



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

Estudio comparativo del efecto de un fertilizante sintético y de la lombricomposta en un cultivo biointensivo de lechuga (*Lactuca sativa* *L. var. longifolia*) en condiciones de invernadero

T E S I S

Que para obtener el título de:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

Marcela Monserrat Mendoza Carrizales

Director de Tesis:

Biol. Víctor Manuel Esparza Martínez

Planta piloto y laboratorio para la enseñanza en la producción de hongos comestibles y medicinales cultivados, jardín botánico

LOS REYES IXTACALA, TLALNEPANTLA, ESTADO DE MÉXICO 2015





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## AGRADECIMIENTOS

Principalmente a mi familia por apoyarme siempre y en todo momento.

A mi asesor de tesis Víctor Manuel Esparza Martínez por su infinito apoyo en todos los aspectos, pues además de proporcionarme conocimientos académicos también me brindó grandes enseñanzas de vida.

A todos mis sinodales que me brindaron sus conocimientos y experiencias útiles para la elaboración de este proyecto.

Al profesor Alfonso Soler Aburto por su tiempo y enseñanzas en la realización de los análisis fisicoquímicos de suelo.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
MARCO LEGAL.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
ANTECEDENTES .....	7
JUSTIFICACIÓN.....	9
HIPÓTESIS .....	9
OBJETIVOS .....	9
General.....	9
Particulares.....	10
MATERIAL Y MÉTODOS.....	10
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	12
RESULTADOS.....	13
Fase I.....	13
Fase II. ....	14
Variables de producción por Unidad Experimental.....	15
Variables de producción por planta.....	18
Variables de producción adicionales.....	22
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	26
Fase I.....	26
Fase II. ....	27
CONCLUSIONES.....	32
BIBLIOGRAFÍA.....	33

## RESUMEN

Ante la contaminación ambiental provocada en parte por el uso de plaguicidas en la agricultura convencional y a la demanda de productos orgánicos que ha ido en aumento, se ha propuesto a la lombricomposta como una opción para utilizarla en la agricultura orgánica para la producción de hortalizas con interés comercial, nutricional, gastronómico y medicinal, como la lechuga. Por esta razón y ante la falta de información existente para este tipo de hortaliza, se realizó la comparación del efecto entre la lombricomposta y un fertilizante sintético en producción biointensiva de lechuga. Y se encontró un promedio de germinación en peat moss de 5.6 días, 37.5 días en promedio para presentar la cuarta hoja y se obtuvo un porcentaje promedio de mortalidad de 23.9% y de viabilidad de 76.1%. Así mismo, se realizó un análisis fisicoquímico a la tierra negra y la lombricomposta en el que se midieron variables tales como: densidad real y aparente, porcentaje de porosidad, humedad, pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno total, fósforo asimilable y potasio intercambiable, encontrando en su mayoría altos valores de acuerdo a los criterios de Muñoz *et al.*, 2012. Sin embargo, al analizar los resultados de las variables de producción estudiadas, se encontró que con excepción de la altura, en la que la lombricomposta produjo el mayor efecto en las lechugas, las variables de producción restantes como: el peso total de lechugas y del vástago por Unidad Experimental (U.E.), peso por planta, peso y tamaño de la raíz, área foliar y número de hojas, obtuvieron sus mayores valores con la aplicación del fertilizante sintético.

## **INTRODUCCIÓN**

A lo largo de la historia, la agricultura ha sido la actividad más importante del hombre, sin embargo en los 70's se comenzó a percibir la pérdida de fertilidad del suelo y la resistencia de las plagas a los agroquímicos, por lo que en los años 80's se dio inicio a la producción y consumo de productos orgánicos (García-Quijano y Santiago-Galdeano, 2011).

Ante la preocupación existente por la contaminación y degradación del ambiente, desencadenado en parte por el uso de fertilizantes y otros compuestos químicos en la agricultura convencional, el hombre ha exigido una mayor calidad y sanidad de sus alimentos, lo cual ha provocado en todo el mundo un aumento en la demanda de productos orgánicos, pues su producción representa una solución a los problemas ambientales; contribuyendo a la conservación de los recursos naturales, y al mejoramiento de la calidad de los alimentos (Soto G. y Muschler R., 2001).

Un método actualmente utilizado para llevar a cabo la agricultura orgánica, es el método biointensivo, que se puede definir como la producción intensiva de alimentos a pequeña escala durante todo el año, y está basado en prácticas sostenibles que permiten el reciclaje de los desechos para la producción de sustratos orgánicos, lo cual favorece la obtención de altos rendimientos en los cultivos de la misma condición, en comparación al sistema tradicional (Gómez-Álvarez *et al.*, 2008).

Uno de los objetivos de la agricultura orgánica es utilizar al máximo los recursos de la finca, dándole énfasis a la fertilidad y la actividad biológica del suelo, además busca minimizar el uso de los recursos renovables y no utilizar fertilizantes y plaguicidas sintéticos para proteger el medio ambiente y la salud humana (Mikkel, 2003). Así mismo, los productos orgánicos se caracterizan por tener un mejor sabor y frescura, lo cual se refleja en el aumento de las ventas de estos productos (Gómez-Cruz *et al.*, 2003).

En México, como una respuesta a la demanda externa y debido a que presenta un clima que le permite cultivar productos (sobre todo tropicales y de invierno) que en otras partes del mundo no se pueden, se comenzaron a desarrollar sistemas de producción orgánica. De ésta manera en el 2005 se contaba con 307 mil 692 ha. destinadas a producir alimentos orgánicos que aumentaron a 395 mil 269 ha. en 2008. Con esto el país ocupa a nivel mundial el puesto 16 respecto a la superficie orgánica, y el 3° con respecto al

número de productores que aumentó de 83 mil 174 en 2005 a 130 mil en 2008 (García-Hernández *et al.*, 2010).

Además existen más de 160 productos orgánicos generados, entre los que se destacan el café, frutas tropicales, hortalizas, maíz azul, mermeladas, neem y el tequila orgánico (Martínez-Salazar *et al.*, 2011).

No obstante, aunque la agricultura orgánica es vista como una de las mejores opciones para mitigar los impactos negativos que ha dejado la agricultura convencional, en México se presentan una serie de problemáticas que obstaculizan su desarrollo.

Una de ellas, es el incremento de la demanda de los alimentos y de materias primas vegetales debido al crecimiento demográfico de la población, que aumentó de 103, 263, 338 millones de habitantes en 2005 a 112, 336, 538 millones en 2010, siendo las entidades más habitadas el Estado de México, el Distrito Federal y Veracruz (INEGI, 2013).

Otra problemática tiene que ver con el alto precio de estos productos en comparación con los productos agrícolas no orgánicos, que a pesar del aumento de la producción de alimentos orgánicos, la oferta de los mismos aun es muy limitada en relación a su demanda; además la cadena de comercialización y distribución de los productos orgánicos es en cierta forma ineficiente, y los costos son más elevados por tratarse de volúmenes relativamente pequeños, que al mismo tiempo requieren más mano de obra por unidad de producción (Mikkil, 2003).

Además, los agricultores y las empresas dedicadas a actividades poscosecha que tratan de vender sus productos en países desarrollados, deben contratar a una empresa de certificación para que realice inspecciones anuales y confirme que esas exportaciones y empresas, se ajustan a las normas orgánicas establecidas por los diversos interlocutores comerciales. El costo de este servicio puede ser caro, aunque varía en función del tamaño de la granja, el volumen de la producción y la eficiencia de la organización de certificación (Mikkil, 2003).

Finalmente, existen problemas técnicos por la carencia de capacitación y transferencia de conocimiento en el control de plagas y manejo integral de la tierra, así como falta de recursos económicos propios y de financiamiento a los agricultores para cubrir la mano de obra y la certificación, además de la falta de creación de un marco normativo y regulatorio

que promueva y proteja al sector orgánico del país, y la discriminación existente hacia la agricultura orgánica por estar vinculada con los sectores más pobres del ámbito rural (Gómez-Cruz *et al.*, 2010).

## **MARCO LEGAL**

Pese a las problemáticas que presenta la producción de alimentos orgánicos, la demanda de los mismos en el país ha ido en aumento, y el gobierno ha comenzado a implementar leyes que rigen las determinaciones del procesamiento de alimentos orgánicos como:

La NMX-FF-109-SCFI-2007 (SAGARPA, 2013) que establece las especificaciones de calidad que debe cumplir el humus de lombriz que se produce o se comercializa en territorio nacional; excluyendo el humus de lombriz en presentación líquida.

La NOM-077-FITO-2000 (SAGARPA, 2013) que establece las especificaciones, criterios y procedimientos que deberán contemplar los estudios de efectividad biológica de los insumos de nutrición vegetal en todo el territorio nacional, para obtener el registro de los mismos.

Otra de las normas importantes en la producción de alimentos orgánicos es la NOM-EM-034-FITO-2000 (Diario Oficial de la Federación, 2000) que establece los requisitos y especificaciones para la aplicación y certificación de Buenas Prácticas Agrícolas en los procesos de producción de frutas y hortalizas frescas.

Finalmente se encuentra la NOM-008-FITO-1995 (Diario Oficial de la Federación, 2009) que establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la importación de frutas y hortalizas frescas.

## **MARCO TEÓRICO**

Si bien es sabido que los fertilizantes químicos favorecen el rendimiento de las cosechas, el uso inadecuado y el abuso de ellos propicia que el suelo sufra un agotamiento acelerado de materia orgánica y de un desbalance nutricional, por lo que al pasar el tiempo pierde su fertilidad y su capacidad productiva (SAGARPA, 2013).

Por tal motivo se ha optado por utilizar abonos orgánicos, para la producción de alimentos orgánicos. Uno de ellos es la lombricomposta, que es el conjunto de excretas fecales de



lombrices que presentan la misma apariencia y olor de la tierra negra (Ancona-Méndez *et al.*, 2006).

Este abono resulta del proceso denominado lombricomposteo, el cual utiliza la acción de microorganismos y lombrices para procesar el material orgánico (Ruiz-Morales, 2011) y así obtener un abono orgánico enriquecido química y biológicamente. La lombriz roja californiana es utilizada para llevar a cabo este proceso ya que puede consumir entre 50% y 100% de su peso diario y duplicar su población en 90 días (Olivares-Campos *et al.*, 2012).

Taxonomía:

Reino: Animalia

Phylum: Anélida

Clase: Oligochaeta

Orden: Opisthopora

Familia: Lumbricidae

Género: *Eisenia*

Especie: *Eisenia foetida* (Savigny, 1826).



Figura 1. Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

La lombricomposta es un fertilizante alto en macro y micronutrientes necesarios para los cultivos, cuenta además, con hormonas de crecimiento, enzimas y una alta población microbiológica benéfica y libre de patógenos (Ruiz-Morales, 2011).

Contiene: Nitrógeno (N), Fósforo (P), potasio (K), Calcio (Ca), Maganesio (Mg), Manganeseo (Mn), cobre (Cu), Boro (B), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Sodio (Na), Aluminio (Al); también presenta una buena conductividad eléctrica (CE), buena capacidad de intercambio catiónico (CIC), ácido indol acético (AIA), ácido giberélico (AG3), ácidos fúlvicos y húmicos, gran cantidad de organismos benéficos, en el orden de 2 billones de bacterias por gramo de humus, y una buena humedad de 40 a 50% (Fundación Produce Nayarit, A. C., 2013).

Además, los beneficios de este abono orgánico son cruciales al corregir y mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos influyendo de la siguiente manera:

Incorpora a la rizósfera nutrientes asimilables liberándolos lentamente permitiendo que los cultivos lo aprovechen mejor, contiene 4 veces más Nitrógeno, 25 veces más Fósforo y 2.5 veces más Potasio; regula los cambios bruscos de pH debido a su propiedad como buffer y amortigua los cambios bruscos de temperatura, incrementa la disponibilidad de Nitrógeno, Fósforo y Azufre, inactiva los residuos de sustancias tóxicas como herbicidas, insecticidas, etc. Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias patógenas, mejora la estructura, la permeabilidad y la aireación de los suelos, reduce la erosión de los mismos, confiere color oscuro reteniendo así el calor y estimula la bioactividad al incorporar microorganismos benéficos al suelo (Díaz, 2002).

La lombricomposta también presenta una gran uniformidad, porosidad, buen drenaje (Ancona-Méndez *et al.*, 2006) y un tamaño reducido de partículas lo que promueve un incremento en la capacidad de retención de humedad y la capacidad de intercambio catiónico (Cruz-Crespo *et al.*, 2013).

Una de las hortalizas que se puede cultivar orgánicamente es la lechuga, debido a que su consumo ha incrementado recientemente tanto en mercados locales, nacionales como internacionales (Hernández-Hernández, 2012).

Taxonomía:

Reino: Vegetal

División: Macrophylophita

Clase: Paenopsida

Orden: Asterales

Familia: Astereaceae

Género: *Lactuca*

Especie: *Lactuca sativa* L. var. *longifolia*.



Figura 2. Lechuga orejona *Lactuca sativa* var. *longifolia*.

*Lactuca sativa* L. es una planta herbácea anual, cuenta con raíces cortas y ramificadas que no sobrepasan los 25 cm de profundidad, sus hojas están colocadas en roseta, el borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado, su tallo puede ser cilíndrico o ramificado, su inflorescencia está formada por capítulos con 7-15 flores liguladas de color amarillo, dispuestos en racimos y sus semillas son blancas, alargadas de 4-5 mm y con un vilano plumoso útil en su dispersión (FAO, 2006).

Es la más utilizada en ensaladas ya que se puede consumir en fresco, además funciona como decoración en diversos platillos. A nivel industrial, se utiliza en la fabricación de jabones y en medicina como infusiones para irritaciones, afecciones de la piel e insomnio, así mismo está presente en la dieta de personas con problemas de obesidad, diabetes e hipertensión y su látex diluido en agua, funciona como calmante y narcótico (Guadarrama-Díaz, 2006).

## **ANTECEDENTES**

Después de conocer los problemas de infertilidad y contaminación del suelo producto de la utilización de la agricultura tradicional, se han llevado a cabo estudios que han permitido identificar las mejores alternativas agrícolas para producir alimentos sanos libres de químicos que dañan la salud del hombre y contaminan el ambiente.

Dentro de los tratamientos evaluados se encuentran, la hidroponía y los abonos orgánicos como algunos biofertilizantes y la lombricomposta.

Un ejemplo de estudio de la hidroponía es como el que realizaron Tapia y Caro, 2009 que evaluaron el efecto del sustrato de roca granulada, perlita expandida A6 y una mezcla de los dos sustratos en el crecimiento y desarrollo de las plántulas de lechuga; además evaluaron el establecimiento de éstas hortalizas después del trasplante a un sistema hidropónico; y encontraron un mejor crecimiento de la lechuga en el sustrato de roca y en el de perlita expandida; asimismo obtuvieron un óptimo establecimiento de las plántulas en el sistema hidropónico.

Para los biofertilizantes, se encuentra el trabajo realizado por Criollo *et al.*, en 2011, quienes estudiaron el efecto de biofertilizantes de vaca, de cuyo y de cerdo, sobre la producción de lechuga y repollo, comparándolos con un fertilizante foliar comercial y un testigo; observando que el peso y diámetro de la cabeza de ambos vegetales utilizados, fueron favorecidos por los biofertilizantes en comparación con el testigo, sin embargo no encontraron diferencias significativas con el fertilizante foliar comercial.

Por otro lado, en los estudios donde se ha utilizado la lombricomposta se encuentra el de Añez y Espinoza, 2003, quienes determinaron la cantidad de abono orgánico que con fertilización y sin ella es necesario para obtener cosechas económicamente rentables de lechuga y de repollo. En ambos cultivos probaron cinco concentraciones de humus de lombriz y cinco dosis de fertilizantes químicos para lechuga y únicamente cuatro para el

repollo; encontraron que las producciones en  $\text{Kg} \cdot \text{planta}^{-1}$  de ambos vegetales se vieron significativamente afectadas por el abono orgánico independientemente de los niveles de fertilizantes químicos suministrados.

Del mismo modo, Márquez-Hernández *et al.*, en el 2008, evaluaron arena y perlita mezclados con composta, biocomposta y vermicomposta en diferentes niveles, para observar la producción de tomate en condiciones de invernadero, encontrando que las mezclas: vermicomposta al 50% con arena, vermicomposta con 37% de perlita, vermicomposta con 50% de perlita y biocomposta al 37. 5% más perlita, produjeron 9. 14 veces más tomates que lo obtenido en el campo.

También Camacho-Coronel en 2011 implementó un sistema biointensivo con vermicomposta evaluando el crecimiento y producción de chícharo, rábano y lechuga; además se llevó a cabo una evaluación socioeconómica de ambos sistemas de producción. Los resultados fueron satisfactorios, debido a que se logró mejorar las propiedades físicas del tepetate en un tiempo de 6 meses, además, la supervivencia y producción de las plantas fueron mayores en las camas biointensivas en comparación con el sistema tradicional, lo que a su vez, generó mayores ganancias por las ventas de las hortalizas.

En el 2012 se llevaron a cabo trabajos como el de Márquez-Márquez, en el que se evaluaron los efectos de lombricomposta en las variables de producción en el cultivo de cilantro y albahaca; encontrando que con el uso de la lombricomposta en el cultivo de ambos vegetales, se obtienen mejores variables de producción que permiten una mejor posibilidad de comercialización, tales como un mayor número de semillas germinadas, plantas más altas, con más hojas grandes y de mayor cobertura.

No obstante, Olivares-Campos *et al.*, 2012 establecieron 6 tratamientos de fertilización: el primero con lombricomposta, el segundo con composta, el tercero con urea, el cuarto con urea + lombricomposta, el quinto con urea + composta y el último fue el testigo. Con estos tratamientos evaluaron el contenido de macro y micro nutrientes tanto en el tejido foliar de lechuga como en el suelo, encontrando que el contenido nutricional de N foliar en lechugas tratadas con composta y lombricomposta, fue similar al que un fertilizante nitrogenado inorgánico aporta.

De la misma manera se obtuvo una mayor concentración de materia orgánica y de macro nutrientes en suelos fertilizados con éstos dos abonos orgánicos.

## **HIPÓTESIS**

Debido a las propiedades que presenta la lombricomposta, se espera que en su aplicación, los valores de las variables de producción de la lechuga incrementen, en comparación con el efecto de un fertilizante sintético sobre los valores de dichas variables de producción.

## **JUSTIFICACIÓN**

A pesar de los efectos positivos que presentan la hidroponía y la aplicación de algunos biofertilizantes en el establecimiento y desarrollo de las plantas (Tapia y Caro, 2009 y Criollo *et al.*, 2011); la lombricomposta presenta mejores características que la convierten en una muy buena opción para utilizarla en la agricultura orgánica. Dado que permite una mejor concentración de macro nutrientes en el suelo (Olivares-Campos *et al.*, 2012) y presenta la capacidad de corregir y mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas de los mismos (Díaz, 2002). Además ha permitido obtener mayores valores en variables de producción (Márquez-Márquez, 2012), como peso ( $\text{Kg} \cdot \text{planta}^{-1}$ ) (Añez y Espinoza, 2003), número de frutos (Márquez-Hernández *et al.* 2008) y supervivencia de plantas después del trasplante, dejando a su vez mayores ganancias (Camacho-Coronel, 2011).

Por esta razón y ante la falta de información sobre la utilización de la lombricomposta en un cultivo biointensivo de lechuga (*Lactuca sativa L. var. longifolia*) en condiciones de invernadero, realizar la comparación entre la aplicación de lombricomposta y un fertilizante sintético universal (Triple 17) en este cultivo, es importante para ampliar el conocimiento de los requerimientos de la especie seleccionada, pues es un producto de creciente demanda por el interés comercial, nutricional, gastronómico y medicinal que presenta (Guadarrama-Díaz, 2006).

## **OBJETIVOS**

### **General**

Comparar el efecto del fertilizante sintético universal (Triple 17) y de la lombricomposta en un cultivo biointensivo de lechuga (*Lactuca sativa var. longifolia*) en condiciones de invernadero.

### **Particulares**

- Determinar las características fisicoquímicas de la lombricomposta y de tierra negra.
- Realizar el análisis de las variables de producción de la lechuga (*Lactuca sativa* var. *longifolia*).
- Determinar parámetros ambientales tales como la humedad y la temperatura.

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

El presente estudio se llevó a cabo en un invernadero de 2.5 metros de altura, techado con plástico lechoso de calibre 400, con malla antiáfidos en los laterales de la estructura que puede ser cubierta por cortinas de plástico de las mismas características que el del techo.

Así mismo cuenta con un sistema de riego por aspersión, controlado con llaves independientes para cada mitad del invernadero, presenta una malla sombra de 50/50% y el piso está constituido de adoquines.

Es importante mencionar que no cuenta con un equipo sofisticado que controle la temperatura ni el riego. Éstos controles se llevaron a cabo personalmente cada que se requería, por medio de riegos tanto internos como externos al invernadero; abriendo o cerrando las cortinas y con la ayuda de un extractor conectado a la fuente eléctrica presente en el interior de dicho invernadero.

El control de plagas se realizó mediante la aplicación de infusiones de epazote, ajo y cebolla en las lechugas, limpieza manual del cultivo, deshierbe manual de la maleza crecida en la periferia del mismo, así como la presente en las unidades experimentales donde se colocaron las lechugas.

Todo lo anterior se llevó a cabo durante el experimento que se desarrolló de Octubre de 2013 hasta Abril de 2014 y se dividió en dos fases. En la primera se sembraron en almácigos de unicel un promedio de 200 semillas utilizando peat moss como sustrato, realizando cinco repeticiones de este ensayo.

Durante el tiempo necesario para la germinación, se llevaron a cabo de dos a tres riegos por semana, dependiendo de las condiciones climáticas y se registraron variables de producción tales como: porcentaje de viabilidad y mortalidad, tiempo de germinación y

tiempo de brote de la cuarta hoja; además de parámetros ambientales como la temperatura y la humedad.

En la segunda fase, se realizó un análisis fisicoquímico de la lombricomposta y de la tierra negra, para el cual se tamizó un 1kg de ambos sustratos y se midieron variables tales como: densidad real y aparente, porcentaje de porosidad, humedad, pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno total, fósforo asimilable y potasio intercambiable; utilizando el manual de métodos de análisis de suelo de Muñoz-Iniestra *et al.*, 2012.

Para el trasplante, se escogieron completamente al azar un total de 90 plántulas con cuatro hojas, distribuyendo 30 plántulas para cada tratamiento, en los cuales se colocaron 5 lechugas por Unidad Experimental (UE) y se realizaron seis repeticiones.

Las (UE) fueron jivas de plástico de 50 cm de largo por 30 cm de ancho, a las que se les forró con bolsas negras y se les colocaron 10 Kg de cada tratamiento. En el primero se colocó el 100% de lombricomposta, en el segundo se puso tierra negra y 80 g del fertilizante universal sintético (triple 17) y finalmente el testigo, que contuvo el 100% de tierra negra.

Posteriormente las lechugas se amarraron únicamente por un periodo de diez días para que se llevara a cabo la formación del vástago.

Del mismo modo que en la primera fase, durante el crecimiento de la lechuga se continuó con el mismo número de riegos y una vez cosechadas, antes de iniciar la floración, se midieron variables de producción tanto por unidad experimental como por planta en los tres tratamientos.

En cada Unidad Experimental se midió el peso total de las plantas y el peso del vástago; por otro lado las variables medidas en todas las plantas, fueron: el peso, el tamaño y el peso de la raíz, mientras que únicamente en cinco de ellas escogidas al azar se midió la altura, el área foliar y el número de hojas como variables de producción adicionales.

Finalmente para realizar los estadísticos se aplicó un ANOVA estableciendo las siguientes hipótesis:

Ho: No existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos experimentales.

Ha: Al menos un par de medias de los tratamientos experimentales es diferente.

En los casos en los que se rechazó la hipótesis nula se realizó una prueba de LSD (Least Significant Difference) para comparar las medias de los tratamientos (Durán-Durán A. *et al.*, 2009).

## DISEÑO EXPERIMENTAL

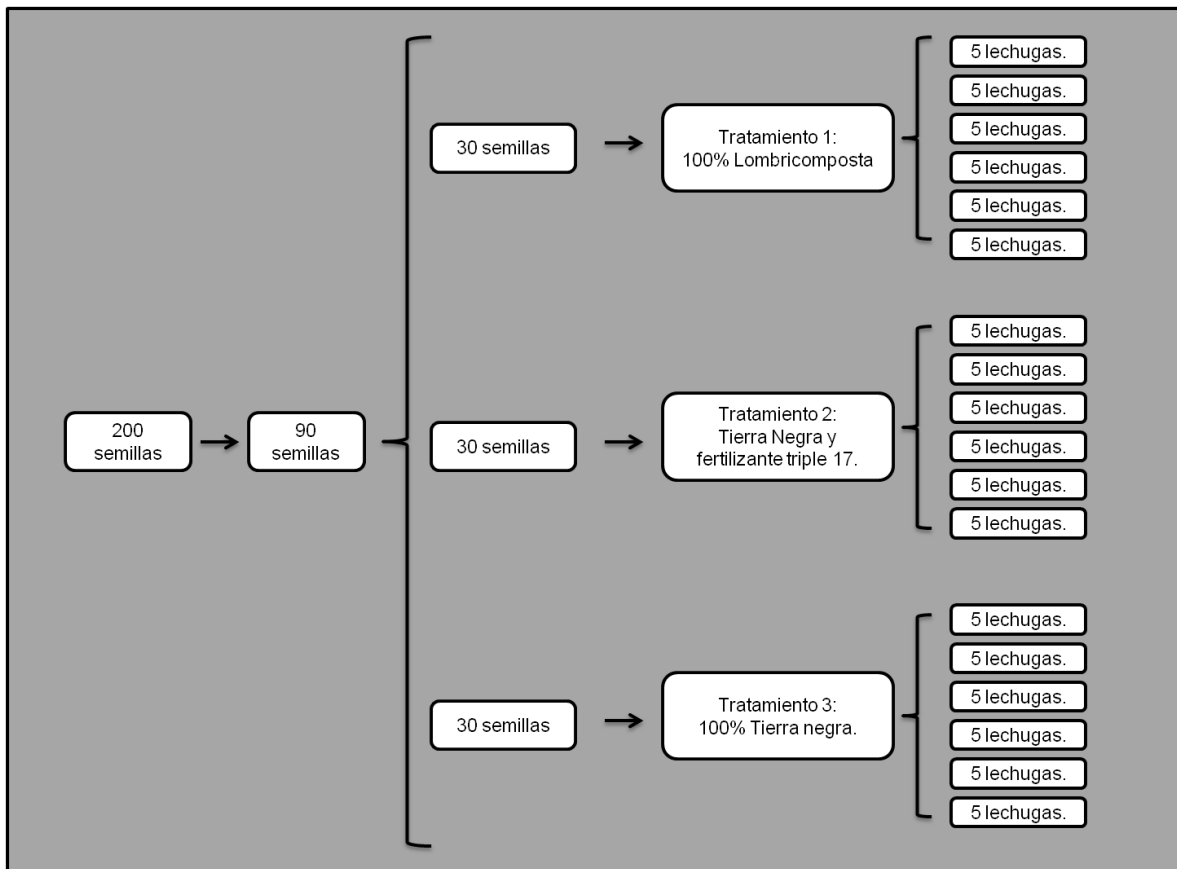


Figura 3. Estructura general del proyecto experimental.



## RESULTADOS

### Fase I.

Los resultados obtenidos en este proceso, muestran que el tiempo promedio de germinación, en peat moss, fue de 5.6 días, y el tiempo para presentar la cuarta hoja fue de 37.5 días.

Posteriormente se obtuvieron los porcentajes de germinación y mortalidad como se muestran en la figura 4.

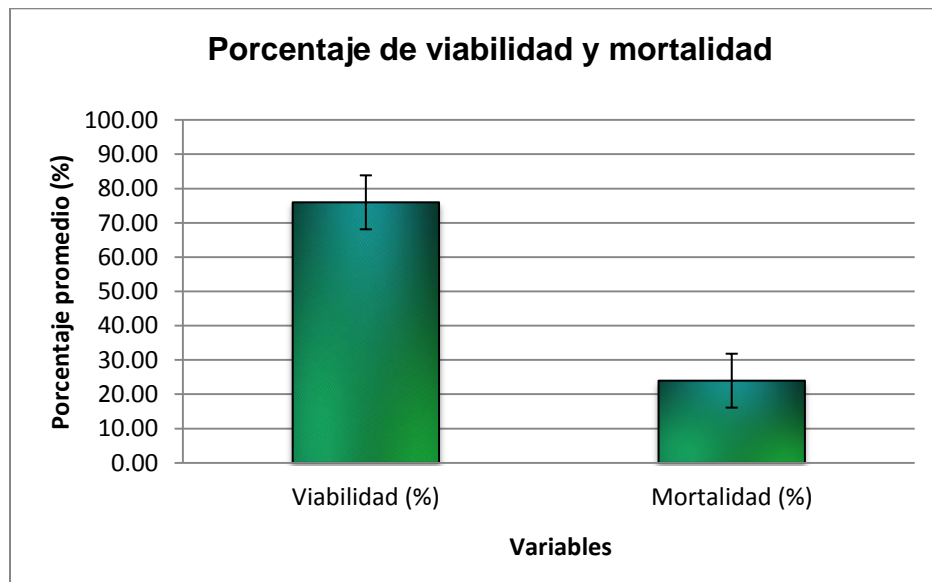


Fig. 4. Porcentaje promedio de la viabilidad y mortalidad de lechugas.

Como se observa, el porcentaje promedio de mortalidad fue de 23.9% y el de la viabilidad de 76.1%.

En esta fase se registraron temperaturas que fueron variables durante el periodo comprendido del mes de Octubre a Diciembre del 2013 y que se muestran a continuación.

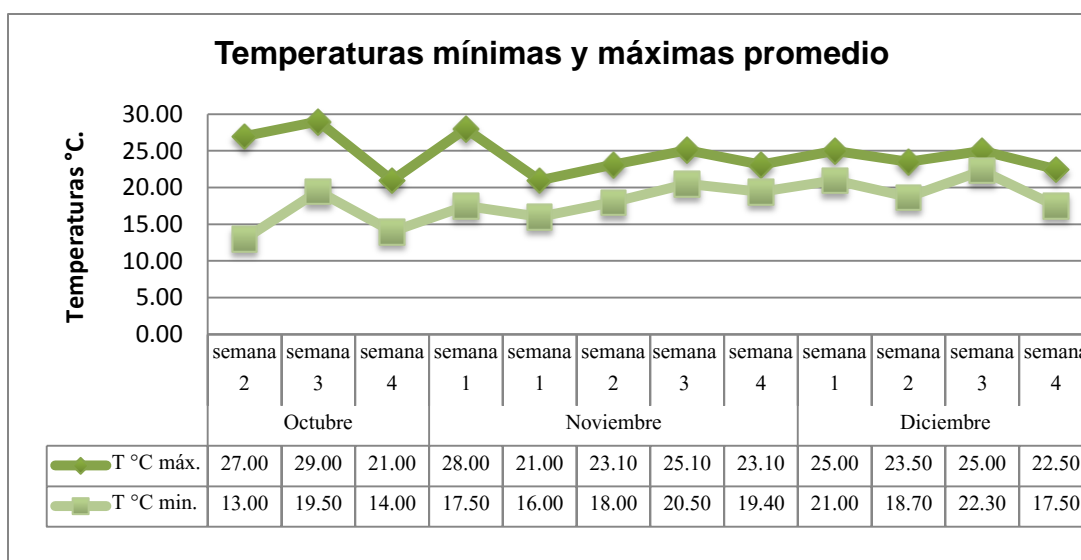


Fig. 5. Promedio semanal de las temperaturas mínimas y máximas registradas en el periodo de germinación de las lechugas, que abarcó de Octubre a Diciembre del 2013.

En esta figura se observan las variaciones térmicas registradas en el invernadero durante el periodo de germinación de las lechugas, donde la temperatura mínima semanal registrada fue de 18 °C y una máxima de 29 °C, encontradas en el mes de Noviembre y Octubre respectivamente.

## Fase II.

Inicialmente en esta etapa, se realizaron pruebas fisicoquímicas a los dos sustratos utilizados en el cultivo, cuyos resultados se muestran en la Figura 6.

Pruebas Fisicoquímicas aplicadas										
	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Real (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	Humedad C.C (%)	pH	Materia Orgánica (%)	Capacidad de Intercambio Catiónico Total (cmol kg <sup>-1</sup> )	Nitrógeno Total (%)	Potasio Intercambiable (ppm)	Fósforo Asimilable (ppm)
Lombri-composta	0.72 Bajo	1.81 Muy Bajo	60.4 Alto	88.7	6.7	23.9 Extremadamente Rico	19.98 Medio	2.9 Extremadamente Rico	103.8 Medio	>100 Extremadamente Rico
Tierra negra.	1.07 Alto	2.33 Bajo	53.75 Medio	67.2	7.3	4.8 Moderadamente Rico	16.58 Medio	0.28 Extremadamente Rico	16.2 Bajo	61.3 Extremadamente Rico

Fig. 6. Resultados de las pruebas fisicoquímicas aplicadas a los sustratos utilizados en el presente estudio.

Como se puede observar, en ambos sustratos hubo algunas variaciones en los valores obtenidos de todas las pruebas, sin embargo de acuerdo a los criterios de Muñoz-Iniestra *et al.* 2012, ambos sustratos presentaron en su mayoría valores altos en las pruebas aplicadas.

De las 30 plántulas trasplantadas en cada tratamiento, sobrevivieron 16 en la lombricomposta, 24 en el fertilizante sintético y 27 en el testigo.

De los parámetros ambientales medidos, la temperatura dentro del invernadero fue la que presentó mayores variaciones como se muestran en la figura 7.

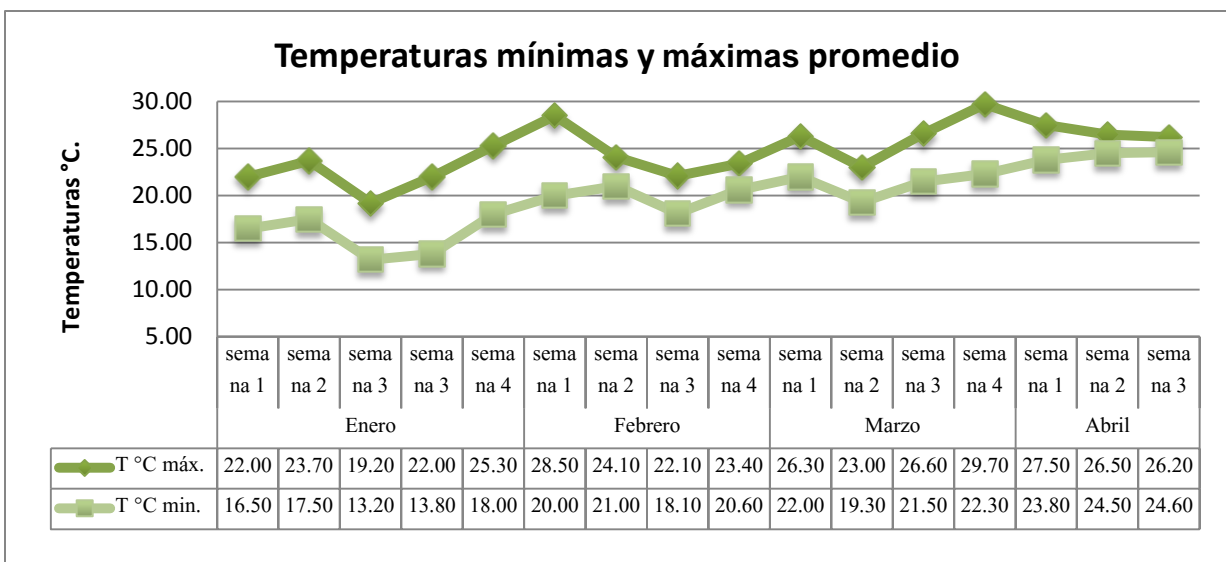


Fig. 7. Promedio semanal de las temperaturas mínimas y máximas registradas en el periodo de trasplante de las lechugas, que abarcó desde el mes de Enero hasta Abril del año 2014.

En esta figura se muestran las variaciones de temperatura presentadas en el invernadero, durante el periodo de trasplante de lechugas, donde la temperatura máxima promedio semanal registrada fue de 29.7 °C y la mínima de 13.2 °C, registrados en el mes de marzo y enero, respectivamente.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las variables de producción.

### **Variables de producción por Unidad Experimental.**

En la Figura 8 se observa el promedio por Unidad Experimental (U.E) del peso total de las lechugas, registrado para cada tratamiento.

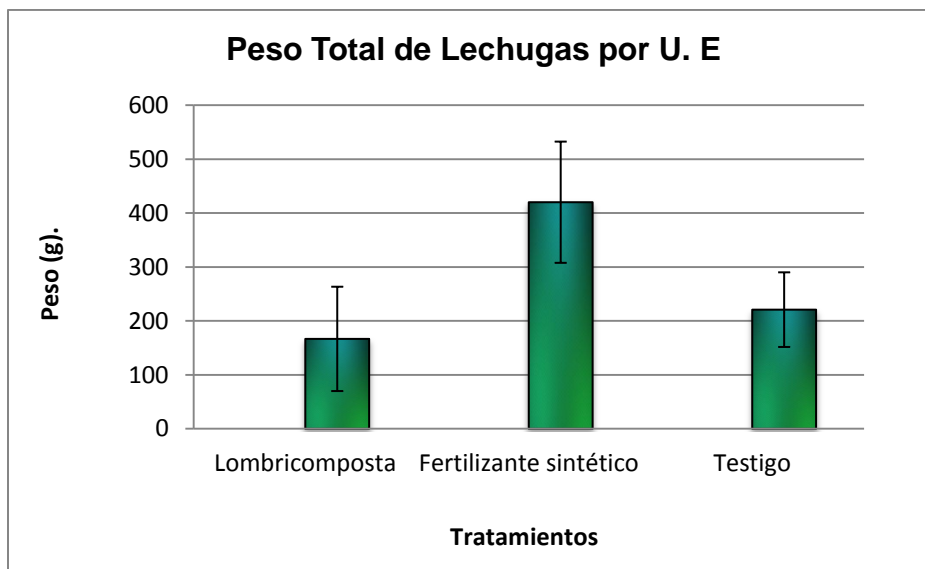


Fig. 8. Peso total promedio obtenido en cada Unidad Experimental expresado en gramos (g).

Las unidades experimentales con mayor peso promedio fueron aquellas a las que se les aplicó fertilizante, presentando un valor promedio de 420.4 g. Asimismo, las unidades experimentales del testigo obtuvieron un peso promedio de 221.1 g, mientras que la lombricomposta presentó un valor promedio de 166.8 g.

La Figura 9 nos muestra los resultados del análisis de varianza donde se observa que el valor de “F” es mayor al valor crítico, indicando que hubo una diferencia significativa entre los tratamientos. Así que al aplicar la prueba de LSD ( $p \leq 0.05$ ), resultó que la lombricomposta y el testigo fueron los tratamientos que presentaron efectos diferentes en el peso total promedio por U. E (Figura 10).

Fig. 9. Estadística descriptiva y resumen del Análisis de Varianza del Peso Total de Lechugas por Unidad Experimental (U.E).

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Desviación Estándar	Coficiente de Variación	Rango Val. Max.- Val. Min.
Lombricomposta	6	1001.2	166.8666667	9362.654667	96.76	57.99	339.00 / 80.9
Fertilizante Sintético	6	2522.7	420.45	12644.903	112.45	26.75	615.40 / 313.6
Testigo	6	1326.7	221.1166667	4792.873667	69.23	31.31	305.50 / 107

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	213962.6944	2	106981.3472	<b>11.97533121</b>	0.000779513	<b>3.682320344</b>
Dentro de los grupos	134002.1567	15	8933.477111			
Total	347964.8511	17				

Fig. 10. Prueba de LSD ( $p \leq 0.05$ ) aplicada al peso total por Unidad Experimental en los tres tratamientos, Fertilizante sintético (Fs), Lombricomposta (Lc) y Testigo (Ts), siendo la lombricomposta y el testigo, los tratamientos con efecto diferente en esta variable.

LSD: 117.86 Fs: 420.45 Ts: 221.12 Lc: 166.87

	Fs: 420.45	Ts: 221.12	Lc: 166.87
Fs: 420.45	O	199.33 *	253.58 *
Ts: 221.12	/	O	54.25 <sup>N.S</sup>
Lc: 166.87	/	/	O

A continuación se presentan los resultados obtenidos del peso total del vástago por unidad experimental.

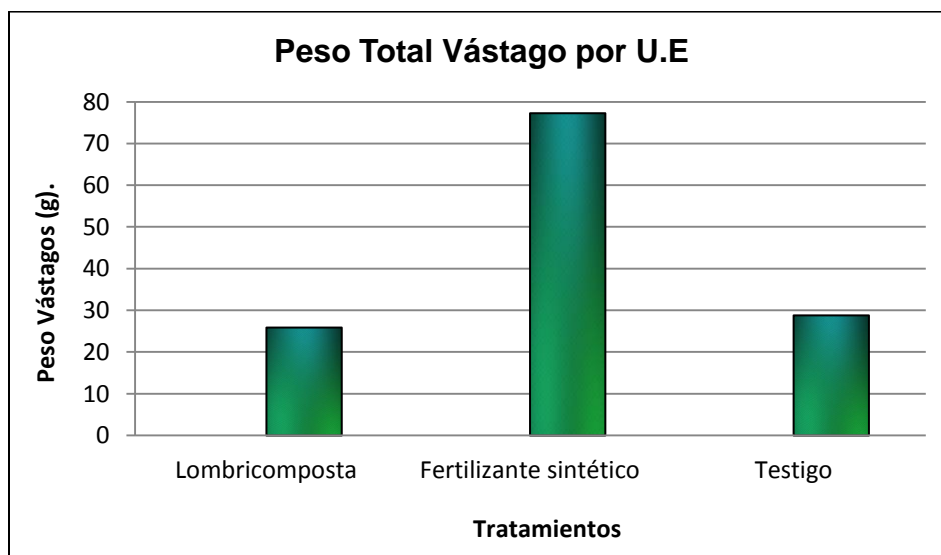


Fig. 11. Peso promedio total de los vástagos obtenido en cada unidad experimental por tratamiento.

Esta figura muestra que el fertilizante fue el tratamiento en el que se obtuvo el mayor promedio de peso con un valor de 77.3 g, seguido del testigo y la lombricomposta, cuyos valores fueron de 28.8 y 25.9 g. respectivamente (Figura 11).

Dado que solo se obtuvo un vástago en la lombricomposta no se pudo calcular el error estándar ni realizar un Análisis de Varianza tomando en cuenta los tres tratamientos.

Por lo anterior no se pudo determinar si hubo diferencia significativa en esta variable.

### Variabes de producción por planta.

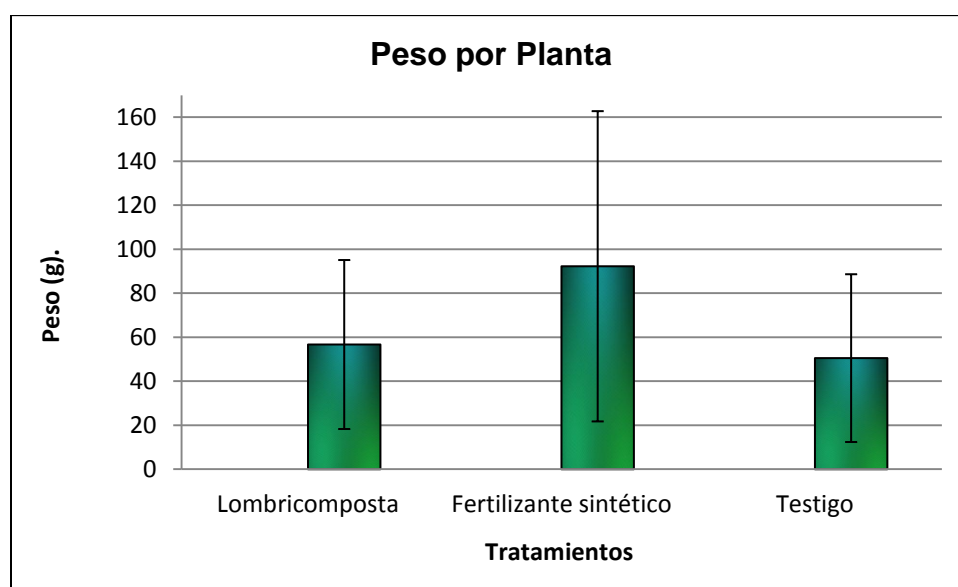


Fig. 12. Peso promedio por planta expresado en gramos (g) de los tres tratamientos evaluados.

Se puede observar que nuevamente el fertilizante obtuvo en promedio, el mayor peso por planta con un valor de 92.9 g, seguido de la lombricomposta y el testigo con valores de 56.7 y 50.5 g respectivamente.

Fig. 13. Estadística descriptiva y resumen del Análisis de Varianza del Peso Por Planta.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Desviación Estándar	Coficiente de Variación	Rango Val. Max.-Val. Min.
Lombricomposta	16	907.6	56.725	1475.47	38.41	67.72	1475.47/7.80
Fertilizante sintético	24	2214.9	92.2875	4973.917663	70.53	76.42	274.60/15.60
Testigo	27	1364.6	50.54074074	1454.12943	38.13	75.45	185.90/6.20

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	24350.63468	2	12175.31734	<b>4.46955632</b>	0.015241368	<b>3.140437622</b>
Dentro de los grupos	174339.5214	64	2724.055022			
Total	198690.1561	66				

En la figura 13 se ve que el valor de “F” fue mayor al valor crítico arrojado por el análisis de Varianza, indicando una diferencia significativa entre los tratamientos, siendo el testigo y la lombricomposta los tratamientos que presentaron un efecto diferente en el peso de las lechugas de acuerdo a la prueba de LSD ( $p \leq 0.05$ ) (Figura 14).

Fig. 14. Prueba de LSD ( $p \leq 0.05$ ) aplicada al peso por planta en los tres tratamientos, Fertilizante sintético (Fs), Lombricomposta (Lc) y Testigo (Ts), resultando tanto la lombricomposta como el testigo los tratamientos con efectos diferentes en el peso de las lechugas.

Fs: 92.29                  Lc: 56.73                  Ts: 50.54  
 LSD<sub>Fs-Lc</sub>: 33.58      LSD<sub>Fs-Ts</sub>: 29.15      LSD<sub>Lc-Ts</sub>: 32.84

	Fs: 92.29	Lc: 56.73	Ts: 50.54
Fs: 92.29	O	35.56 *	41.75*
Lc: 56.73	/	O	6.19 <sup>N.S</sup>
Ts: 50.54	/	/	O

A continuación se presentan los resultados del sistema radical de las lechugas.

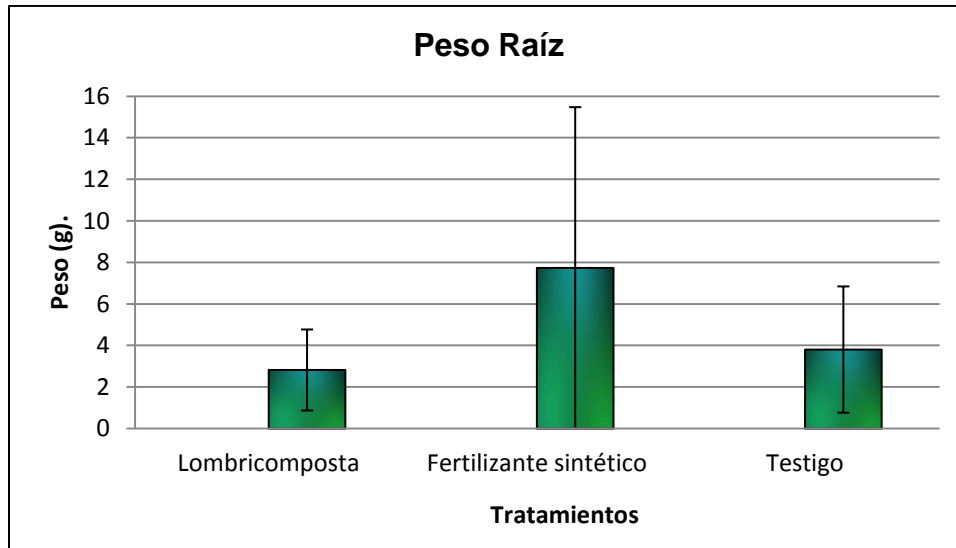


Fig. 15. Peso promedio de la raíz por lechuga expresado en gramos (g) en los tres tratamientos evaluados.

Nuevamente, el tratamiento con fertilizante fue el que obtuvo el mayor peso promedio de raíz con un valor de 7.7 g., seguido del testigo y la lombricomposta con 3.8 y 2.8 g. respectivamente.

Figura 16. Estadística descriptiva y resumen del Análisis de Varianza del Peso de la Raíz.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Rango Val. Max.- Val. Min.
Lombricomposta	16	45.2	2.825	3.803333333	1.95	69.03	9 / 0.40
Fertilizante sintético	24	185.7	7.7375	59.9363587	7.74	100.06	37.60 / 0.50
Testigo	27	102.8	3.807407407	9.248404558	3.04	79.87	11.60 / 0.10

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	293.9200076	2	146.9600038	<b>5.611687957</b>	0.005681577	<b>3.140437622</b>
Dentro de los grupos	1676.044769	64	26.18819951			
Total	1969.964776	66				

Como se puede observar en esta figura, los tratamientos evaluados presentaron una diferencia significativa, pues el valor crítico es menor al valor obtenido de "F", resultando ser la lombricomposta y el testigo los tratamientos con un efecto diferente en la presente variable de producción según la prueba de LSD ( $p \leq 0.05$ ) (Figura 17).



También se observa que el Coeficiente de Variación (C.V) obtenido en el tratamiento con fertilizante, fue mayor al obtenido en los otros dos tratamientos, a diferencia del obtenido en la lombricomposta, que fue el más bajo de los tres tratamientos evaluados.

Fig. 17. Prueba LSD aplicada al peso de la raíz en los tres tratamientos, Fertilizante sintético (Fs), Lombricomposta (Lc) y testigo (Ts), siendo la lombricomposta y el testigo los tratamientos con efecto diferente sobre el peso de la raíz de las lechugas.

Fs: 7.74      Ts: 3.81      Vc: 2.83  
 LSD<sub>Fs-Ts</sub>: 2.85    LSD<sub>Fs-Lc</sub>: 3.28    LSD<sub>Ts-Lc</sub>: 3.22

	Fs: 7.74	Ts: 3.81	Lc: 2.83
Fs: 7.74	O	3.93 *	4.91 *
Ts: 3.81	/	O	0.98 <sup>N.S</sup>
Lc: 2.83	/	/	O

Enseguida se muestran los resultados del tamaño promedio de la raíz obtenidos en cada tratamiento.

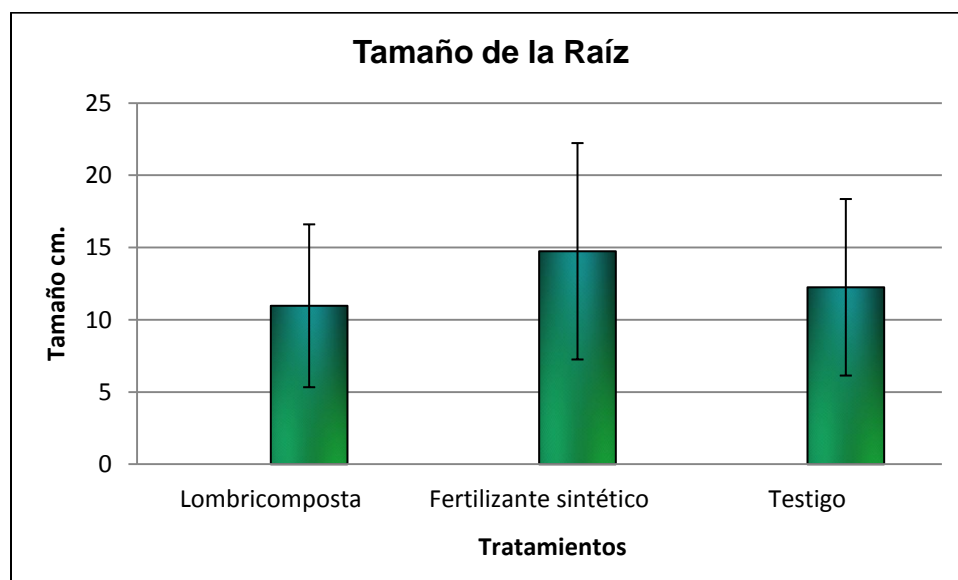


Fig. 18. Tamaño promedio de la raíz por planta en cada uno de los tres tratamientos expresado en centímetros (cm).

En esta figura se observa que de nueva cuenta el fertilizante, fue el tratamiento con el mayor tamaño promedio de la raíz por planta, con un valor de 14.7 cm, seguido del testigo y la lombricomposta con promedio de 12. 2 y 10.9 cm respectivamente. Sin embargo, el Análisis de Varianza aplicado arrojó los siguientes resultados.

Figura 19. Estadística descriptiva y resumen del Análisis de Varianza del Tamaño de la Raíz.

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Rango Val. Max.- Val. Min.</i>
Lombricomposta	16	175.5	10.96875	31.75029167	5.63	51.37	27.50 / 5.60
Fertilizante sintético	24	353.8	14.74166667	56.07384058	7.49	50.80	37.20 / 4.50
Testigo	27	330.7	12.24814815	37.31490028	6.11	49.87	29 / 4.60

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	152.2739141	2	76.13695706	<b>1.780890249</b>	0.17673575	<b>3.140437622</b>
Dentro de los grupos	2736.140116	64	42.75218931			
Total	2888.41403	66				

De acuerdo con los resultados presentados en la Figura 19, para ésta variable de producción no hubo diferencia significativa en el Análisis de Varianza aplicado, determinando que todos los tratamientos mostraron efectos estadísticamente iguales sobre el tamaño de las raíces de las lechugas, con la confiabilidad del 95%.

#### **Variables de producción adicionales.**

Respecto a la altura se encontró que la lombricomposta presentó la mayor altura promedio con un valor de 60.3 cm, seguido del fertilizante y del testigo con 55.2 y 44 cm respectivamente (Figura 20).

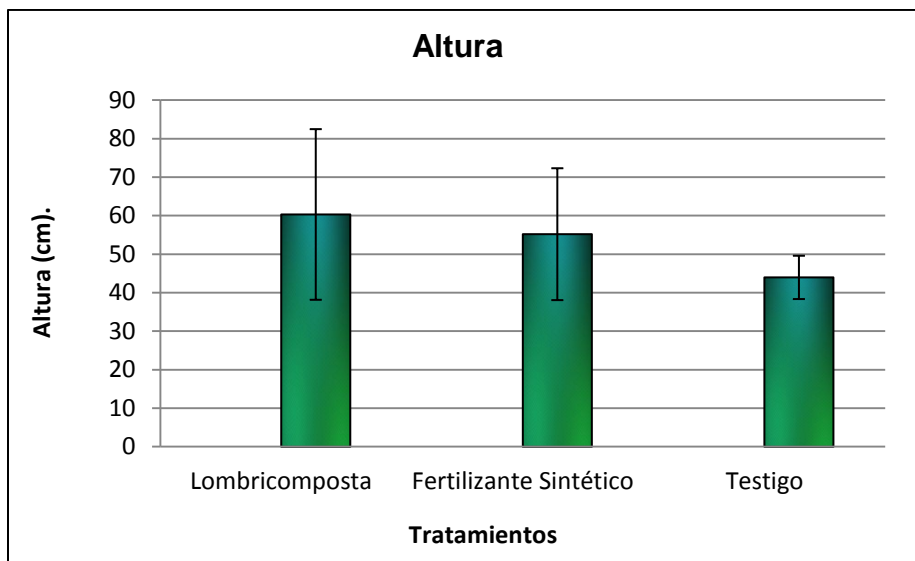


Fig. 20. Promedio de altura expresado en centímetros (cm), aplicado a cinco lechugas seleccionadas a azar.

Como se observa en la Figura 21 el valor de "F" fue menor al Valor Crítico calculado por el Análisis de Varianza, lo que indica que no hay diferencia significativa entre los tratamientos.

Figura 21. Estadística descriptiva y resumen del Análisis de Varianza de la Altura.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Rango Val. Max.- Val. Min.
Lombricomposta	5	301.7	60.34	490.978	22.16	36.72	95.70 / 37
Fertilizante Sintético	5	276.1	55.22	293.127	17.12	31.00	77 / 31
Testigo	5	220	44	31.625	5.62	12.78	49.50 / 37

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	698.4973333	2	349.2486667	<b>1.284427445</b>	0.312273385	<b>3.885293835</b>
Dentro de los grupos	3262.92	12	271.91			
Total	3961.417333	14				

La figura 22 muestra los resultados obtenidos para el área foliar.

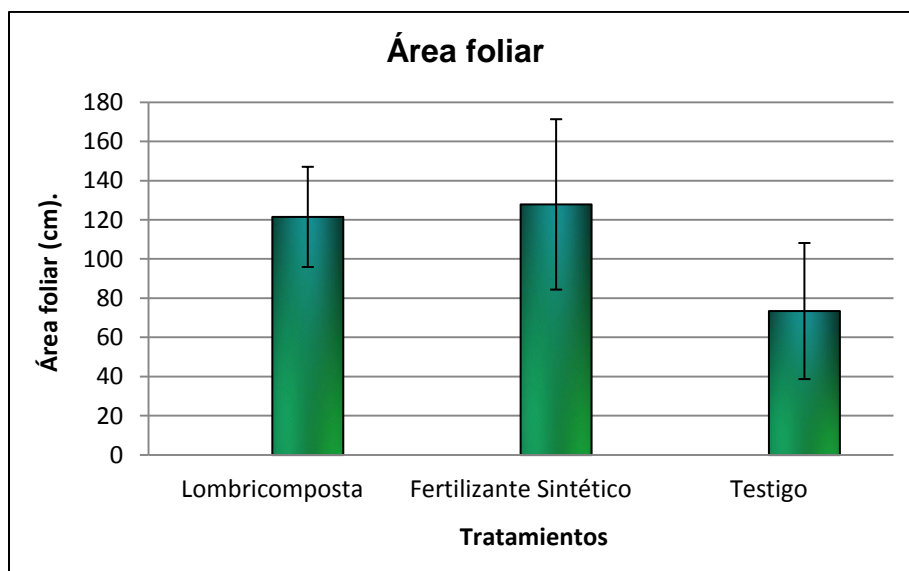


Fig. 22. Área foliar promedio expresada en centímetros (cm) de cinco lechugas seleccionadas al azar de cada tratamiento.

Como se puede observar el fertilizante fue el tratamiento en el que se presentó la mayor área foliar de las lechugas, obteniendo un valor de 127.9 cm, seguido de la lombricomposta con 121.5 cm y el testigo con un valor de 73.5 cm.

No obstante, observando la Figura 23, podemos notar que a pesar de no haber diferencia significativa entre los tratamientos, el valor de "F" es muy aproximado al valor crítico arrojado por el Análisis de Varianza. Y que el coeficiente de variación obtenido en la lombricomposta, es menor a los demás tratamientos.

Figura 23. Estadística descriptiva y resumen del Análisis de Varianza del Área Foliar.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Rango Val. Max.- Val. Min.
Lombricomposta	5	607.69	121.538	653.44532	25.56	21.03	144.96 / 83.74
Fertilizante Sintético	5	639.58	127.916	1890.09108	43.48	33.99	177.38 / 74.34
Testigo	5	367.51	73.502	1205.36512	34.72	47.23	116.69 / 33.60

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	8848.36596	2	4424.18298	<b>3.540383461</b>	0.061874616	<b>3.885293835</b>
Dentro de los grupos	14995.60608	12	1249.63384			
Total	23843.97204	14				

Para la variable número de hojas se encontró que el fertilizante sintético nuevamente obtuvo los valores más altos, en comparación con los otros tratamientos como se observa en la Figura 24.

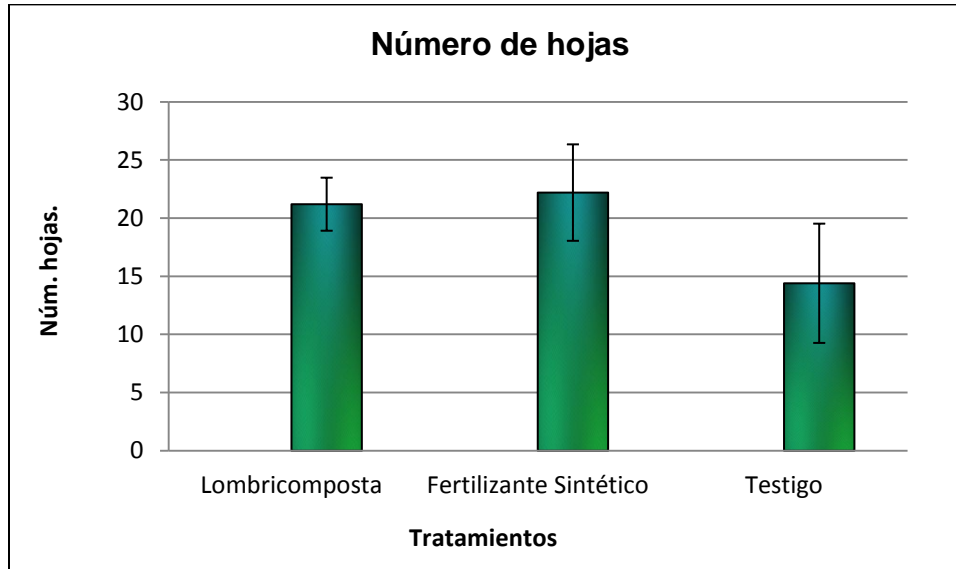


Fig. 24. Número de hojas promedio obtenidas en cinco lechugas elegidas al azar en cada tratamiento.

Los valores obtenidos en cada tratamiento fueron los siguientes: el fertilizante tuvo un valor de 22.2 hojas en promedio por lechuga, seguido de la lombricomposta con un valor de 21.2 hojas y del testigo con un promedio de 14.4 hojas por lechuga. De la misma manera como se observó en Análisis de Varianza realizado en el área foliar, el valor de “F” resultante del análisis aplicado para número de hojas (Figura 25), también es muy aproximado al Valor crítico, sin haber diferencia significativa entre los tratamientos y con un coeficiente de variación más bajo en la lombricomposta.

Figura 25. Estadística descriptiva y resumen del Análisis de Varianza del Número de Hojas.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Rango Val. Max.- Val. Min.
Lombricomposta	5	607.69	121.538	653.44532	2.28	10.76	24 / 18
Fertilizante Sintético	5	639.58	127.916	1890.09108	4.15	18.68	29 / 19
Testigo	5	367.51	73.502	1205.36512	5.13	35.61	20 / 9

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	8848.36596	2	4424.18298	<b>3.540383461</b>	0.061874616	<b>3.885293835</b>
Dentro de los grupos	14995.60608	12	1249.63384			
Total	23843.97204	14				

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

### Fase I.

En los resultados de esta fase se tiene el porcentaje de viabilidad de semillas mostrado en la Figura 4, que se puede atribuir a que las semillas fueron sembradas en almácigos con peat moss como sustrato, lo que permitió una mayor homogeneidad y cierta precocidad (Quesada-Roldán y Méndez-Soto, 2005), al obtener el brote en un promedio de 5.6 días, coincidiendo con lo reportado por Andino, 2011, quien menciona que la lechuga tiene un periodo de germinación de 5-10 días.

De las repeticiones de este ensayo, se obtuvo el tiempo promedio en el que se presentó la cuarta hoja en la lechuga, momento en el cual se recomienda su trasplante, resultando mayor al reportado por otros autores, quienes mencionan que en un periodo de 28-35 días se puede obtener la cuarta hoja (INIFAP, 2014).

Aunado a esto, se presentaron problemas de plaga y variaciones ambientales que pudieron influir en la mortalidad de las plántulas. Esto pudo ser causado por un inadecuado control de los parámetros ambientales en el invernadero, pues para controlar las variaciones de temperatura se realizaron riegos dentro y fuera del invernadero, además de la apertura de sus cortinas laterales para facilitar la entrada de aire.

Sin embargo las variaciones térmicas (figura 5) se hicieron presentes pudiendo haber influido en la mortalidad de las plántulas, pues de acuerdo a los registros del Sistema Meteorológico Nacional, 2013 en el periodo de Octubre a Diciembre, se presentaron 4 tormentas invernales y 12 frentes fríos de los cuales al menos dos de ellos se extendieron a estacionarios, ocasionando una gran variedad de condiciones atmosféricas a lo largo del tiempo que duraron estos frentes fríos.

## Fase II.

Respecto a los análisis fisicoquímicos de los sustratos utilizados se puede decir que ambos sustratos presentaron valores que entran en las especificaciones de calidad de la Norma Oficial Mexicana FF-109-SCFI-2007.

Con excepción del porcentaje de humedad y de la capacidad de intercambio catiónico, pues esta norma establece un rango de humedad que va de 20-40%; siendo excedido por la lombricomposta cuyos valores se aprecian en la Figura 6.

En contraste, el valor de la capacidad de intercambio catiónico obtenido no alcanzó el mínimo valor establecido por esta norma, pues sus valores deben de ser mayores a los 40  $\text{cmol kg}^{-1}$ . Esto se atribuye a una pérdida de grupos funcionales activos en el humus, que es la fracción de materia orgánica que tiende a descomponerse muy lentamente lo que a su vez determina el pH de los sustratos (SAG, 2013) cuyo valor (figura 6) es muy parecido al reportado por Matheus *et al.* 2007, pues encontraron un pH de 6.8 en lombricomposta.

Así mismo, los valores de materia orgánica obtenidos son mayores a los encontrados por Camacho-Coronel, 2011 pues obtuvo un 20.15%, éste componente edáfico también influyó en otros fisicoquímicos, dado que al estar en grandes cantidades el suelo pesa menos que un volumen igual de sólidos minerales, obteniendo una disminución en la Densidad Real (Huerta-Cantera. 2010).

Por otro lado, el porcentaje de humedad que coincide con los reportado por Márquez-Márquez, 2012, se atribuye a los poros del sustrato, pues en ellos se retiene una mayor cantidad de agua (Domínguez J. *et al.*, 2010). Los valores mayores de Potasio obtenido en la lombricomposta en comparación con los de la tierra negra (Figura 6), se atribuyen a los materiales con los que se elaboró la lombricomposta, pues los restos vegetales contienen este nutriente (Mamani-Mamani *et al.*, 2012).

Respecto al peso total de lechugas por Unidad Experimental (U. E.), peso por planta y peso de la raíz, el tratamiento con fertilizante sintético fue el que presentó los mayores valores promedio de peso, como se observa en las Figuras 8 ,12 y 15. Esto coincide con lo reportado por Añez y Espinoza, 2003 quienes mencionan que los mayores pesos se encontraron después de la aplicación del fertilizante químico.

Esta respuesta se atribuye a una fácil y rápida liberación de los componentes nutrimentales del fertilizante, lo que favorece que se encuentren disponibles en forma inmediata para las plantas (Matheus L. J. *et al.*, 2007).

Sin embargo, hubo una diferencia significativa entre los tratamientos de acuerdo con los valores críticos de los Análisis de Varianza mostrados en las Figuras 9, 13, y 16, respectivos a las variables de peso total de lechugas por U. E, peso por planta y peso de las raíces.

Por lo que en la prueba de LSD aplicada (Figuras 10, 14 y 17), se encontró que los tratamientos con lombricomposta y el testigo tuvieron un efecto diferenciado en el peso de las lechugas y en el de sus raíces.

Éstos efectos también observados en los bajos Coeficientes de variación de los dos tratamientos en comparación con el del fertilizante, se atribuyen a que la lombricomposta alcanza su mayor efecto hasta después de 60 días de su aplicación, por lo que se le considera un abono de lenta liberación que aporta los nutrimentos a través del tiempo. Del mismo modo que en la tierra negra, esto depende de diversos factores como sus condiciones biológicas, ambientales y del material orgánico (Matheus L. J. *et al.*, 2007).

Por otro lado, los valores más altos del tamaño de la raíz también fueron alcanzados con la aplicación del fertilizante, sin presentar diferencia significativa en los tres tratamientos de acuerdo al Análisis de Varianza aplicado (Figura 19).

La respuesta obtenida en los tratamientos, para la variable “tamaño de la raíz”, principalmente en la lombricomposta y en el testigo, se atribuye al espacio ofrecido, que trajo un efecto negativo en el crecimiento de las raíces, al evitar la formación de estructuras que cubrieran mayor superficie (Guevara E. y Guenni O., 2013), aumentando la competencia con las raíces de las plantas vecinas por nutrientes disponibles (Chaimsohn P. F. *et al.*, 2007).

Sin embargo a causa de la aplicación de Potasio por medio del fertilizante, las raíces con este tratamiento aseguraron una absorción del 60% de este nutriente, convirtiéndose en el más aprovechable por la planta (Gavi-Reyes, 2013), provocando que el tamaño de las raíces del cultivo se viera aumentada en este tratamiento (Lacarra-García y García-Sandoval, 2011). Además, la aplicación de un fertilizante promueve un uso más eficiente de los recursos (FAO, 2002).



Enseguida se encuentra el peso total del vástago por U. E. encontrando los valores promedio más altos en el tratamiento del fertilizante. Sin embargo la respuesta obtenida en todos los tratamientos se atribuye a la temperatura, pues para la formación del vástago, se requieren de 10-12 °C (INIFAP, 2014), y dentro de las variaciones térmicas hubo días en los que se registraron temperaturas mínimas de 11-13°C, lo que pudo haber contribuido a la formación de los pequeños vástagos resultantes como se muestra en la Figura 26.

Éste rango de temperaturas registradas en el invernadero se atribuye a que durante el periodo de trasplante, que fue de Enero a Abril del año 2014, hubo 11 frentes fríos de acuerdo a los registros del Sistema Meteorológico Nacional, 2014, considerando al mes de Enero como el más frío con un registro de temperaturas mínimas promedio de 2.7 °C en el Estado de México; así mismo en el mes de Febrero se registraron temperaturas mínimas promedio de 3.9 °C en la misma región.

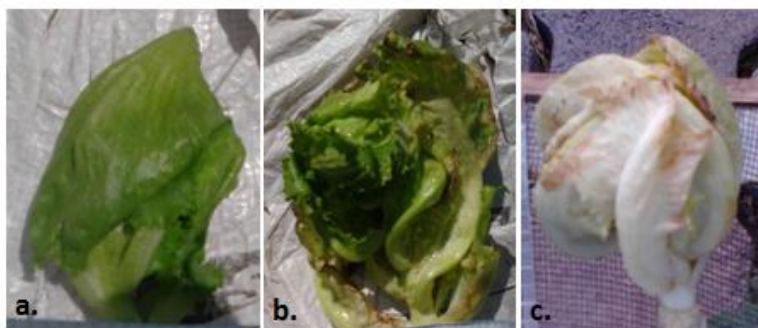


Fig. 26. Vástagos formados en cada tratamiento, a: Lombricomposta, b: Fertilizante sintético y c: Testigo.

Otra de las variables medidas, fue la altura, en la que se encontraron valores más altos en el tratamiento con lombricomposta (Figura 20), aunque sin haber diferencia significativa entre los tres tratamientos de acuerdo al Análisis de Varianza aplicado (Figura 21).

Esto se atribuyen a una baja luminosidad, pues estas hortalizas fueron cultivadas bajo una malla sombra de 50/50%, en un invernadero construido con un plástico lechoso de calibre 400, que deja pasar únicamente una fracción de la radiación solar externa, provocando en general un crecimiento muy alargado de las plantas, una coloración deficiente y por lo tanto una reducción de la actividad fotosintética neta (Rajendran C. *et al.*, 2009).

Otro factor atribuible es un exceso de Nitrógeno (N), pues ambos sustratos fueron extremadamente ricos en este macronutriente (Figura 6), además de la aplicación del mismo en el tratamiento con fertilizante sintético.

El exceso de N provoca en las plantas la estimulación del crecimiento cambiando su morfología y favorece el encamado del tallo, además retarda la madurez de la cosecha y disminuye la resistencia a las plagas (Lacarra-García y García-Sandoval, 2011).

En la siguiente Figura se pueden observar los efectos del exceso de N en las lechugas.



Fig. 27. Muestra el cambio de morfología y el encamado del tallo de las lechugas en los tres tratamientos; a: Testigo, b: Fertilizante sintético y c: Lombricomposta.

El retraso de la madurez se vió al momento de la cosecha, pues se realizó a los 119 días después del trasplante, cuando lo ideal es que se realizara desde los 50 a los 80 días después del mismo (Guadarrama-Díaz, 2006).

Por otro lado, la baja resistencia de la planta a las plagas, se observó en el momento en que el cultivo fue invadido por pulgones que se alimentan de savia y por caracoles que se alimentan del follaje, interfiriendo con el desarrollo óptimo de las plantas (Cañedo V. *et al.* 2011).

Dado que el área foliar y el número de hojas son variables importantes desde el punto de vista económico, el efecto de los tres tratamientos sobre estas variables mostrado en las Figuras 22 y 24 respectivamente, se atribuye al contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (Figura 6) en los sustratos evaluados, al igual que en el fertilizante sintético utilizado, cuya composición se basa en los mismos macronutrientes.

El Fosforo y el Potasio, intervienen de manera importante en el proceso de fotosíntesis (Lacarra-García y García-Sandoval, 2011) para la elaboración de compuestos alimenticios y formación de tejidos (Hidalgo-Loggiodice *et al.*, 2009). Mientras que el Nitrógeno forma parte de la clorofila y es el constituyente esencial de las proteínas, estando involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas (Meza-Guzmán, 2011).

No obstante, observando la Figura 23, podemos notar que a pesar de no mostrar diferencia significativa entre tratamientos respecto al área foliar de las lechugas, el valor de “F” es muy aproximado al valor crítico arrojado por el Análisis de Varianza. Así mismo, el coeficiente de variación obtenido en la lombricomposta, es menor a los demás tratamientos, con 12.96 unidades menos que el coeficiente de variación del fertilizante, que también fue menor al del testigo.

De la misma manera como se observó en Análisis de Varianza realizado en el área foliar, el valor de “F” resultante del análisis aplicado para número de hojas, también es muy aproximado al Valor crítico (Figura 25), sin haber diferencia significativa entre los tratamientos.

Sin embargo, el Coeficiente de Variación (C. V) obtenido en la lombricomposta es menor a los otros dos tratamientos, cuya diferencia es de 7.92 unidades menos respecto del C.V obtenido en el fertilizante, que también obtuvo una variación de datos más baja que el testigo.

Este particular efecto de la lombricomposta tanto en el área foliar como en el número de hojas, se atribuye a que además de la cantidad de nutrientes, contiene sustancias fenólicas, que provocan la activación de los procesos de respiración y metabolismo, comportándose como hormona reguladora de crecimiento, provocando que haya cierta homogeneidad en el cultivo (Hidalgo-Loggiodice *et al.*, 2009).

Finalmente se puede decir que los elevados coeficientes de variación de la mayoría de las variables de producción estudiadas en el presente trabajo, pueden deberse a los cambios de temperatura y humedad dentro del invernadero, al carecer de equipamiento adecuado para el control del clima, lo que provoca cambios diarios y estacionales de estos factores característicos de la región, impactando en el desarrollo general del cultivo.

## CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos y la escasa información sobre este cultivo intensivo, podemos concluir que:

- El porcentaje de viabilidad de este tipo de lechuga fue elevado, por tal razón las plántulas germinadas se consideran como una excelente opción en el mercado de los microgreens.
- Las características fisicoquímicas de la lombricomposta permiten que se encuentre casi en su totalidad dentro de los estándares legales de calidad permitiendo que sea otra alternativa económica al comercializarse como abono orgánico.
- El fertilizante sintético (Triple 17) obtuvo los mayores valores de las variables de producción medidas, siendo una alternativa en la producción de productos orgánicos, siempre y cuando se mantenga un control adecuado de los lixiviados.
- El factor más importante que intervino en el desarrollo de la producción, fue el control de los parámetros ambientales dentro del invernadero, siendo la humedad y la temperatura los parámetros claves para obtener específicamente un óptimo desarrollo de *Lactuca Sativa Var. Longifolia*.
- Las variaciones ambientales dentro del invernadero determinaron la presencia de plagas, lo que disminuyó el rendimiento del cultivo, por lo que también es necesario realizar un manejo adecuado de plagas.
- El comportamiento de los sustratos, nos muestra que existe la posibilidad de utilizar la lombricomposta como un fertilizante en este tipo de cultivo y con la especie seleccionada.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ancona-Méndez L., Pech-Martínez V., Flores-Novelo A. 2006. Perfil del mercado de la vermicomposta como abono para jardín en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 10(19): 16.
- Andino K., 2011. Prácticas para la producción de huertos familiares urbanos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). *Agricultura Urbana y Periurbana (AUP) Tegucigalpa, Honduras*. Comunica. 12 p.
- Añez B. y Espinoza W. 2003. Respuestas de la lechuga y del repollo a la fertilización química y orgánica. *Forest*. 47(2): 73- 82.
- Camacho-Coronel X. 2011. Cultivo biointensivo de hortalizas en un suelo de tepetate en San Miguel Hila, Municipio de Nicolás Romero, Edo. México. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Tesis Licenciado en Biología. Tlalnepantla de Baz, Edo. De México. 51 p.
- Cañedo V., Alfaro A. y Kroschel J. 2011. Manejo Integrado de Plagas de Insectos de Hortalizas. Principios de referencias técnicas para la Sierra Central de Perú. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú. 44 p.
- Chaimsohn P. F., Villalobos E. y Mora-Urpí J. 2007. El fertilizante orgánico incrementa la producción de raíces en pejobaye (*Bactris gasipaes* K.). *Agronomía Costarricense* 31(2): 57-64.
- Criollo H., Lagos T., Piarpuezan E. y Pérez R. 2011. Efecto de tres biofertilizantes líquidos en la producción de lechuga (*Lactusa sativa* L.) y repollo (*Brassica oleracea* L. var. capitata). *Agronomía Colombiana*. 29 (3): 415-421.
- Cruz-Crespo E., Can-Chulim A., Sandoval-Villa M., Bugarín-Montoya R., Robles-Bermúdez A., Juárez-López P. 2013. Sustratos en la agricultura. *Revista Bio Ciencias*. 2(2): 17-26.
- Diario Oficial de la Federación. NOM-008-FITO-1995. Publicado: 08/07/1996. Última modificación: 22/Mayo/2009.
- Diario Oficial de la Federación. NOM-EM-034-FITO-2000. Publicado: 31/Octubre/2000.
- Díaz E. 2002. Guía de Lombricultura. Una alternativa de producción. Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior. Municipio Capital de La Rioja. 57 p.
- Domínguez J., Gómez-Blandón M., Lazcano C. 2010. 2010. Propiedades Bioplaguicidas del Vermicompost. *Redalyc. Acta Zoológica Mexicana*. 2: 373-383.
- Durán-Durán A., Vargas V. A., Cisneros C. Antonio E. 2009. Bioestadística. Segunda Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. Tlalnepantla, Estado de México. 260 p.
- FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2006. Fichas Técnicas. Productos frescos y procesados. Publicado en el URL: [http://www.fao.org/inpho\\_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/LECHUGA.HTM](http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/LECHUGA.HTM) Consultado: 23/Agosto/2013.
- FAO. 2002. Los Fertilizantes y su uso. Cuarta edición. Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA). Roma, Italia. 87 p.

Fundación Produce Nayarit, A. C. Publicado en el URL:  
<http://fupronay.org.mx/folleto%20tecnico/LOMBRICOMPOSTA%20INF.pdf> Consultado:  
22/ Agosto/2013.

García-Hernández J. L., Orona-Castillo I., Salazar-Sosa E., Vázquez-Vázquez C., Zúñiga-Tarango R., López-Martínez J. D., Rueda-Puente E.O. 2010. Filosofía, desarrollo y adopción de la agricultura orgánica: el caso de México. *Agricultura orgánica-AGROFAZ*. 10 (1): 10.

García-Quijano D. y Santiago-Galdeano M. T. 2011. *Alimentos Ecológicos, Alimentación Sana*. 114 p.

Gavi-Reyes F. 2013. *Uso de Fertilizantes*. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Subsecretaria del Desarrollo Rural. Texcoco, Estado de México. 11 p.

Gómez-Álvarez R., Lázaro-Jerónimo G., León-Nájera J. A. 2008. Producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y rábano (*Rhabanus sativus* L.) en huertos biointensivos en el trópico húmedo de Tabasco. *Universidad y Ciencia trópico húmedo*. 24(1):11-20.

Gómez-Cruz M. Á., Gómez-Tovar L. y Schwentesius-Rindermann R. 2003. México como abastecedor de productos orgánicos. *Comercio Exterior*. 53 (2):128-138.

Gómez-Cruz M. A., Schwentesius-Rindermann R., Ortigoza-Rufino J. y Gómez-Tovar L. 2010. Situación y desafíos del sector orgánico de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. (4): 593-608.

Guadarrama-Díaz. 2006. *Cultivo orgánico de Lechuga*. ICAMEX: Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. Toluca, Estado de México. 16 p. Publicado en el URL:  
[http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion\\_publicaciones/horticola/lechuga/index.htm](http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion_publicaciones/horticola/lechuga/index.htm).

Guevara E. y Guenni O. 2013. Densidad y longitud de raíces en plantas de *Leucaena leucocephala*. *Redalyc. Multiciencias*. 13(4): 372-380.

Hernández-Hernández O. L. 2012. *Estudio de casos de producción de semilla de lechuga (lactuca sativa L.) a baja escala*. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. Tesis Ingeniero Agrónomo. Xalapa de Enriquez, Veracruz. 48 p.

Hidalgo-Loggiodice P. R., Sindoni-Vielma M. y Marin C. 2009. Evaluación de sustratos a base de vermicompost y enmiendas orgánicas líquidas en la propagación de parchita (*Passiflora edulis v. flavicarpa*) en vivero. *Revista UDO Agrícola* 9(1): 126-135.

Huerta-Cantera Hilda Edith. 2010. *Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Qro., y su relación con el crecimiento bacteriano*. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales. Tesis Licenciado en Biología. Querétaro, Qro. 53 p.

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.inegi.org.mx/> . Consultada: 2-Agosto-2013.

- INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Requerimientos Agroecológicos de Cultivos. <http://www.inifap.gob.mx/SitePages/default.aspx>. Consultada: 8-Octubre-2014.
- Lacarra-García A. R y García-Sandoval C. 2011. Validación de cinco sistemas hidropónicos para la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. ) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) en invernadero. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. Tesis Ingeniero Agrónomo. Xalapa de Enriquez, Veracruz. 52 p.
- Mamani-Mamani Gladys, Mamani-Pati Francisco, Sainz-Mendoza Humberto, Villca-Huanaco René. 2012. Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia spp.*) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. Journal of the Selva Andina Research Society. 1 (1):44-54.
- Martínez-Salazar G. M., Oaxaca-Torres J., Guerra-Martínez R. 2011. Productos orgánicos; Agronegocio exitoso en México. Revista Mexicana de Agronegocios. 15 (28): 503-513.
- Márquez-Hernández C., Cano-Ríos P. y Rodríguez-Dimas N. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. Agricultura Técnica en México. 34 (1): 69-74.
- Márquez Márquez G. 2012. Cultivo biointensivo de cilantro (*Coriandrum sativum*, L. variedad Pakistán) y albahaca (*Ocimum basilium* L. variedad italiana), utilizando lombricomposta como sustrato, en condiciones de Invernadero. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Tesis Licenciado en Biología. Planta Piloto y Laboratorio para la Enseñanza en la Producción de Hongos Comestibles y Medicinales Cultivados, Proyectos Productivos, Jardín Botánico. Edo. De México. 43 p.
- Matheus L. J., Caracas J. y Montilla F. 2007. Eficiencia Agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea mays* L). Agricultura Andina. 13: 27-38.
- Meza-Guzmán J. C. 2011. Acumulación de Nitrógeno en suelo y residuos vegetales de un cultivo con dos variedades de jícama (*Pachyrhizus erosus*). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología. Tesis Ingeniero Agrónomo. Uruapan, Michoacán. 61 p.
- Mikkel A. 2003. ¿Es la certificación algo para mí? Una guía práctica sobre por qué, cómo y con quién certificar productos agrícolas para la exportación. RUTA/FAO. Unidad Regional de Asistencia Técnica. 32 p.
- Muñoz-Iniestra D. J., Mendoza-Cantú A., López-Galindo F., Soler-Aburto A. y Hernández-Moreno M. M. 2012. Edafología. Manual de Métodos de Análisis de Suelo. Universidad Nacional Autónoma de México. Tlalnepantla, Estado de México. 82 p.
- Olivares-Campos M. A., Hernández-Rodríguez A., Vences-Contreras C., Jáquez-Balderrama J. L., Ojeda-Barrios D. 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo. 28 (1): 27-37.
- Quesada-Roldán G. y Méndez-Soto C. 2005. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. Agronomía Mesoamericana. 16 (2): 171-183.

- Rajendran, C., K. Ramamoorthy y S.J. Hepziba. 2009. Nutritional and physiological disorders in crop plants. Scientific Publishers, Jodhpur, India.
- Ruiz-Morales M. 2011. Taller de elaboración de lombricomposta. Porque tener lombrices nos beneficia a todos... Universidad Iberoamericana, A. C. México. 23 p.
- SAG: Servicio Agrícola y Ganadero. 2013. Agricultura Orgánica Nacional. Bases Técnicas y Situación Actual. Chile. 156 p.
- SAGARPA: Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.sagarpa.gob.mx/Paginas/default.aspx> Consultada: 2 y 3-Agosto-2013.
- SMN: Servicio Meteorológico Nacional, 2013 y 2014 <http://smn.cna.gob.mx/> Consultada: 25-Enero-2015.
- Soto G. y Muschler R. 2001. Génesis, fundamentos y situación actual de la agricultura orgánica. Manejo Integrado de Plagas. (62): 101-105.
- Tapia M. L. y Caro J. M. 2009. Production of lettuce seedlings (*Lactuca sativa*) in granular rockwool and expanded perlite for use in hydroponics. Ciencia e Investigación Agraria. 36 (3): 401-410.