagus intraradices*); 4 cmc (15% vermicomposta, agrolita, peatmoss, *Rhizophagus intraradices*).

En cuanto a la DA y de acuerdo al análisis de varianza realizado se puede afirmar con una $p < 0.05$ que existieron diferencias significativas entre los sustratos, y entre los sustratos que fueron micorrizados con *Rhizophagus intraradices*, mientras que la interacción de factores sustrato-micorriza no existió una diferencia significativa cuadro 5.

Cuadro 5. Análisis de Varianza para DA en (g/cc) - Tipo III suma de cuadrados

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A: Tratamiento	0.704606	3	0.234869	40.60	0.0000
B: micorriza	0.0552544	1	0.0552544	9.55	0.0041
INTERACTIONS					
AB	0.0425878	3	0.0141959	2.45	0.0811
RESIDUAL	0.185098	32	0.00578431		
TOTAL (CORRECTED)	0.987546	39			

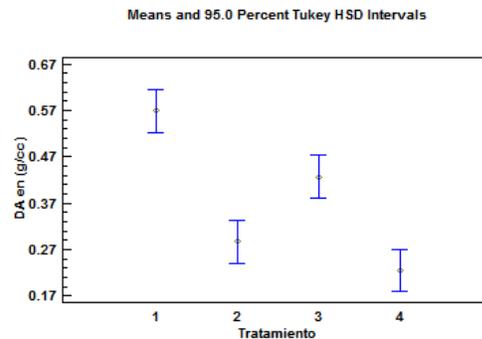
Todos los radios son basados en el error residual de medios al cuadrado.

El sustrato 4 compuesto por vermicomposta, agrolita y peatmoss, se presentaron los valores más bajos de DA (0.18 g/cc), el sustrato 1 (tierra negra) fue en el que se reportó el valor más alto de DA (0.57 g/cc). Los sustratos con micorriza disminuyen la DA del sustrato. La prueba de contrastes de medias, permite apreciar en la gráfica 1 que existe diferencias estadísticas significativas entre los sustratos 1-2, 1-3,1-4, 2-3 y 3-4, mientras que 2-4 no fueron estadísticamente diferentes cuadro 6.

Cuadro 6. Prueba de contraste de medias

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
1 - 2	*	0.282	0.0911918
1 - 3	*	0.142	0.0911918
1 - 4	*	0.344	0.0911918
2 - 3	*	-0.14	0.0911918
2 - 4		0.062	0.0911918
3 - 4	*	0.202	0.0911918

* denotes a statistically significant difference.



Gráfica 1. D.A. en los sustratos, se puede apreciar que el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss) fue el que presentó la D.A. más baja, mientras que el sustrato 1 (tierra negra) fue el que presentó la D.A. más alta.

Existieron diferencias en el pH potencial entre los sustratos, sin embargo se tiene evidencia para afirmar con un 95% de confianza que no existieron diferencias significativas entre los sustratos que fueron micorrizados con *Rhizophagus intraradices*, y aquellos sustratos que no lo fueron, así como entre la interacción de factores sustrato-micorriza cuadro 7.

Cuadro 7. Analysis of Variance for pH Potencial - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A: Tratamiento	12.9838	3	4.32794	11.24	0.0000
B: micorriza	0.85849	1	0.85849	2.23	0.1452
INTERACTIONS					
AB	1.77173	3	0.590577	1.53	0.2247
RESIDUAL	12.3237	32	0.385115		
TOTAL (CORRECTED)	27.9377	39			

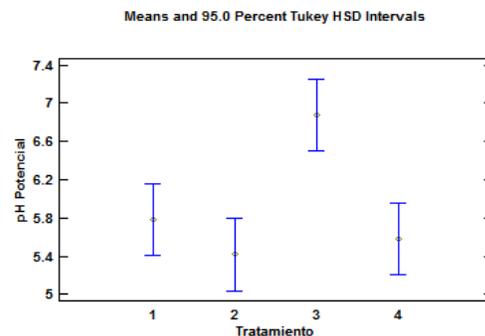
All F-ratios are based on the residual mean square error.

La prueba de contrastes de medias mostró que existieron diferencias significativas entre los sustratos 1-3; 2-3 y 3-4 (cuadro 8), el sustrato 3 compuesto por: vermicomposta, agrolita y tezontle, fue el presentó un pH potencial de 7.0 (gráfica 2), mientras que el sustrato 2 (tierra negra, agrolita y tezontle) presento un pH potencial de 5.4.

Cuadro 8. Prueba de contraste de medias

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
1 - 2		0.362	0.75205
1 - 3	*	-1.095	0.75205
1 - 4		0.199	0.75205
2 - 3	*	-1.457	0.75205
2 - 4		-0.163	0.75205
3 - 4	*	1.294	0.75205

* denotes a statistically significant difference.



Gráfica 2. pH potencial de los sustratos en la que se aprecia que el sustrato 3 (vermicomposta, agrolita y tezontle) tuvo el pH potencial más neutro, mientras que el sustrato 2 (tierra negra, agrolita y tezontle) presento el pH potencial más ácido.

Hubo diferencias en el contenido de materia orgánica (MO) entre los sustratos, así como entre los sustratos micorrizados con *Rhizophagus intraradices* y aquellos que no lo fueron, además existió un efecto entre la interacción entre los sustratos y la micorriza ($p < 0.05$) cuadro 9.

Cuadro 9. Analysis of Variance for MO - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A: Tratamiento	178.038	3	59.3459	17.19	0.0000
B: micorriza	416.219	1	416.219	120.53	0.0000
INTERACTIONS					
AB	164.314	3	54.7713	15.86	0.0000
RESIDUAL	110.503	32	3.45321		
TOTAL (CORRECTED)	869.073	39			

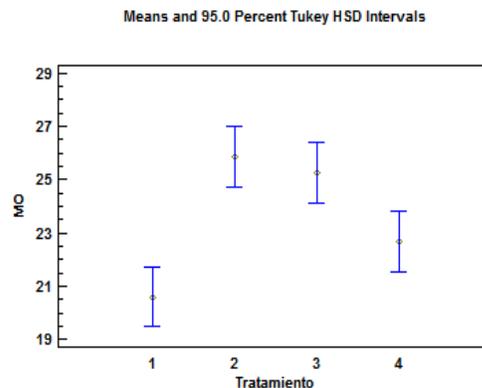
All F-ratios are based on the residual mean square error.

La prueba de contrastes de medias, permitió observar diferencias estadísticas significativas entre los sustratos 1-2, 1-3, 2-4 y 3-4, además se formaron dos grupos homogéneos, entre los sustratos 2-3 y 1-4, cuadro 10 sin embargo el sustrato 1 (tierra negra), tuvo el porcentaje de MO más bajo con el 20% y el porcentaje más alto se obtuvo en el sustrato 2 (tierra negra, agrolita y tezontle) 26%, (gráfica 3).

Cuadro 10. Prueba de contraste de medias

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
1 - 2	*	-5.2785	2.25197
1 - 3	*	-4.6575	2.25197
1 - 4		-2.07	2.25197
2 - 3		0.621	2.25197
2 - 4	*	3.2085	2.25197
3 - 4	*	2.5875	2.25197

* denotes a statistically significant difference.



Gráfica 3. MO en los sustratos, en el sustrato 1 (tierra negra) se presentó el menor porcentaje de materia orgánica, mientras que el sustrato 2 (tierra negra, agrolita y tezontle) fue donde se encontró la mayor cantidad de materia orgánica.

➤ Medidas agronómicas en lechuga

Se puede afirmar con $\alpha=0.05$ que existieron diferencias entre los tratamientos, cuadro 11. La mayor altura promedio alcanzada por lechuga fue de 17 cm en el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss sin micorriza), y la menor altura se reportó en el sustrato 1: tierra negra sin micorriza (3.5 cm). En el sustrato 2: tierra negra, agrolita y tezontle sin micorriza, no hubo establecimiento de la lechuga, sin embargo en el sustrato 2 con micorriza *Rhizophagus intraradices* las plantas alcanzaron alturas promedio de 7.2 cm.

Cuadro 11. Altura de lechuga, micorriza- tiempo

Medida: MEASURE_1

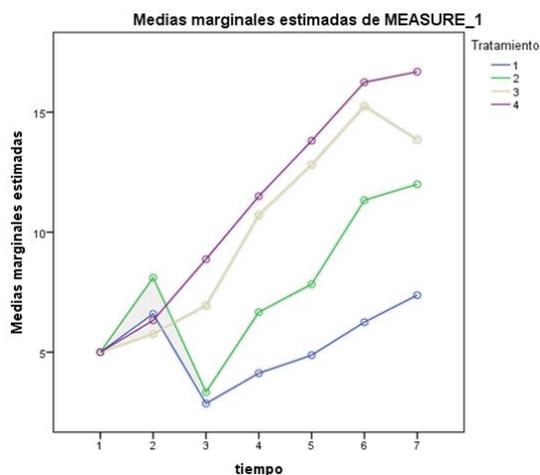
micorriza	tiempo	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
0	1	5.000 ^a	0	5	5
	2	5.000 ^a	0.627	3.678	6.322
	3	3.908 ^a	0.476	2.904	4.912
	4	8.333 ^a	0.477	7.327	9.34
	5	11.708 ^a	0.529	10.593	12.824
	6	14.333 ^a	0.913	12.406	16.261
	7	14.125 ^a	0.865	12.301	15.949
1	1	5	0	5	5
	2	7.621	0.508	6.55	8.692
	3	7.24	0.385	6.426	8.053
	4	8.583	0.387	7.768	9.399
	5	8.927	0.428	8.023	9.831
	6	10.958	0.74	9.397	12.52
	7	11.365	0.701	9.887	12.843

a. Basada en la media marginal poblacional modificada.

Se puede afirmar con un intervalo de confianza del 95% que las diferencias existieron entre los sustratos 1-4, 2-3 y 2-4 cuadro 12.

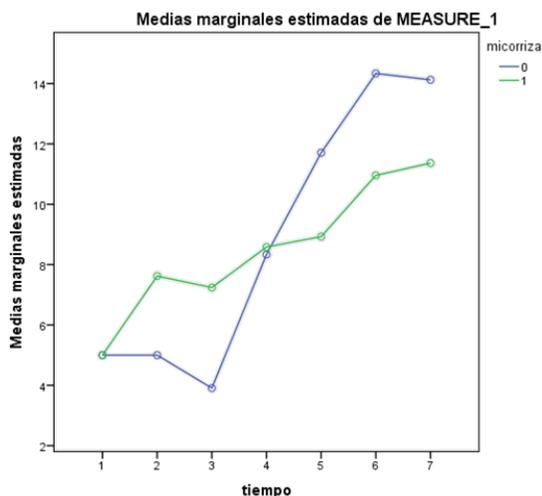
El análisis de las alturas con respecto al tiempo (análisis de medidas repetidas), mostro que el sustrato 3: vermicomposta, agrolita y tezontle y el sustrato 4: vermicomposta, agrolita y peatmoss, se separaron desde la segunda medición de los sustratos 1: tierra negra y 2: tierra negra, agrolita y tezontle (grafica 4). Al interaccionar el sustrato con la micorriza se observó un incremento en la altura hasta la cuarta medición a partir de esa fecha los sustratos micorrizados con *Rhizophagus intraradices* fueron superados por los sustratos sin micorriza, sin embargo al final de la fase experimental estas diferencias no fueron estadísticamente significativas (gráfica 5).

Cuadro 12. Altura de lechuga, Tratamiento-tiempo					
Tratamiento	tiempo	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
1	1	5	0	5	5
	2	6.6	0.814	4.882	8.318
	3	2.863	0.618	1.558	4.167
	4	4.125	0.62	2.817	5.433
	5	4.875	0.687	3.426	6.324
	6	6.25	1.187	3.746	8.754
	7	7.375	1.123	5.005	9.745
2	1	5.000 ^a	0	5	5
	2	8.100 ^a	1.086	5.81	10.39
	3	3.333 ^a	0.824	1.595	5.072
	4	6.667 ^a	0.826	4.923	8.41
	5	7.833 ^a	0.916	5.901	9.766
	6	11.333 ^a	1.582	7.995	14.671
	7	12.000 ^a	1.498	8.84	15.16
3	1	5	0	5	5
	2	5.767	0.718	4.252	7.282
	3	6.938	0.545	5.787	8.088
	4	10.708	0.547	9.555	11.862
	5	12.813	0.606	11.534	14.091
	6	15.25	1.047	13.042	17.458
	7	13.854	0.991	11.764	15.944
4	1	5	0	5	5
	2	6.325	0.665	4.923	7.727
	3	8.875	0.505	7.81	9.94
	4	11.5	0.506	10.432	12.568
	5	13.812	0.561	12.629	14.996
	6	16.25	0.969	14.206	18.294
	7	16.687	0.917	14.752	18.623



Gráfica 4. Las mayores alturas promedio en lechuga fueron alcanzadas por el sustrato 4.

1. tierra negra; 2.- tierra negra, agrolita y tezontle, 3.- vermicomposta, agrolita y tezontle, 4.-vermicomposta, agrolita y peatmoss.



Gráfica 5. En la interacción altura-micorriza no hubo una diferencia significativa, obteniéndose las mayores alturas promedio con los sustratos que no fueron micorrizados a partir de la cuarta medición. 0= sin *Rhizophagus intraradices*, 1= con *Rhizophagus intraradices*.

➤ Número de hojas en lechuga

Se puede afirmar con $\alpha=0.05$ que existieron diferencias entre los sustratos en cuanto al número de hojas en lechuga, cuadro 13. El mayor número de hojas promedio alcanzadas por lechuga fue de 10 en el sustrato 4: vermicomposta, agrolita y peatmoss, el menor número de hojas se reportó en el sustrato 1: tierra negra sin micorriza con solo tres hojas.

**Cuadro 13. Número de hojas en lechuga.
Micorriza-tiempo**

micorriza	tiempo	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
0	1	1.000 ^a	0	1	1
	2	1.000 ^a	0	1	1
	3	3.917 ^a	0.134	3.634	4.2
	4	6.167 ^a	0.31	5.513	6.82
	5	15.083 ^a	2.659	9.474	20.693
	6	9.417 ^a	1.228	6.826	12.008
	7	9.917 ^a	0.776	8.279	11.554
1	1	1	0	1	1
	2	4	0	4	4
	3	4	0.109	3.771	4.229
	4	5.042	0.251	4.512	5.571
	5	16.271	2.154	11.726	20.815
	6	10.25	0.995	8.151	12.349
	7	10.604	0.629	9.278	11.931

a. Basada en la media marginal poblacional modificada.

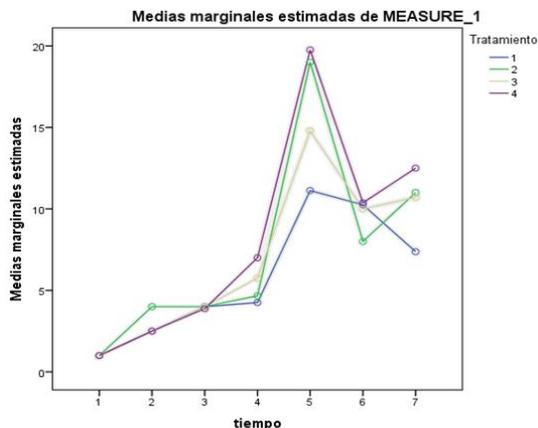
Se puede afirmar con un intervalo del 95% de confianza que las diferencias existieron entre los sustratos 1-4.

El análisis del número de hojas en lechuga con respecto al tiempo (análisis de medidas repetidas) Cuadro 14, mostro que el sustrato 4: vermicomposta, agrolita y peatmoss se separó desde la cuarta medición del resto de los sustratos a partir de esa fecha mantuvo el mayor número de hojas grafica 6. El efecto de la interacción sustrato- micorriza mostro un mayor número de hojas para las plantas micorrizadas con *Rhizophagus intraradices* hasta el final del experimento (gráfica 7).

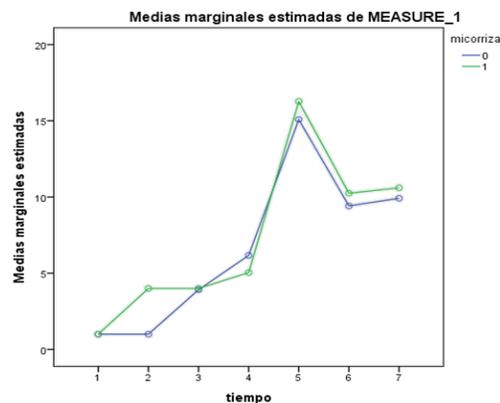
Cuadro 14. Número de hojas en lechuga. Tratamiento-tiempo

Tratamiento	tiempo	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
1	1	1	0	1	1
	2	2.5	0	2.5	2.5
	3	4	0.174	3.633	4.367
	4	4.25	0.402	3.401	5.099
	5	11.125	3.454	3.838	18.412
	6	10.25	1.595	6.884	13.616
	7	7.375	1.008	5.248	9.502
2	1	1.000 ^a	0	1	1
	2	4.000 ^a	0	4	4
	3	4.000 ^a	0.232	3.51	4.49
	4	4.667 ^a	0.536	3.535	5.798
	5	19.000 ^a	4.605	9.284	28.716
	6	8.000 ^a	2.127	3.512	12.488
	7	11.000 ^a	1.344	8.164	13.836
3	1	1	0	1	1
	2	2.5	0	2.5	2.5
	3	4	0.154	3.676	4.324
	4	5.75	0.355	5.002	6.498
	5	14.792	3.046	8.365	21.218
	6	10	1.407	7.032	12.968
	7	10.708	0.889	8.832	12.584
4	1	1	0	1	1
	2	2.5	0	2.5	2.5
	3	3.875	0.142	3.575	4.175
	4	7	0.328	6.307	7.693
	5	19.75	2.82	13.8	25.7
	6	10.375	1.303	7.627	13.123
	7	12.5	0.823	10.763	14.237

a. Basada en la media marginal poblacional modificada.



Gráfica 6. Número de hojas en lechuga en la gráfica se puede apreciar que el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss) fue en donde se obtuvieron el mayor número de hojas, a diferencia del sustrato 1 (tierra negra) donde se presentó el menor número de hojas.



Gráfica 7. Número de hojas en lechuga; 1=con *Rhizophagus intraradices*; 0=sin *Rhizophagus intraradices*, donde se puede apreciar que las plantas de lechuga que fueron micorrizadas con *Rhizophagus intraradices* tuvieron el mayor número de hojas.

➤ **Altura en las plantas de tomate**

Existió una diferencia entre los sustratos con respecto a la altura de tomate cuadro 15. La mayor altura promedio alcanzada por tomate fue de 45.6 cm en el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss sin micorriza), y la menor altura se reportó en el sustrato 1 (tierra negra con micorriza) (20.5 cm).

Cuadro 15. Altura en tomate, micorriza- tiempo

Medida: MEASURE_1		Media	Error ttp.	Intervalo de confianza 95%	
micorriza	tiempo			Límite inferior	Límite superior
0	1	5.733	0.391	4.925	6.541
	2	10.617	1.081	8.38	12.854
	3	15.733	1.445	12.744	18.723
	4	23.85	1.767	20.194	27.506
	5	34.817	2.091	30.491	39.142
1	6	37.583	1.921	33.609	41.558
	1	6.267	0.473	5.289	7.244
	2	11.158	1.308	8.451	13.865
	3	19.658	1.749	16.041	23.276
	4	25.65	2.139	21.226	30.074
1	5	32.967	2.53	27.732	38.201
	6	34.875	2.325	30.066	39.684

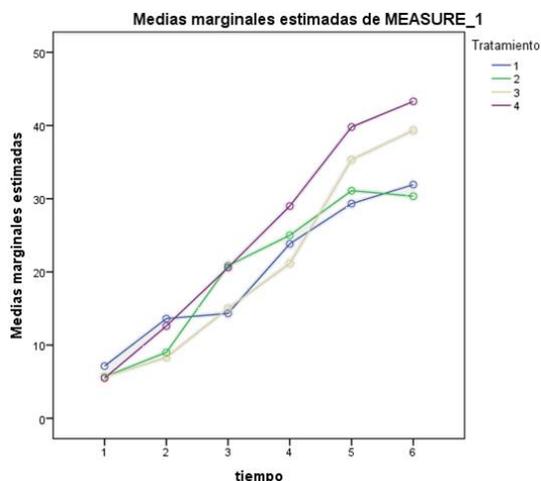
El análisis de las alturas con respecto al tiempo (análisis de medidas repetidas), mostro que el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss) se separó desde la tercera medición del resto de los sustratos (grafica 8). Se puede afirmar con un $\alpha=0.05$ que las diferencias fueron estadísticamente significativas entre los sustratos 1-4, 2-4, 3-4 (cuadro 16).

Cuadro 16. Altura de tomate. Tratamiento - tiempo

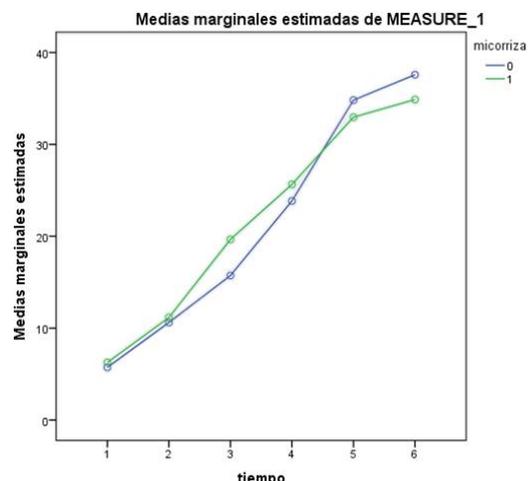
Medida: MEASURE_1

Tratamiento	tiempo	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
1	1	7.133	0.59	5.912	8.355
	2	13.617	1.635	10.235	16.999
	3	14.333	2.185	9.814	18.853
	4	23.833	2.672	18.306	29.361
	5	29.333	3.161	22.793	35.873
	6	31.933	2.905	25.925	37.942
2	1	5.7	0.676	4.301	7.099
	2	9	1.873	5.126	12.874
	3	20.85	2.503	15.672	26.028
	4	25	3.061	18.667	31.333
	5	31.1	3.622	23.607	38.593
	6	30.35	3.328	23.466	37.234
3	1	5.667	0.66	4.301	7.032
	2	8.333	1.828	4.552	12.114
	3	15	2.443	9.947	20.053
	4	21.167	2.988	14.986	27.347
	5	35.333	3.535	28.021	42.645
	6	39.333	3.247	32.616	46.051
4	1	5.5	0.511	4.442	6.558
	2	12.6	1.416	9.671	15.529
	3	20.6	1.892	16.686	24.514
	4	29	2.314	24.213	33.787
	5	39.8	2.738	34.136	45.464
	6	43.3	2.515	38.096	48.504

El efecto de la interacción sustrato-micorriza mostro alturas mayores para las plantas sin micorriza hasta el final del experimento, sin embargo estas diferencias no fueron significativas estadísticamente entre los sustratos con *Rhizophagus intraradices* y aquellos que no fueron micorrizados en el tiempo que duro el experimento (gráfica 9).



Gráfica 8. Altura de tomate, se observa que el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss) presento las mayores alturas a partir de la tercera medición.



Gráfica 9. Altura tomate se puede apreciar que las plantas que no fueron micorrizadas a partir de la quinta medición presentan mayor altura que las plantas que no fueron micorrizadas. 1=con *Rhizophagus intraradices* 0=sin *Rhizophagus intraradices*.

➤ No. de hojas

Se puede afirmar con un $\alpha=0.05$ % que existieron diferencias entre el número de hojas entre los sustratos cuadro 17. El número de hojas promedio alcanzadas por tomate fue de 58 hojas en el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss sin micorriza), el menor número de hojas se reportó en el sustrato 2 (tierra negra, agrolita y tezontle con micorriza) (14 hojas).

Cuadro 17. Número de hojas en tomate, micorriza - tiempo

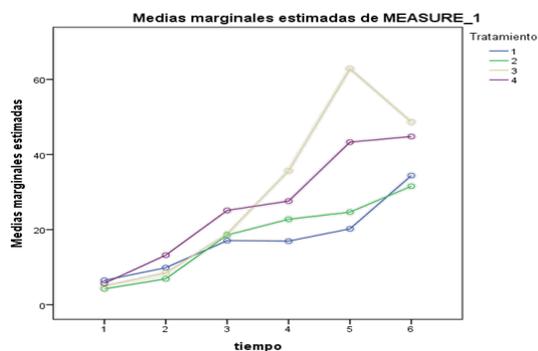
micorriza	tiempo	Media	Error ttp.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
0	1	4.5	0.362	3.751	5.249
	2	7.533	1.266	4.914	10.152
	3	16.267	2.491	11.114	21.42
	4	23.2	3.494	15.972	30.428
	5	35.817	4.719	26.054	45.579
	6	41.417	3.647	33.873	48.96
1	1	6.225	0.438	5.319	7.131
	2	11.7	1.532	8.531	14.869
	3	23.508	3.014	17.273	29.744
	4	28.275	4.228	19.529	37.021
	5	39.675	5.711	27.862	51.488
	6	38.292	4.413	29.163	47.42

El número de hojas en tomate respecto al tiempo (análisis de medidas repetidas), mostro que el sustrato 3 (vermicomposta, agrolita y tezontle) se separó desde la cuarta fecha del resto de los sustratos (gráfica 10). El análisis estadístico aplicado mostró que las diferencias fueron estadísticamente significativas entre los sustratos 1-3, 1-4, 2-3 y 2-4 con una $\alpha < 0.05$ (cuadro 18).

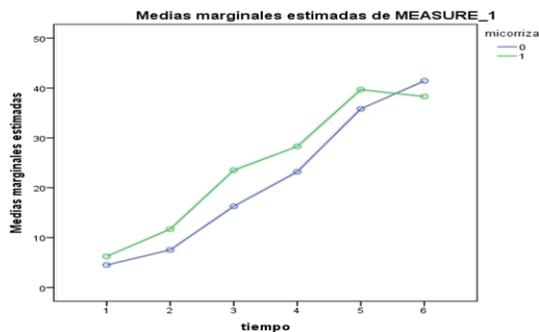
Cuadro 18. Número de hojas en tomate. Tratamiento- tiempo

Tratamiento	tiempo	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
1	1	6.5	0.547	5.367	7.633
	2	9.867	1.914	5.907	13.826
	3	17.067	3.766	9.276	24.857
	4	16.933	5.282	6.006	27.86
	5	20.2	7.135	5.441	34.959
	6	34.4	5.513	22.995	45.805
2	1	4.25	0.627	2.953	5.547
	2	6.9	2.193	2.364	11.436
	3	18.55	4.315	9.625	27.475
	4	22.75	6.052	10.231	35.269
	5	24.65	8.174	7.741	41.559
	6	31.55	6.316	18.484	44.616
3	1	5	0.612	3.734	6.266
	2	8.5	2.14	4.073	12.927
	3	18.833	4.211	10.123	27.544
	4	35.667	5.906	23.45	47.883
	5	62.833	7.977	46.332	79.335
	6	48.667	6.164	35.916	61.418
4	1	5.7	0.474	4.719	6.681
	2	13.2	1.658	9.771	16.629
	3	25.1	3.262	18.353	31.847
	4	27.6	4.575	18.137	37.063
	5	43.3	6.179	30.518	56.082
	6	44.8	4.774	34.923	54.677

El efecto de la interacción sustrato-micorriza mostro un mayor número de hojas para las plantas micorrizadas a partir del primer tiempo hasta el tiempo 5 cuando son superadas por las plantas sin micorriza, sin embargo estas diferencias no fueron significativas estadísticamente entre los tratamientos con *Rhizophagus intraradices* y aquellos que no fueron micorrizados en el tiempo que duro el experimento (gráfica 11).



Gráfica 10. No. de hojas de tomate, el sustrato 3 (vermicomposta, agrolita y tezontle) presento el mayor número a partir de la cuarta medición, y se mantiene hasta el final de la fase experimental.



Gráfica 11. No. de hojas de tomate, se muestra que las plantas con micorriza *Rhizophagus intraradices*, presentaron el mayor número de hojas hasta la quinta medición, ya que son superados al final de la fase experimental por aquellas que no fueron micorrizadas con *Rhizophagus intraradices*.

➤ **Diámetro del tallo**

Existe evidencia para afirmar con un $\alpha=0.05\%$ que existió una diferencia en el diámetro del tallo entre sustratos. El diámetro del tallo promedio alcanzado por tomate fue de 1 cm en el sustrato 3 (vermicomposta, agrolita y tezontle con micorriza), el sustrato que reporto el menor diámetro fue el 1 (tierra negra sin micorriza) (0.30 cm). En los sustratos micorrizados y sin micorriza no se observa diferencias estadísticamente significativas (cuadro 19).

Cuadro 19. Diámetro del tallo en tomate. Micorriza- tiempo

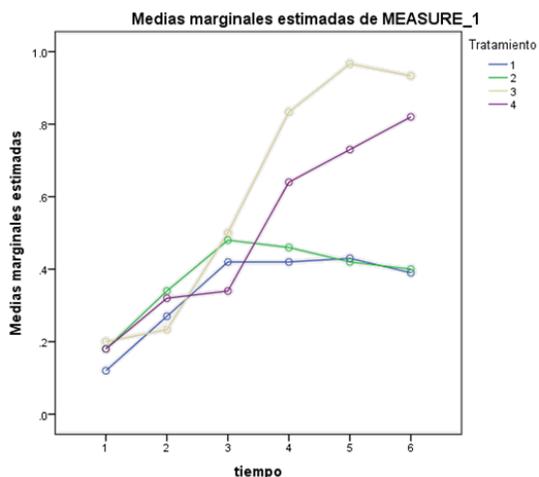
micorriza	tiempo	Media	Error tít.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
0	1	0.17	0.016	0.137	0.203
	2	0.291	0.018	0.255	0.327
	3	0.435	0.021	0.392	0.478
	4	0.588	0.039	0.509	0.668
	5	0.637	0.02	0.595	0.679
	6	0.636	0.029	0.576	0.695
1	1	0.17	0.016	0.137	0.203
	2	0.291	0.018	0.255	0.327
	3	0.435	0.021	0.392	0.478
	4	0.588	0.039	0.509	0.668
	5	0.637	0.02	0.595	0.679
	6	0.636	0.029	0.576	0.695

El análisis del diámetro del tallo en tomate respecto al tiempo (análisis de medidas repetidas), mostro que el sustrato 3 (vermicomposta, agrolita y peatmoss) se separó desde la tercera fecha del resto de los sustrato, (gráfica 12). El análisis estadístico aplicado mostro que las diferencias fueron estadísticamente significativos entre los tratamientos 1-3, 2-3, 2-4 y 3-4 con una $\alpha=0.05$ (cuadro 20).

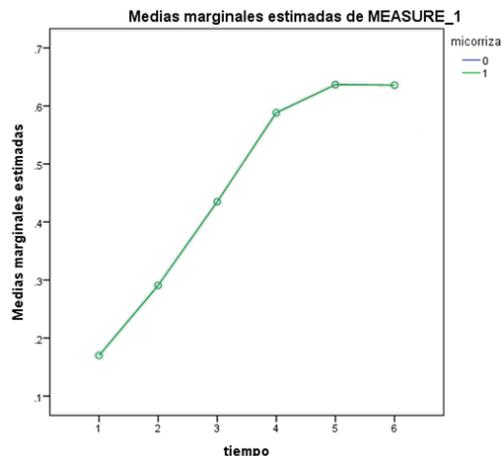
Cuadro 20. Diámetro del tallo en tomate. Tratamiento * tiempo

Tratamiento	tiempo	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
1	1	0.12	0.021	0.076	0.164
	2	0.27	0.023	0.223	0.317
	3	0.42	0.028	0.363	0.477
	4	0.42	0.051	0.316	0.524
	5	0.43	0.027	0.375	0.485
	6	0.39	0.038	0.312	0.468
2	1	0.18	0.021	0.136	0.224
	2	0.34	0.023	0.293	0.387
	3	0.48	0.028	0.423	0.537
	4	0.46	0.051	0.356	0.564
	5	0.42	0.027	0.365	0.475
	6	0.4	0.038	0.322	0.478
3	1	0.2	0.028	0.143	0.257
	2	0.233	0.03	0.172	0.294
	3	0.5	0.036	0.427	0.573
	4	0.833	0.065	0.699	0.967
	5	0.967	0.035	0.896	1.038
	6	0.933	0.049	0.833	1.034
4	1	0.18	0.021	0.136	0.224
	2	0.32	0.023	0.273	0.367
	3	0.34	0.028	0.283	0.397
	4	0.64	0.051	0.536	0.744
	5	0.73	0.027	0.675	0.785

El efecto de la interacción sustrato-micorriza no mostro una diferencia significativa entre los sustratos con *Rhizophagus intraradices* y aquellos que no fueron micorrizados en el tiempo experimental (gráfica 13).



Gráfica 12. Diámetro del tallo de tomate, se observa la formación de dos grupos homogéneos entre los sustrato 1-2 y 3-4, el sustrato 3 (vermicomposta, agrolita y tezontle) fue el que alcanzo los mayores diámetros promedio.



Gráfica 13. En cuanto a la interacción diámetro del tallo-micorriza no existió una diferencia entre los sustratos que fueron micorrizados con *Rhizophagus intraradices* de aquellos que no lo fueron.

En el cuadro 21 se puede observar el rendimiento total obtenido en lechuga para los sustratos aplicados.

Cuadro 21. Rendimiento total de lechuga (g)

Tratamiento	Peso húmedo roseta		Peso húmedo raíz	
	cmc	smc	cmc	smc
1	7	6	2	5
2	24	0	0	0
3	29	104	85	0
4	78	70	46	0

Hubo una diferencia significativa entre los sustratos, en cuanto al peso húmedo, en cuanto al efecto de la micorriza *Rhizophagus intraradices* no hubo una diferencia significativa esto se puede afirmar con un intervalo de confianza del 95%, mientras que en la interacción de factores peso húmedo-micorriza si se mostró una diferencia significativa ($p < 0.05$) cuadro 22.

Cuadro 22. Análisis de varianza para peso húmedo –tipo III suma de cuadrados

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tratamiento	37493.2	3	12497.7	9.74	0.0001
B:micorriza	1191.37	1	1191.37	0.93	0.3425
INTERACTIONS					
AB	14611.9	3	4870.64	3.79	0.0196
RESIDUAL	41070.3	32	1283.45		
TOTAL (CORRECTED)	94366.8	39			

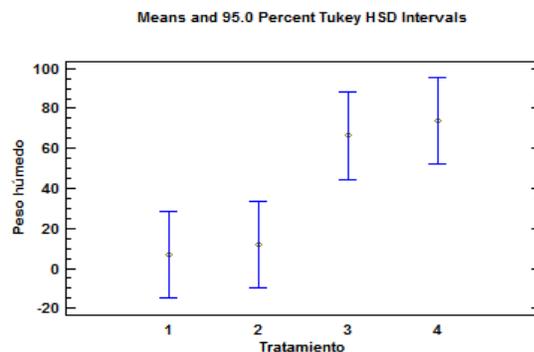
All F-ratios are based on the residual mean square error.

Los valores promedio más altos para peso húmedo en lechuga se encontraron en los tratamientos 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss sin micorriza) (104.0 g), y el de menor promedio fue para el tratamiento 1 (tierra negra sin micorriza) (6.0 g; gráfica 14). Las medias mostraron diferencias significativas entre los tratamientos 1-3, 1-4, 2-3 y 2-4 cuadro 23.

Cuadro 23. Prueba de contraste de medias

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
1 - 2		-5.2	43.4151
1 - 3	*	-59.6	43.4151
1 - 4	*	-67.35	43.4151
2 - 3	*	-54.4	43.4151
2 - 4	*	-62.15	43.4151
3 - 4		-7.75	43.4151

* denotes a statistically significant difference.



Gráfica 14. Peso húmedo en lechuga en cada uno de los sustratos, 1.- tierra negra; 2.- tierra negra, agrolita y tezontle, 3.- vermicomposta, agrolita y tezontle, 4.- vermicomposta, agrolita y peatmoss

De acuerdo al análisis de varianza se puede afirmar con un $p < 0.05$ que existe una diferencia entre los sustratos en el tamaño de la raíz en lechuga, se puede afirmar con un intervalo de confianza del 95% que no existieron diferencias significativas entre los sustratos que fueron micorrizados con *Rhizophagus intraradices* y aquellos que no fueron micorrizados, ni entre la interacción sustrato-raíz (cuadro 24).

Cuadro 24. Análisis de varianza para raíz – tipo II suma de cuadrados

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A: Tratamiento	22095.6	3	7365.2	13.29	0.0000
B: micorriza	1164.24	1	1164.24	2.10	0.1569
INTERACTIONS					
AB	3684.26	3	1228.09	2.22	0.1053
RESIDUAL	17728.8	32	554.026		
TOTAL (CORRECTED)	44672.9	39			

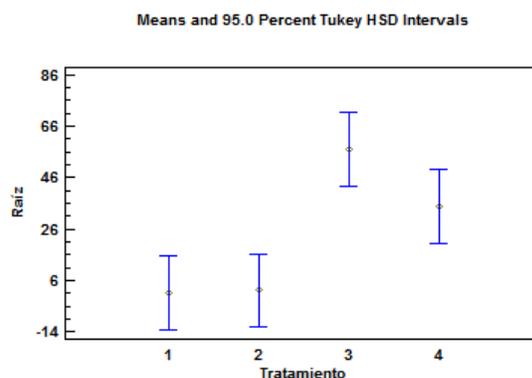
All F-ratios are based on the residual mean square error.

Los valores promedio más altos para raíz en lechuga se encontraron en el sustrato 3 (vermicomposta, agrolita y tezontle con micorriza) (85.0 g), y el de menor promedio fue para el sustrato 1 (tierra negra con micorriza) (2.0 g, gráfica 15). En cuanto a la prueba de contrastes de medias realizados se puede observar en la que existe una diferencia significativa entre los sustratos 1-4, 2-4 y 3-4 cuadro 25.

Cuadro 25. Prueba de contraste de medias

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
1 - 2		-0.91	28.5244
1 - 3	*	-55.89	28.5244
1 - 4	*	-33.56	28.5244
2 - 3	*	-54.98	28.5244
2 - 4	*	-32.65	28.5244
3 - 4		22.33	28.5244

* denotes a statistically significant difference.



Gráfica 15. Peso de raíz en lechuga, 1.- tierra negra; 2.- tierra negra, agrolita y tezontle; 3.- vermicomposta, agrolita y tezontle, 4.- vermicomposta, agrolita y peatmoss

En el cuadro 26 se puede observar el rendimiento obtenido para todas las variables en tomate.

Cuadro 26. Rendimiento del tomate

Tratamiento	Peso húmedo del vástago (g)		Peso húmedo de raíz (g)		Peso fresco de fruto (g)	
	cmc	smc	cmc	smc	cmc	smc
1	18	11	47	38	11	24
2	8	12	28	56	17	31
3	32	22	134	91	75	25
4	22	35	309	290	92	94

En peso húmedo del vástago (tallos y hojas) y de acuerdo al análisis de varianza se puede afirmar con un $p < 0.05$ que existió una diferencia significativa entre los sustratos, en cuanto a los sustratos que fueron micorrizados con *Rhizophagus intraradices* y aquellos que no fueron micorrizados no existió una diferencia significativa esto se puede afirmar con un intervalo de confianza del 95%, al igual que la interacción entre factores micorriza-peso húmedo cuadro 27.

Cuadro 27. Análisis de varianza para peso húmedo- tipo III suma de cuadrados

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A: Tratamiento	2495.8	3	831.934	3.38	0.0301
B: micorriza	0	1	0	0.00	1.0000
INTERACTIONS					
AB	730.758	3	243.586	0.99	0.4100
RESIDUAL	7874.62	32	246.082		
TOTAL (CORRECTED)	11101.2	39			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

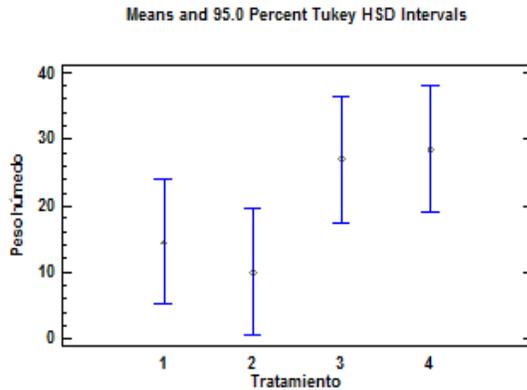
Los valores promedio más altos para peso húmedo en tomate se encontraron en el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss sin micorriza) (35.0 g), y el de menor promedio fue para el sustrato 2 (tierra negra, agrolita y tezontle con micorriza) (8.0 g).

En cuanto a la prueba de medias realizadas se puede observar en la gráfica 16 que existieron diferencias significativas entre los sustratos 1-3, 1-4, 2-3 y 2-4 cuadro 28.

Cuadro 28. Prueba de contrastes de medias

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
1 - 2		4.52	19.0104
1 - 3		-12.37	19.0104
1 - 4		-13.97	19.0104
2 - 3		-16.89	19.0104
2 - 4		-18.49	19.0104
3 - 4		-1.6	19.0104

* denotes a statistically significant difference.



Gráfica 16. Peso húmedo del tomate se aprecia la formación de dos grupos 1-2 y 3-4.

De acuerdo al análisis de varianza se puede afirmar con un $p < 0.05$ que existe una diferencia entre los sustratos en el peso del fruto. Mientras que en entre los sustratos con y sin *Rhizopagus intraradices* y entre la interacción micorriza-fruto no existió una diferencia significativa esto se puede afirmar con un intervalo de confianza del 95%, cuadro 29.

Cuadro 29. Análisis de varianza para peso del fruto– tipo III suma de cuadrados

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A: Tratamiento	35109.5	3	11703.2	6.07	0.0022
B: micorriza	310.249	1	310.249	0.16	0.6910
INTERACTIONS					
AB	6857.92	3	2285.97	1.19	0.3307
RESIDUAL	61701.1	32	1928.16		
TOTAL (CORRECTED)	103979.	39			

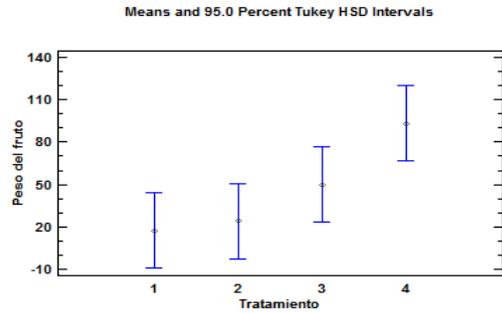
All F-ratios are based on the residual mean square error.

Los valores promedio más altos peso del fruto se encontraron en el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss sin micorriza) (94.0 g), y el de menor promedio fue para el sustrato 1 (tierra negra con micorriza) (11.0 g). En cuanto a la prueba de contrastes de medias realizados se puede observar en el cuadro 30 que existe una diferencia significativa entre los tratamientos 1-4 y 2-4 grafica 17.

Cuadro 30. Prueba de contraste de medias

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
1 - 2		-6.71	53.2137
1 - 3		-32.37	53.2137
1 - 4	*	-75.5	53.2137
2 - 3		-25.66	53.2137
2 - 4	*	-68.79	53.2137
3 - 4		-43.13	53.2137

* denotes a statistically significant difference.



Gráfica 17. Peso del fruto en tomate en cada uno de los tratamientos

De acuerdo al análisis de varianza se puede afirmar con un $p < 0.05$ que existe una diferencia entre los sustratos en el tamaño de la raíz en tomate, sin embargo entre los sustratos que fueron micorrizados con *Rhizophagus intraradices* y los tratamientos sin *Rhizophagus intraradices*, así como entre la interacción de factores micorriza-raíz no existe una diferencia significativa estadísticamente esto se puede afirmar con un intervalo de confianza del 95% cuadro 31.

Cuadro 31. Análisis de varianza para raíz – tipo III suma de cuadrados

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A: Tratamiento	443716.	3	147905.	22.83	0.0000
B: micorriza	1162.08	1	1162.08	0.18	0.6747
INTERACTIONS					
AB	6650.64	3	2216.88	0.34	0.7949
RESIDUAL	207286.	32	6477.69		
TOTAL (CORRECTED)	658815.	39			

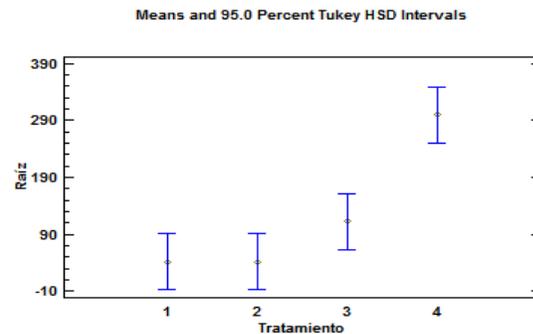
All F-ratios are based on the residual mean square error.

Los valores promedio más altos para raíz en tomate se encontraron en el sustrato 3 (vermicomposta, agrolita y tezontle con micorriza) (85.0 g), y el de menor promedio fue para el sustrato 1 (tierra negra con micorriza) (2.0 g) grafica 18. En cuanto a la prueba de contrastes de medias realizados se puede observar en el cuadro 32 que existe una diferencia significativa entre los tratamientos 1-4, 2-4 y 3-4.

Cuadro 32. Prueba de contraste de medias

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
1 - 2		0.11	97.5353
1 - 3		-69.85	97.5353
1 - 4	*	-257.38	97.5353
2 - 3		-69.96	97.5353
2 - 4	*	-257.49	97.5353
3 - 4	*	-187.53	97.5353

* denotes a statistically significant difference.



Gráfica 18. Raíz en tomate en cada uno de los tratamientos

Determinación de colonización endomicorrízica por el método de Phillips y Hayman (1970).

En el cuadro 33 se puede apreciar que la mayor colonización en lechuga se llevó a cabo en el sustrato 3 (vermicomposta, agrolita y tezontle con micorriza) con el (42 por ciento), mientras que el que menor porcentaje lo presentó el sustrato 2 (tierra negra, agrolita y tezontle sin micorriza) (0 por ciento). En cuanto al tomate la mayor colonización fue en el sustrato 1 con el (40 por ciento), mientras que el sustrato que presentó la menor colonización fue el 3 con el (9 por ciento).

Cuadro 33. Colonización total en lechuga y tomate

Sustrato	% Colonización total		% Colonización total	
	cmc	smc	cmc	smc
1	27	9	40	27
2	31	0	13	29
3	42	16	9	33
4	24	0	16	18

cmc= con micorriza *Rhizophagus intraradices*;

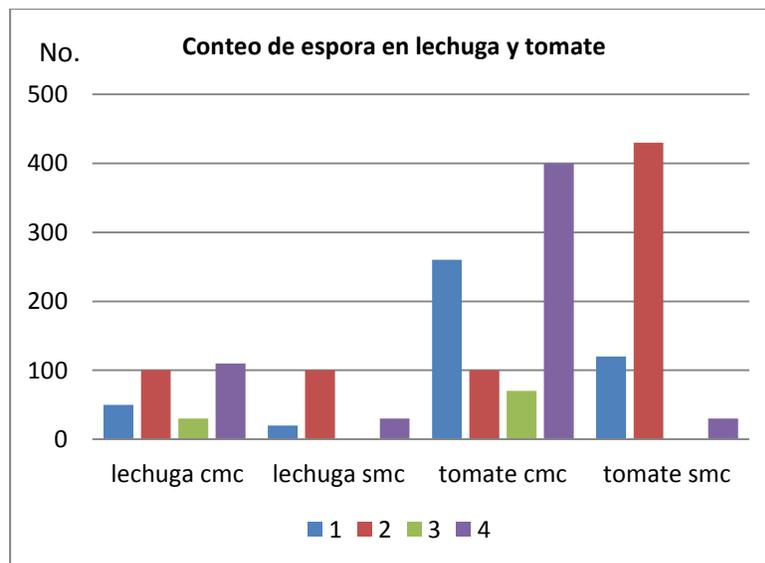
smc= sin micorriza *Rhizophagus intraradices*

Cuantificación del número de esporas

En el cuadro 34 se puede apreciar el número de esporas observadas en 100 g de suelo seco, en cuanto a lechuga el mayor número de esporas se encontró en el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss con micorriza) con 110 esporas, mientras que en tomate el sustrato 2 (tierra negra, agrolita y tezontle) fue el que reporto el mayor número de esporas con 430 esporas, el sustrato que obtuvo el menor número de esporas fue el 3 (vermicomposta, agrolita y tezontle sin micorriza) para ambas especies (gráfica 19).

Cuadro 34. Densidad de esporas en lechuga y tomate en 100 g de suelo seco.

Sustrato	lechuga cmc	lechuga smc	tomate cmc	tomate smc
1	50	20	260	120
2	100	100	100	430
3	30	0	70	0
4	110	30	400	30



Gráfica 19. Conteo de esporas en lechuga y tomate

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El sustrato que mostro los mejores resultados para ambas especies fue el 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss), estos resultados sugieren que los componentes del sustrato determinan propiedades como la DA, DR, CE, pH, MO y Nt. Los valores obtenidos para estas variables en el sustrato 4, lo muestran como un sustrato rico en materia orgánica, con pH ligeramente ácido y densidad adecuada para el crecimiento vegetal. Autores como Esteve (s/a), Zamora (2005) y Hernández, (2009) los consideran “valores ideales para sustratos”.

A partir de las DA se estima la porosidad del suelo, mismo que suele contener el volumen de aire y la cantidad de agua necesarios para que crezca bien la raíz de las plantas, en este trabajo en particular, todos los sustratos empleados mostraron buen porcentaje de espacio poroso (de 63 al 82%), en particular en el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss) que como lo sugieren Castillo (2007) y Hernández (2009) para sustratos orgánicos, un buen %EP debe ser del 75 al 89 %; los componentes del sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss) aumentaron el espacio poroso para que las raíces pudieran penetrar el sustrato y estos tuvieran buena capacidad de almacenamiento de agua en la zona radicular favoreciendo un alto establecimiento de las especies *Lactuca sativa* y *Physalis ixocarpa*. El sustrato (tierra negra, agrolita y tezontle) mostró el menor %EP (63%), y en él la lechuga no se logró establecer una causa fue la demanda nutricional de la especie, ya que el tomate si se estableció en este sustrato.

Los valores de pH obtenidos por el sustrato (vermicomposta, agrolita y peatmoss) favoreció la obtención de fósforo, así como la transferencia de nitrógeno del suelo a la planta en forma de nitrato. Además del pH se ha demostrado que la micorriza ayuda a la planta a utilizar el fosforo y nitrógeno del suelo (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000), en este caso, se encontró que los tratamientos con micorriza al final del experimento tuvieron menos nitrógeno en el sustrato, sugiriendo que las plantas lo utilizaron en mayor cantidad.

El hecho de que las plantas estuvieran en la azotea las sometió a estrés como, la presencia de organismos patógenos o plagas, exceso de radiación solar, entre otros y las micorriza arbuscular *Rhizophagus intraradices*, ayudo al establecimiento de las plantas, aquellas que fueron micorrizadas presentaron cualidades mayor vigor, mayor verdor y floración más temprana, además de mayor número de hojas en lechuga. Zepeda y col., (2010) obtuvo resultados similares en plantas de *Tagetes erecta* L. micorrizada con *Rhizophagus intraradices*, ellos obtuvieron un incremento significativo en el área foliar de las plantas micorrizadas estresadas con respecto a las plantas no micorrizadas también estresadas. Rubio y col., (1994) reportaron un efecto favorable en el desarrollo y precocidad de las plantas de lechuga y jitomate, cuando fueron micorrizadas con hongos del género *Glomus*. Asimismo, Alarcón y col. (1998) mencionan que las micorrizas contribuyen en la funcionalidad fisiológica de la planta hospedante, propiciando incrementos en su capacidad de crecimiento.

Aguas y col., (1995), Quiñones y col., (1998), Rodríguez y col., (1998), afirman que cuando se hace uso de sustratos en los cuales se incluye vermicomposta es posible mantener niveles óptimos de disponibilidad nutrimental para plantas que sean producidas en vivero. Alarcón y Ferrera-Cerrato, (1995) siguieron que el efecto de la vermicomposta o composta debe considerar que su uso en altas dosis podría provocar efectos negativos en las plantas, en este caso la vermicomposta favoreció el crecimiento y rendimiento en ambas hortalizas.

Con el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss) se obtuvieron las mayores alturas promedio, hojas más anchas, largas y el mayor diámetro de la roseta, en general, las plantas crecieron mejor que con el sustrato enriquecido con *Rhizophagus intraradices*, el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss sin micorriza) no debería de haber contenido hongos micorrízicos, sin embargo, se encontró una alto porcentaje de micorrización en las raíces de las plantas de lechuga, lo que pudo deberse a la presencia de insectos como los pulgones que atacaron al cultivo en todos los sustratos aunque en menor proporción que al tomate, Azcon y col. (1984) sugieren que los pulgones y otros insectos pueden ser vectores importantes en el acarreo de esporas de HMA entre macetas aledañas.

Además, cabe mencionar que la lechuga es una planta considerada micofila e incluso se le utiliza como planta trampa para propagar hongos micorrízicos como lo han señalado González-Chávez (1993). Por ello, será necesario volver a probar este sustrato evitando la presencia de la micorriza.

El sustrato que mostro los mejores resultados para las variables (altura, ancho, largo de la hoja y diámetro del tallo en tomate de cáscara) fue el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss sin micorriza) el cual presento plantas con raíces micorrizadas en un 18%, lo que mostro contaminación entre las unidades experimentales por la presencia de insectos como el pulgón, que ataco masivamente al cultivo de tomate, y/o al aporte de esporas de HMA provenientes de la atmosfera, ya que al tener el cultivo en azotea, las macetas estuvieron expuestas a fuertes corrientes de aire, e incluso al arrastre de partículas suspendidas que precipitan cuando llueve y que puede incluir esporas de hongos.

En lechuga crecida en el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss sin micorriza) mostro mayor rendimiento en biomasa húmeda (peso húmedo), biomasa seca (peso seco) y tamaño de la raíz (peso húmedo de raíz). En el experimento realizado por Álvarez y col, (s/a) en lechuga en el que se utilizó *Glomus fasciculatum* y sustrato organóponico con altos contenidos de materia orgánica (7.20 y 10.04 no observaron influencia de los biofertilizantes en el rendimiento de la lechuga, sin embargo, en el sustrato 4 los porcentajes de MO fueron mayores al 10 por ciento encontrando diferencias significativas en el rendimiento del cultivo en azotea.

Tapia (2003) menciona que la inoculación con hongos micorrízicos del genero *Glomus* incremento la colonización micorrízica en las plantas de lechuga al compararlas con una multicepa nativa, sin embargo en el volumen radical y el área foliar no reportaron incrementos. En este trabajo, la micorrización de lechuga ocurrió de manera natural e incluso supero a la micorrización inducida con *Rhizophagus intraradices*.

Liriano y Nuñez (2005) observaron que a medida que disminuyen los niveles de materia orgánica se incrementa la efectividad de los biofertilizantes, en particular de *Glomus fasciculatum* y *Azospirillum brasilense* probados en lechuga, en este experimento se encontró un resultado similar ya que los altos contenidos de MO inhibieron el efecto de la micorriza.

En el caso de tomate de cáscara, el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss) con y sin *R. intraradices* fue donde se obtuvo el mayor rendimiento en cuanto a peso húmedo, peso seco, biomasa total, peso del fruto, cantidad de frutos y tamaño de la raíz, a pesar de la invasión por el hongo *Oidium* “cenicilla” el cual tuvo su origen en las esporas dispersadas por las fuertes corrientes de viento existentes en la azotea. Al respecto Villanueva y Loya (1974) mencionan que la cenicilla es una de las enfermedades que más ataca al tomate de cáscara.

Cruz y col., (2009), mencionan que hay un efecto positivo en el desarrollo vegetativo y rendimiento de jitomate debido a la adición de vermicomposta, en este trabajo, de manera similar, el sustrato 4 que contenía vermicomposta y peatmoss fue el que promovió mayor rendimiento de tomate de cascara cultivado en azotea. Manjarrez y col., (1999) demostraron que la adición de diferentes dosis de vermicomposta con sin micorriza no afectó el desarrollo del chile serrano debido a la cantidad de MO presente, de manera similar a lo encontrado en este trabajo.

Velasco-Velasco y col. (2001) observaron que existe un efecto sinérgico en la combinación de vermicomposta + *Rhizophagus intraradices*, el cual superó al testigo (suelo agrícola sin inóculo) en peso seco total en 120 por ciento y en rendimiento en 26 por ciento, lo que sugiere que la vermicomposta y la micorriza arbuscular son una buena herramienta en la producción orgánica de tomate de cáscara; asimismo, Cruz, (2010) mostró que las mezclas con vermicomposta más solución nutritiva aumenta el rendimiento en tomate en comparación con las regadas con agua sin solución, estos resultados pudieran ser considerados en los modelos de manejo de los cultivos de tomate en azotea, a fin de incrementar el rendimiento.

CONCLUSIONES

Es factible la naturación de azoteas en zonas urbanas, con las especies propuestas (*Lactuca sativa* y *Physalis ixocarpa*)

La DA, EP, pH y MO mostradas por el sustrato 4 (vermicomposta, agrolita y peatmoss), sugieren que son adecuadas para el establecimiento de lechuga y tomate en la azotea naturada.

El mejor sustrato para ambas especies fue el compuesto por vermicomposta, agrolita y peatmoss, con el que se obtuvieron los mayores rendimientos para ambas especies. Con la aplicación de micorrizas se obtuvieron mejores resultados en el establecimiento en la azotea así como en cualidades como floración más temprana y mayor vigor de las plantas.

Se logró el establecimiento con las especies propuestas (lechuga y tomate) sin embargo en el caso del tomate, este fue plagado por el hongo “cenicilla”, por lo que se recomienda probar otra especie, o alguna planta medicinal.

Es posible la naturación de las azoteas con la utilización de micorrizas ya que permiten el establecimiento de las plantas en la azotea, además ayudan a la obtención de nutrientes, y acelera el proceso de floración.

El uso de vermicomposta permitió incrementar el rendimiento de ambas hortalizas.

La combinación de biofertilizantes (micorriza arbuscular *Rhizophagus intraradices*, y vermicomposta) permitió el establecimiento y un mayor rendimiento en el cultivo de hortalizas en la azotea naturada, además no fue necesario la utilización de fertilizantes químicos, ni abono adicional.

RECOMENDACIONES PARA TRABAJAR EN LA AZOTEA

- 1.- Trabajar por la mañana entre las 7 y 11 am o por las tarde después de las 5 pm.
- 2.- Siempre utilizar un sombrero o gorra
- 3.- Utilizar de preferencia camisa de manga larga
- 4.- Beber abundantes líquidos sobre todo si se trabaja en primavera-verano
- 5.- Los contenedores con los que se trabajen no deben ser muy grandes para que se puedan mover con facilidad.
- 6.- Así como escoger adecuadamente las especies a utilizar para que el follaje no se maltrate o se rompa y los cuidados no sea mayores.
- 7.- Colocar los contenedores a la altura de la cintura para evitar una lesión, al permanecer agachados por mucho tiempo, además de esta manera el control de plagas, así como la aplicación de fertilizantes y pesticidas pueda llevarse de manera eficaz.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Durán, C., Jiménez-Galindo M., Nava-Gómez, L., Villegas-Torres, O., (2009). Sustratos para Belen (*impatiens* sp) y su relación con la fertilización, en contenedor y bajo cubierta. Facultad de Investigaciones Agropecuarias, Universidad Autónoma de Morelos. Investigación Agropecuaria, Volumen 6, No. 2, 233-244.
- Aguas, R. T., Ferrera-Cerato, R., González C., Villegas-Monter, A. y Martínez G., (1995). Efecto del fósforo, vermicomposta, cachaza e inoculación micorrízica en el desarrollo de *Carica papaya* L. In: Tovar S., Ordaz, E., y Quintero (Eds.) La investigación edafológica en México, 1992-1995. Memorias XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria. Tamps. México, 106.
- Aguirre del Real, S., (1985). Aspectos microbiológicos de la lombricultura. Primera Jornada Nacional de Lombricultura. Universidad de Santiago de Chile, 11-13.
- Aguirre, J., Irizar, M., Durán, A., Grajeda, O., Peña, Ma., Loredó, C., Gutiérrez, A., (2009). Los biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico. Chiapas. México. Folleto Técnico, No. 5, 86.
- Alarcón, A., (1997). Manejo de la micorriza arbuscular a nivel de vivero. In: VI Congreso Nacional de Micología y IX Jornadas Científicas. Tapachula, Chiapas, México, 49.
- Alarcón, A. y Ferrera-Cerrato, R., (1995). Niveles de vermicomposta y endomicorriza arbuscular en el desarrollo de plántulas de *Casuarina equisetifolia* a nivel de vivero. In: Primera Reunión Internacional de Ecología Microbiana. Instituto Politécnico Nacional, CINVESTAV. México, D.F.
- Alarcón, A. y Ferrera-Cerrato, R., (1996). Dinámica de colonización y efectos de hongos endomicorrízicos sobre el crecimiento de *Casuarina equisetifolia* L. In: Pérez-Moreno, J. y Ferrera-Cerrato, R. (Eds.). Nuevos horizontes en agricultura: Agroecología y desarrollo sustentable. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo. México, 298-302.
- Alarcón, A. y Ferrera-Cerrato R., (1999). Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra Latinoamericana*, Vol. 17,

No. 003, 171-191.

- Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., Villegas-Monter, A. y Almaraz S., (1998). Efecto de la simbiosis micorrízica en la fotosíntesis de *Citrus volkameriana* Tan y Pasq. *In.* Zulueta, R., Escalona, A., y Trejo, A. (eds.). Avances de la Investigación Micorrízica en México. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México, 119-126.
- Alarcón, A. y Ferrera-Cerrato, R., (2000). Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. *Agricultura Técnica en México*, Vol. 26 No. 2, 191, 203.
- Alcántar, G. y Sandoval, V., (1999). Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal, Guía de Muestreo, Preparación Análisis e Interpretación, Publicación especial número 10 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C., Centro de Edafología Colegio de Posgraduados, 156.
- Anicua, S., (2008). Caracterización física y micromorfológica de materiales orgánicos e inorgánicos para la generación de mezclas de sustratos en la producción de lisanthus (*Eustoma grandiflorum*). Tesis doctoral. Colegio de Posgraduados. Montecillo. Texcoco. México, 198.
- Ansorena M. J., (1994). Sustratos, propiedades y caracterización. Mundi Prensa. Madrid. España, 172.
- Armenta-Bojórquez, A., García, C., Camacho, R., Apodaca, M., Montoya, L. y Nava, E., (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai. Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*. Universidad Autónoma Indígena de México. Mochicahui. El Fuerte. Sinaloa, 51-56.
- Atiyeh, R. M., Arancon, N., Edwards, C., and Metzger, J., (2000 b). Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *BioresTechnol*, No. 75, 175-180.
- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. and Metzger, J., (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Biores Technol*, Vol. 84, 7-14.
- Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C., Bachman, G., Metzger, J. and Suster, W., (2000a). Effects of vermicomposts and composts on plant grow thin horticultural container media and soil. *Pedobiología*, Vol. 44, 570-590.

- Azcon-Aguilar, C., y Barea, J., (1997). Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. *Aust. J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, No. 68, 1-24.
- Azcon-Aguilar, C., Barea, J. y Roldan-Fajardo., (1984). Avances recientes en el estudio de las micorrizas VA II: Factores que afectan su formación y función y su aplicación en la agricultura. *Anales de Edafología y Agrobiología*. Granada. España, 954-958.
- Bago, P., Romero, A., Romero, C. y Purificación, C., (2011). Hongo formador de micorrizas arbusculares y su uso para estimular el crecimiento de plantas. Oficina Española de Patentes y Marcas. España, 1- 20.
- Barea, J., Azcón, C., Ocampo, J. y Azcón, R., (1991). Morfología, anatomía y citología de las micorrizas vesículo arbusculares, En: Olivares, J., Barea, (Eds.) Fijación y movilización biológica de nutrientes, Vol. II, Capítulo 17. Fijación de N. micorriza. Madrid. Consejo Superior de Investigaciones científicas.
- Bastida, A., (2002). Sustratos hidropónicos. Materiales para cultivo sin suelo. Serie de publicaciones AGRIBOT. UACH. Preparatoria Agrícola. Chapingo. México, 12.
- Boente, I., (1999). Naturación Urbana en el Ámbito Internacional. Capítulo I. Naturación Urbana: Cubiertas Ecológicas y mejora Medioambiental. PRONATUR. España, 13-25.
- Bolan, (1991). A critical review on the role of mycorrhizal. *Application in agriculture*. In *Methods in microbiology*. Academic press Ltd., London, Vol. 24, 359-373.
- Brown, M., Carr, G., (1984). Interaction between *Azobacter Chroocum* and vesicular arbuscular mycorrhiza and their effects on plant growth. *J. Af Applied Bacteriology*, 56(3): 429-437.
- Brown, Barois and Lavallo., (2000). Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the driolosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *Eur. J. Soil Biol*, No. 36, 177-198.
- Brundrett, M., (2009). Mycorrhizal associations and others means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of lost plants by resolving

- conflicting information and developing reliable means of diagnosis. *Marschner Review. Plant Soil*, Vol. 320, 37-77.
- Búres, S., (1997). Sustratos. Ediciones Agrotécnicas, España, 341.
- Cabrera, R., (1999). Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 5(1): 5-12.
- Canellas, L., Olivares, F., Okorokova-Facanha, A. and Facanha, A., (2002). Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence and Plasma Membrane H⁺-ATPase Activity in Maize Roots. *Plant Physiol.* Vol. 130 No. 4, 1951-1957.
- Cano, G. y Marroquín, J., (1994). Taxonomía de plantas superiores. Editorial Trillas. México, 359.
- Carneiro, M., Siqueira, J., Moreira, F., De Carvalho, D., Botelho, S. y Orivaldo, J., (1998). Occurrence of the arbuscular mycorrhizal in native woody species in southeastern Brazil. *CERNE*, Vol. 4, No. 1, 129-144.
- Carvajal, J. y Mera, A., (2010). Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción + Limpia*, Vol. 5, No. 2, 78-96.
- Corpeño, B., (2004). Manual del Cultivo del Tomate. Centro de Inversión, Desarrollo y Exportación de Agronegocios. San Salvador, 38
- Cruz Crespo Elia., (2010). Mezclas de vermicompost y Tezontle, diseñadas mediante un programa de optimización en SAS, para el cultivo de tomate bajo invernadero e hidroponía. Tesis. Doctoral. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco, México.
- Cuanalo de la Cerda., (1990). Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. Tercera Edición. Centro de Edafología: colegio de postgraduados, Chapingo, México.
- Davies Jr, Estrada-Luna, A., Finnerty, T., Egilla, J., and Olalde-Portugal, V., (2000). Applications of mycorrhizal fungi in plant propagation systems. *In: Alarcón, A. y Ferrera-Cerrato, R., (Eds.). Investigación de la simbiosis micorrízica en México. Colegio de Postgraduados.*

- Díaz F., (2009). Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero, *In: Sánchez, R., Moreno, R., Puente, M. y Araiza, Ch. (Eds.) Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura, Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción Torreón. Coah. México. Octubre 13, 14 y 15 del 2004. Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad de Guanajuato, 44-68.*
- Díaz V., P., (1998). Biofertilización del cultivo de lechuga (*Lactuca saliva* L.) con bacterias promotoras del crecimiento, micorriza arbuscular y vermicomposta. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Programa de Edafología. Montecillo. Edo de Méx.
- Dominguez, J., Edwards, E., Subler, S., (1997). A comparison of vermicomposting and composting. *BioCycle* 38 No. 4, 57-59.
- Dommergues Y. R., (1978). Impact on soil management and plant growth. In: Interactions between non-pathogenic soil microorganisms and plants. Dommergues and Krupa (Eds.) *Elsevier. The Netherlands*. 443-458.
- Duran, L. y Henríquez C., (2007). Caracterización física, química y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 31 No. 1, 41-51.
- Fernández, R., (2004). Publicidad: Un enfoque latinoamericano. México, Thomson, 179.
- Ferrera-Cerrato, R y Alarcón, A., (1998). Importancia de la simbiosis en la agricultura. Programa y Resúmenes. Segundo Symposium Nacional de la Simbiosis Micorrízica. 4-6 de noviembre de 1998. Colima, Col., México, 1-2.
- Ferrera-Cerrato, R. y Alarcón, A., (1999). Biotecnología de los hongos micorrízicos arbusculares en la producción de plantas de cítricos. *Horticultura Mexicana*, 7:203.
- Ferrera-Cerrato, R., (1993). Manual de Agromicrobiología. Editorial Trillas, Capítulo 3, 93-135.
- Ferrera-Cerrato, R., González-Chávez, M. y Manjarrez, M., (1999). Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. *Terra Latinoamericana*, Vol. 17, No. 001, 9-15.
- Font Quer, P., (1977). Diccionario de Botánica. 6a. reimpresión. Editorial Labor, S. A.

Barcelona España, 1244.

- Gagreda-Cabrera, O., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, A. y Vera-Nuñez, J., (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*, Vol. 3, No. 6, 1261-1274.
- García Díaz M., (2009). La naturación de azoteas en la ciudad de México, Propuesta de Campaña Publicitaria. Tesis. Licenciatura en Ciencias de la Comunicación. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. Ciencias de la Comunicación. Ciudad Universitaria. México D. F., 90.
- García, V., (2011). La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas. Tesis de Maestría y Doctorado en Arquitectura, Universidad Autónoma de México. Facultad de Arquitectura, 133.
- González, G., (2001). Eficiencia agronómica residual de tres fertilizantes orgánicos en el cultivo de maíz dulce. Reunión Interamericana de Ciencias Hortícolas. *Horticultura Mexicana*, No. 8, 63.
- González, A. y González, J., (1999). El entorno humano de la jardinería urbana. Capítulo 6, Naturación Urbana: Cubiertas Ecológicas y mejora Medioambiental. PRONATUR. España, 133-155.
- González-Chávez, M., Ferrera-Cerrato, R. y Pérez-Moreno, J., (1998). Biotecnología de la micorriza arbuscular en frutales. Universidad Autónoma de Tlaxcala y Colegio de Postgraduados. Tlaxcala, Tlax., México.
- González-Chávez, M., (1993). Manual de Agromicrobiología. Editorial Trillas, Capítulo 1, 135.
- Guerrero, F., y Masaguer, A., (1999). Utilización de sustratos en la naturación urbana. Capítulo 10, Naturación Urbana: Cubiertas Ecológicas y mejora Medioambiental. PRONATUR. España, 215-229.
- Gunter, M., (2008). Huertos Orgánicos Urbanos en Azoteas, Terrazas y Patios Traseros. Guía ¿Cómo hacerlo?, Perú, 62.
- Hernández, B y León, J., Editores., (1992). Cultivos marginados, otra perspectiva de 1492. Colección FAO. Producción y protección vegetal. Roma, No. 26, 339.
- Hernández, F. y Jiménez, O., (2003). Uso de la tierra de hoja en la producción de planta ornamental: caso Xochimilco. Tesis de licenciatura. Universidad

- Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. Ingeniero en Restauración Forestal. Chapingo. Texcoco. Estado de México, 106.
- Hernández, J. L., (2009). Propiedades hídricas en mezclas de sustratos con diferentes proporciones y tamaños de partícula. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco. México, 94.
- Huacuja, V., (2009). Evaluación de sustratos para la producción de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) bajo invernadero, en Zamora, Mich. Tesis. Ingeniero Agrónomo en la especialidad de parasitología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología. "Presidente Juárez". 77.
- Hudson, T. y Kester. D., (1999). Propagación de plantas: principios y prácticas. Séptima reimpresión. Ed. Compañía Editorial Continental, México.
- Iracheta, Farah., (2008). Cubiertas ecológicas, ventajas socioeconómicas y medioambientales + sus aplicaciones y su importancia en el proyecto de renovación de ciudad. Arquitectura y Sostenibilidad herramientas de diseño y técnicas de control medioambiental. Universidad Politécnica de Catalunya. España, 46.
- Islas, A., (2006). Efecto de la fertilización y riego con aguas negras en la calidad poscosecha de tomate de cáscara, (*Physalis ixocarpa* Brot.) var. Titán. Tesis. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencia Agropecuarias, 99.
- Jackson, (1976). Análisis químico de suelos. Editorial Omega, S. A., Barcelona, 662.
- Kale, R., Mallesh, B., Bano, K., and Baggaray, D., (1992). Influence of vermicomposta application on the available macronutrients and selected microbial populations in a paddy field. *Soil Biology and Biochemistry*, No. 24, 1317:1320.
- Kapulnik, Y. and Y. Okon., (2002). Plant growth promotion by rhizosphere bacteria. In: Waisel, Y., Eshell, A. and Kafkafi, U. (Eds.) Plant roots, the hidden half. Third edition revised and expanded. Marcel Dekker New York, 869-895.
- Kolmans, E. y Vázquez, D., (1999). Manual de agricultura Ecológica: Una introducción a los principios básicos y su aplicación. Grupo de Agricultura Orgánica de la Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales

- (ACTAF). Cuba, 157.
- Liriano, R. y Nuñez, D., (2005). Efectividad de diferentes niveles de materia orgánica y biofertilizantes a base de (*Azospirillum* y micorrizas) en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en condiciones de organopónico. Centro Agrícola, año 32, número 2, Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” Cuba, 1-8.
- Maldonado, M., (2010). Desarrollo de plántulas de portainjertos cítricos, en tubetes con diferentes sustratos y soluciones nutritivas. Tesis de Maestría. Colegio de postgraduados. Postgrado en edafología. Campus Montecillo Texcoco. México, 96.
- Manjarrez, M., Ferrera-Cerrato, R. y González, M.,(1999). Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. *Terra latinoamericana*, enero-marzo, año/vol. 17. No. 001. 9-15.
- Martínez, J.,(2010). Impacto de la naturaleza urbana próxima. Tesis doctoral, México D.F. UNAM.
- Martínez Alfaro, M. A.,(1991). Ecología. México, UNAM. 186.
- Marschener, H. y Dell, B., (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant Soil*, 159: 89-102.
- Melgares de Aguilar, J. y González, D., (2003). Uso de micorrizas en cultivo ecológico de lechuga iceberg. Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia. Oficina Comarcal Agraria Huerta de Murcia. España, 193-196.
- Montero, J.,(2007). Babilonia y Nabucondonosor: Historia Antigua Tradición Viva. Bosquejo sobre su realidad histórica y su presencia en el cortejo bíblico de Lorca (Murcia). *Alberca* No. 5, 171-188.
- Neuhauser, E., Loehr, R. and Malecki, M., (1988). The potencial of earthworms for managinig sewage sludge. En *Earthworms in Waste and Environmental Management*. SPB. Academic Publishing.7-16.
- Orozco, F., Cegarra, L., Trujillo and Roig, A., (1996). Vermicompostinf of coffee pulp using earthworm *Eisenia foetida*: Effects on C and N contents and availability of nutrients, *Biology and Fertility of Soils*. No. 22, 162-166.
- Pastor, J., (1999). Utilización de sustratos en viveros. *Terra*, Vol. 17, No. 3, 231-235.

- Pattinsib, S., Hammil, K., Sutton, B. and McGee, P., (1990). Simulated fire Reduces the density of arbuscular mycorrhizal at the soil surface. *Mycol Rev.* 1990; 103; 491-496.
- Peñaloza R., (2011). Manual para la naturación de una azotea urbana. Reporte de Servicio Social de la carrera de Biología, 64.
- Pereira, M. y Zezzi-Arruda, M., (2003). Vermicompostas a natural Adsorbent Material: Characterization and Potentialities for Cadmium Adsorption. *J. Braz. Chem. Soc.*, Vol. 14 No. 1, 39-47.
- Pérez, M., y Granados, A., (2001). Fertilización nitro-fosfórica en tomate de cáscara *Physalis ixocarpa* Brot., de riego, en Irapuato, Gto., México. *Acta Universitaria*, Vol. 11 No. 001, Universidad de Guanajuato, 19-25.
- Quiñones, A., Trejo, A., Aguas, R. Ferrera-Cerrato, R. y González-Chávez, M., (1998). Hongos endomicorrízicos arbusculares y diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de papaya (*Carica papaya* L.) en vivero. *In: Zulueta R., R.; Escalona A., M. Y Trejo A., D. (Eds.). Avances de la Investigación Micorrízica en México.* Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver., México. 127-140.
- Reyes A., Ferrera-Cerrato, R., Cortés F., y Alarcón, A., (1999). Efecto de la endomicorriza arbuscular, bacterias y vermicomposta en portainjertos de aguacate en vivero. *In: Programa y Resúmenes. IV Congreso Mundial del Aguacate.* Uruapan, Mich., México, 216-217.
- Reyes-Alemán, J., Ferrera-Cerrato, R., y Alarcón, A., (2001). Endomicorriza-arbuscular, bacterias y vermicomposta en plántulas de aguacate en vivero. Resultados preliminares. Fundación Sánchez Colín CICTAMEX. S.C Coatepec Harinas. Estado de México. Departamento de Ecología, 55-63.
- Rodríguez, E., Mejía, M., Ferrera-Cerrato, R., Ruíz, S., y Alarcón, A., (1998). Hongos micorrízicos arbusculares, vermicomposta y fertilización en el manejo de gerbera (*Gerbera jamesonii*). *In: Programa y Resúmenes. Segundo Symposium Nacional de la Simbiosis Micorrízica.* 4-6 de noviembre de 1998. Colima, Col., México. 55.
- Romero, U., (2004). Efecto de la preparación de suelo y micorrización sobre el

- establecimiento de *Prosopis alba* y *Prosopis chilensis*, en higueritas unidas, cuarta región. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Escuela de Ciencias Forestales. Departamento de Silvicultura, 41.
- Rubio, R., Uribe, R., Borie, F., Moraga, E. y Contreras, A., (1994). Micorrizas vesículo-arbusculares (VA) en horticultura, Velocidad de infección en lechuga (*Lactuca sativa* L.) y Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y su incidencia sobre el desarrollo del cultivo. *Agricultura Técnica*, Chile Vol. 54 No. 1, 7-14.
- Rzedowski, J., (1985). Flora fanerogámica del Valle de México. Volumen II *Dicotyledoneae*. Instituto Politécnico Nacional, México.
- Salvo. E., (1994). Naturaleza urbanizada, estudios sobre el verde en la ciudad. España. Universidad de Málaga, 95.
- Sánchez-Colín M. J., (2005). Micorrizas aspectos generales. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México, 96.
- Santiaguillo, H., Peña L., Montalvo y Uribe A., (2000). El cultivo del tomate milpero en Villa Purificación, Jal. Boletín de divulgación No. 5., Programa Universitario de Investigación y Servicio en Olericultura. Depto. de Fitotecnia UACH. Chapingo. Estado de México, 31.
- Saray, M. y Loya C., (1977). Tomate de cáscara. Algunos sobre su fisiología e investigación. CAE. Zacatepec. Mor. CIAMEC-INIA-SARH.
- SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos., (1978). "Rendidora" Una nueva variedad de Tomate de cáscara, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Campo Agrícola Experimental Zacatepec. Folleto de Divulgación, No. 73 1-11.
- Schippers, B., Bakker, A. and Bakker. A., (1987). Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and the effect of cropping practices. *Ann. Rev. Phytopathol.* No. 25.339-358.
- Shafir, G., Boyer, J. and Gerdeman, J., (1972). Nutrient status and mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Plant Physiol*, No. 49, 700-703.
- Siddiqui, Z., (2008). Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry. Springer. India. 356.

- Soto, G. y Muñoz, C., (2002). Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost y su empleo en la agricultura orgánica. *Manejo Integrado de Plagas*. Costa Rica. Vol. 65,123-129pp.
- Steverding, E., (1991). Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. *GTZ. Alemania*. 371.
- Subler, S., Edwards, C. and Metzger, J., (1998). Comparing vermicomposts and composts. *BioCycle*. 63-66
- Suquilanda, M., (2003). Manejo Integrado de plagas en el cultivo de arroz, Proyecto manejo adecuado de plaguicidas. Organización Mundial de la Salud. Organización Panamericana de la Salud. 39.
- Tapia, J., (2003). Identificación de hongos micorrízicos arbusculares aislados de suelos salinos y su eficiencia en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Tesis. Doctorado en Ciencias. Área biotecnología. Universidad de Colima. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, 137.
- Tapia, J., Ferrera-Cerrato, R., Varela, Y., Rodríguez, J., Lara, J., Wood, J. y Cisneros, R., (2007). Inoculación con una multicepa de la micorriza arbuscular en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). XII Congreso nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. 14 al 17 de agosto de 2007. Zacatecas, Zac. México. *Olericultura*, 167.
- Tomati, U., Galli, A., Grappelli and Dihena., (1990). Effect of earthworm cast on protein synthesis in radish (*Raphanus sativum*) and lettuce (*Lactuca sativa*) seedling. *Biology and Fertility of Soils*. No. 9, 288-289
- Tovar-Franco, J., (2006). Selección en invernadero de inóculos de micorriza arbuscular (MA) para el establecimiento de la alfalfa en un andisol de la sabana de Bogotá. *Universitas Scientiarum*. Revista de la Facultad de Ciencias, Vol. 11, 87-103.
- Uribe, G. y Dzib, E., (2006). Micorriza Arbuscular (*Glomus intraradices*); *Azospirillum brasilense* y Brassinoesteroide en la producción de maíz en suelo luvisol., *Agricultura Técnica en México*, Vol. 31 No. 1 Enero- Abril 67-76pp.
- Velasco-Velasco, J., Ferrera-Cerrato, R. y Almaraz-Suárez, J., (2003). Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de

- cáscara. *Terra*, 19 No. 3. 123-129.
- Villanueva, E. y Loya, J., (1974). El cultivo de tomate de cáscara en el estado de Morelos. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas de la Mesa Central. Campo Agrícola Experimental de Zacatepec, Mor., 1-12.
- Villar, J., Peña-Lomelí, A., Castro, R., Castillo, A., Galvis, A., Ramírez, F. y Becerra, P., (2006). Efecto de tres sustratos y dos colores de plástico en el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*. Vol. 12 No. 2. 153-158.
- Zamora, B., Sánchez, P., Volke, V., Espinoza, D. y Galvis, A., (2005). Formulación de mezclas de sustratos mediante programación lineal. *Interciencia*. Venezuela. Vol. 30 No. 6:365-369.
- Zúñiga, M., (2009). Guía Técnica Abonos Orgánicos. Instituto para el desarrollo y la Democracia (Ipade). Nicaragua, 57.
- Agencia de Protección Ambiental, (s/a). Construcción Sustentable del Gris al Verde., Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Folleto, 18pp. Disponible en: www.estatico.buenosaires.gov.ar/.../construccion/cubiertas_verdes.pdf consultado el 1/02/2011
- Álvarez, J., Santos, M., Díaz, C., González, M. y Laurencio, M., (s/a). Resultados de la aplicación de Micorrizas y *Azospirillum*, en dos condiciones de sustrato de organóponico, en siembras tempranas, óptimas y tardías de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”. Cuba. Disponible en <http://aplicaciondemicorrizas yazospirillum> e-mail: jorge.alvarez@umcc.cu Consultado el 17/02/2012.
- CEUTA, Centro Uruguayo de Tecnologías Apropriadas., (2006). Biofertilizantes, nutriendo cultivos sanos, Montevideo, 50pp. Disponible en: <http://www.tecnologiasapropiadas.com/biblioteca/CeutaBiofertilizantes.pdf>. Consultado el 30/01/2013.
- Colegio de Ciencias Agrícolas. (s/a). Definición de Horticultura. <http://www.colegiodecienciasagricolas.com/horticultura> consultado el 12/01/2013.

Coordenadas geográficas de la FES Zaragoza, disponible en:
http://toolserver.org/Jard%C3%ADn_Bot%C3%A1nico_Medicinal_%22De_la_Cruz-Badiano%22_UNAM_FES_Zaragoza consultada el 10/01/2013

Cubiertas verdes disponible en:

http://www.fiberglasscolombia.com/sh_cubiertasverdes.asp?menuid=399 consultada el 21/01/2012.

Cruz-Lázaro, E., Estrada-Botello, MA., Robledo-Torres, V., Osorio-Osorio, R., Márquez-Hernández, C., Sánchez-Hernández, R., (2009). Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. Universidad y Ciencia: Trópico Húmedo Vol. 25, No. 1, 59-67. Disponible en www.ujat.mx/publicaciones/uciencia consultado el 26/02/2012

Day, L. (2001). The city naturalist—earthworms. Disponible en <http://www.nysite.com/nature/fauna/earthworm.htm> consultada el 22/02/2013

Ecotono Urbano, S. de R.L. de C.V., (2008). Biozoteas, Recuperación de Espacios Verdes, Disponible en: www.biozoteas.com consultado el 01/02/2011.

Esteve, J., (s/a). Huerto Ecológico en Balcones y Terrazas. Un huerto en casa. Programación de Cursos huertos Ecológicos. Actividad subvencionada por Caja Mediterráneo. Disponible en: www.ecojardines.eu. Consultada el 30/11/2011.

López, J., (s/a). El cultivo de tomate de cáscara. Disponible en www.tecnoagro.com.mx consultado el 14/03/2012

Naeve, L., (2002). El huerto de hortalizas en parcelas pequeñas. Guía de Horticultura de Iowa State University., Disponible en: <http://www.extencion.iostate.edu/pubs>. Consultado 22/01/2012

Paisajismo urbano, s/a. Nace el paisajismo urbano 2006. Disponible en: www.paisajismourbano.com consultado el 24 de febrero de 2011.

Producción de lechuga., (2011). Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/> consultado el 15/02/2011.

Producción de tomate., (2011). Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/> consultada el 5/09/2012.

Restrepo, J., (s/a). Agricultura Orgánica: principios, objetivos y estrategias.

Disponible en: jairoagroeco@telesat.com.co consultada 21/01/2012.

Rhizophagus intraradices. Disponible en <http://www.INRA.GlomusDB> consultado el 23/01/2013.

SAGARPA., (SIAP) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2011) disponible en línea en: (<http://www.siap.gob.mx>, 2011) consultado a 14/02/2012

Sicilia J., (2011). La Naturación Urbana Cobra Una Especial Importancia Ya Que Actúa Como Elemento Corrector De Las Carencias De La Presencia Del Paisaje. *AI*. No. 58. 4-8pp. Disponible en: www.andimat.es/.../d-joaquin-sicilia-arquitecto-sicilia-y-asociados. Consultado 22/01/2013.

Theodoracopoulos, M., Lardizabal, R. y Arias, S., (2009). Manual de producción: Producción de lechuga. Entrenamiento y Desarrollo de agricultores (EDA), Cuenta del Desafío del Milenio Honduras) MCA-Honduras, 36. Disponible en: eda@fintrac.com , www.hondurasag.org, www.fintrac.com. Consultado el 14/03/2012.

Tisserant, E. y colaboradores., (2011). The transcriptome of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* (DAOM 197198) reveals functional tradeoffs in an obligate symbiont. *New Phytologist*. No. 193, 755-769. Disponible en: www.newphytologist.com consultado el 20/05/2013

Servicio meteorológico nacional, clima de Iztapalapa, D. F. Disponible en: (<http://serviciometereologicoconacionalmexicano>), consultado el 28/01/2013.