



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**

**Efecto del humus de lombriz sobre los esquejes y el desarrollo de la plántula
de Nopal, *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller**

**TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
BIOLOGA**

**PRESENTA:
ZAMUDIO SOLIS KAREN**

**DIRECTOR
BIOL. VICTOR MANUEL ESPARZA MARTÍNEZ**

MÉXICO D.F. DICIEMBRE 2013



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.

ÍNDICE

1	Introducción	6
1.1	Suelo	6
1.2	Tipos de suelo	7
1.3	Humificación	7
1.4	Vermicomposta	9
1.5	Lixiviado	10
2	Cultivo en México	10
2.1	Nopal	10
3	Productos orgánicos	12
4	Certificación orgánica	13
5	Antecedentes	16
6	Hipótesis	18
7	Justificación	18
8	Objetivos	19
8.1	Objetivo general y particulares	19
9	Diseño experimental	20
10	Materiales y método	21
11	Resultados y discusión	23
12	Discusión final	45
13	Conclusiones	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Conteo de raíces secundarias de cada tratamiento	26
Tabla 2	Promedio de las temperaturas registradas en cada mes de corte	28
Tabla 3	Brotos crecidos es suelo permanente	30
Tabla 4	Prueba de Tukey mes Abril	31
Tabla 5	Prueba de Tukey mes Mayo	31
Tabla 6	Prueba de Tukey mes Julio	31
Tabla 7	Prueba de Tukey mes Agosto	31
Tabla 8	A.V. Longitud Abril	32
Tabla 9	A.V. Longitud Mayo	33
Tabla 10	A.V. Longitud Julio	34
Tabla 11	A.V. Longitud Agosto	35
Tabla 12	A.V. Grosor Abril	36
Tabla 13	A.V Grosor Mayo	37
Tabla 14	A.V. Grosor Julio	38
Tabla 15	A.V. Grosor Agosto	39
Tabla 16	A.V. Biomasa Abril	40
Tabla 17	A.V. Biomasa Mayo	41
Tabla 18	A.V Biomasa Julio	42
Tabla 19	A.V Biomasa Agosto	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Conteo de raíces	26
Figura 2	Inicio de Brotación en cajas de plástico	28
Figura 3	Brotos de esquejes sembrados en suelo permanente	30
Figura 4	Longitud del mes de Abril	32
Figura 5	Longitud del mes de Mayo	33
Figura 6	Longitud del mes de Julio	34
Figura 7	Longitud del mes de Agosto	35
Figura 8	Grosor del mes de Abril	36
Figura 9	Grosor del mes de Mayo	37
Figura 10	Grosor del mes de Julio	38
Figura 11	Grosor del mes de Agosto	39
Figura 12	Biomasa del mes de Abril	40
Figura 13	Biomasa del mes de Mayo	41
Figura 14	Biomasa del mes de Julio	42
Figura 15	Biomasa del mes de Agosto	43

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1	Pruebas químicas del lixiviado de lombriz	24
CUADRO 2	Pruebas químicas del humus de lombriz	24
CUADRO 3	Características de los nutrientes de cladodios con vermicomposta y comerciales	44

RESUMEN

La tendencia mundial de obtener productos alimentarios sanos, ha creado la necesidad de desarrollar cultivos orgánicos, mediante la restructuración de los suelos con el uso de abonos y fertilizantes naturales. La vermicomposta o humus de lombriz, es un sustrato a base de deyecciones de la lombriz *Eisenia foetida* y el lixiviado es la fracción líquida de la vermicomposta. Dentro de los cultivos de alta demanda y valor nutricional se encuentra el Nopal que es la base alimentaria de muchos estados de la República Mexicana.

Para este trabajo se utilizó el lixiviado de lombriz como cicatrizante comparándolo con azufre al 100% en esquejes de nopal y el humus como sustrato de siembra y el humus combinado con suelo natural de la FESI, se realizaron siembras en diferentes meses del año (Abril, Mayo, Julio y Agosto).

Los resultados obtenidos mostrarán que los esquejes con el tratamiento de lixiviado incrementarán su producción, debido al aceleramiento presentado en el crecimiento de las raíces secundarias; aunado a esto, los brotes adquirieron mayor peso, longitud y grosor, encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos con azufre, lixiviado y testigo.

En lo que respecta al factor tiempo, el mes que registró un mayor aceleramiento en cuanto al incremento en el número de brotes fue el mes de Julio, este resultado puede deberse a la temperatura óptima de ese mes, oscilaba entre los 27 y 36°C.

Se concluyó que el uso de lixiviado en las condiciones de estudio acortó el periodo de enraizamiento respecto al uso de azufre y testigo, donde estos últimos no observaron diferencias significativas, por lo concerniente al lixiviado con humus de lombriz permite mantener las propiedades orgánicas del nopal para un consumo más saludable.

1. INTRODUCCIÓN

El progreso de cualquier civilización está estrechamente relacionado con el desarrollo de su agricultura, de las mejoras que se realicen en ella depende el crecimiento o extinción de un pueblo y para desenvolverse de una manera productiva es necesario conocer los cultivos posibles y rentables según el medio (suelo, clima, posición geográfica), las técnicas ayudarán a sacar mayor provecho del campo, los problemas que pueden surgir y la manera de resolverlos (Rivera C., 2009).

1.1 Suelo

El suelo es la fina capa de material fértil que recubre la superficie de la tierra, situada en el límite entre la atmósfera y la zona continental de la corteza terrestre. La atmósfera, corteza y suelo interactúan para proporcionar a los seres vivos los recursos que necesitan (Jordán, 2006)

La mayor parte de la superficie continental es suelo, agregado de minerales no consolidados y de partículas orgánicas producidas por la acción combinada del viento, el agua y los procesos de desintegración orgánica. (Ferrara C. R, Alarcón A., 2001).

El suelo constituye la base sobre las que se asientan las plantas y para que estas puedan prosperar adecuadamente necesitan crecer sobre el suelo adecuado. Este se encuentra conformado por materia orgánica que actúa sobre una capa de materia inerte situada en la superficie de la tierra. Esta última capa se forma por piedras y minerales, lo que normalmente se conoce como “tierra” y que ha sido el resultado de la degradación física o química de las rocas, la siguiente capa se le llama “capa vida”, ya que está constituida por microorganismos, pequeños animales, materia vegetal (Ferrara C. R, Alarcón A., 2001).

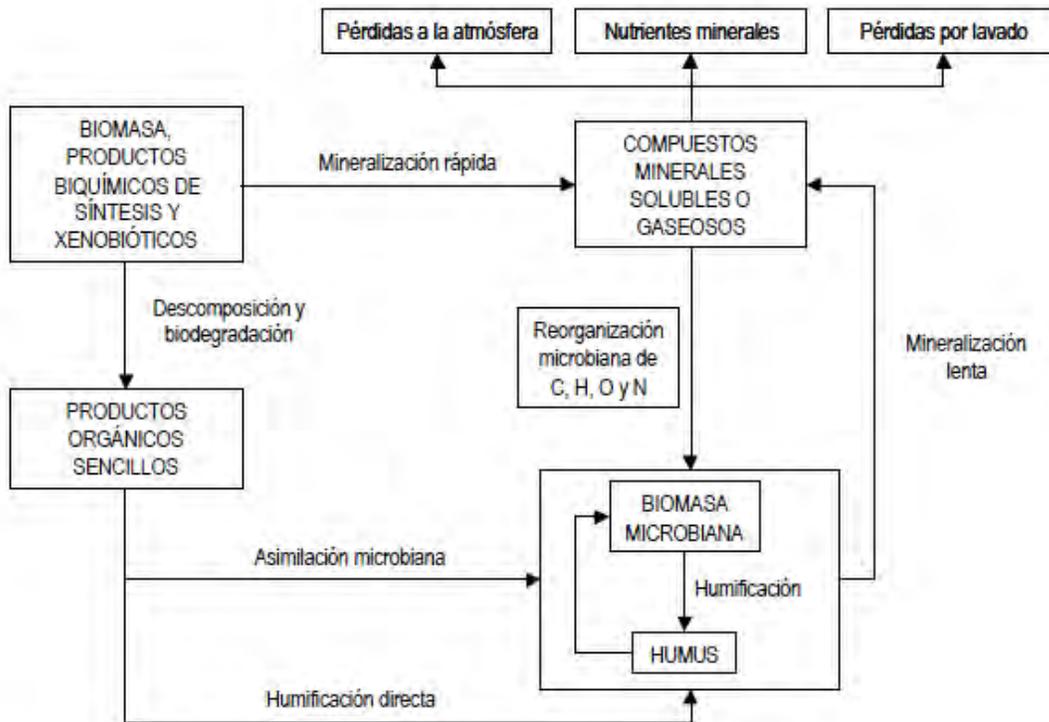
1.2 Tipos de suelo

Existen diferentes tipos de suelos útiles para cultivos: Suelos arcillosos, limosos y húmicos; los primeros están formados principalmente por arcilla que está constituida por silicato de aluminio hidratado, son muy impermeables dado que no dejan pasar el agua o el aire, todo ello propicia que sean suelos donde el agua se estanque con facilidad, es bueno para sembrar plantas medicinales o aromáticas debido a que sus raíces son fuertes y largas, capaces de penetrar en capas más profundas, además de que podemos encontrar elementos como Na, K, Ca, Mg, Fe. Los suelos limosos contienen una proporción muy elevada de limos producidos por la sedimentación de materiales muy finos arrastrados por el agua o depositados por el viento, en estos suelos se pueden encontrar cultivos como el arroz o la lechuga.

Los suelos húmicos se componen por moléculas complejas orgánicas formadas por la descomposición de materia orgánica. El ácido húmico influye en la fertilidad del suelo por su efecto en el aumento de su capacidad de retener agua, contribuyen significativamente a la estabilidad y fertilidad del suelo resultando en crecimiento excepcional de la planta y en el incremento en la absorción de nutrientes, este suelo es adecuado para cultivo de plantas suculentas como *Opuntias* y *Agaves* (FAO, 2001).

1.3 Humificación

Esta fase se inicia inmediatamente después de la fase de proliferación microbiana y prosigue a medida que disminuye la población microbiana. La actividad de los microorganismos decrece paulatinamente debido a la falta de carbono (cuya oxidación permite la obtención de energía). En ese momento intervienen las bacterias nitrificantes, de modo que el nivel de nitratos vuelve a los valores iniciales del proceso. El humus sufre también procesos de mineralización, pero en este caso se trata de una degradación más lenta, debido a la estabilidad de las sustancias que lo componen. Los productos de este proceso son un conjunto de compuestos inorgánicos solubles o gaseosos que pueden seguir distintas vías dentro del sistema o salir del sistema como se muestra en la siguiente imagen.



En esta imagen encontramos el proceso de humificación comenzando con la fase microbiana y terminando en la liberación de carbono y compuestos inorgánicos (Jordán, 2006).

Sin embargo la revolución agrícola promovida en el siglo XIX por Justus von Liebig (1843) demostró que las plantas precisaban de agua y algunas sustancias inorgánicas para su nutrición, poniendo en duda la teoría de que solo los nutrientes del suelo eran suficientes para el buen desarrollo de la planta, fomentando así el uso de fertilizantes inorgánicos que están de 20 a 100 veces más concentrados en elementos básicos como N,P y K que los residuos orgánicos, lo que supuso un indudable efecto positivo en la agricultura aumentando los rendimientos y provocando el abandono de muchas técnicas antiguas de cultivo. Para complementar las propiedades del suelo que ayudan al desarrollo efectivo de una planta se añaden incomparables tipos de abonos por su característica principal de proporcionar elementos nutritivos, macro y micro nutrientes. Algunos de los más utilizados se muestran en el siguiente cuadro (Ochoa, 2008; Navarro *et al.*, 1995).

En el siguiente cuadro se encuentra una comparación entre fertilizantes orgánicos, midiendo la materia seca, nitrógeno (N), fosfatos (P_2O_5) y potasio (K_2O).

Estiércol de	Materia seca	N	P_2O_5	K_2O
Equino	33%	0.67	0.25	0.55
Bovino	18%	0.60	0.15	0.45
Gallina	45%	1	0.80	0.40
Lombriz	30-50%	2.42	2.74	1.10

1.4 Vermicomposta

La vermicomposta o humus de lombriz se genera en el tubo digestivo de la lombriz, puesto que son consumidores voraces de residuos orgánicos y aun cuando sólo utilizan una pequeña parte para la síntesis de sus cuerpos, ellas excretan una gran parte de los residuos consumidos en una forma medio digerida. Pues los intestinos de las lombrices contienen una amplia gama de microorganismos, enzimas, hormonas, etc., éstos materiales medio digeridos que se descomponen rápidamente y son transformados a una vermicomposta en un período de tiempo corto (Ghosh *et al.*, 1999).

Las lombrices, durante el proceso de alimentación, fragmentan los residuos, incrementan la actividad microbiana y los índices de descomposición y/o mineralización de los residuos orgánicos, alteran las propiedades físicas y químicas de los materiales, provocando un efecto de composteo o humificación mediante el cual la materia orgánica inestable es oxidada y estabilizada. El producto final, comúnmente llamado vermicomposta es obtenido conforme los residuos orgánicos pasan a través del intestino de la lombriz y es bastante diferente al material original. Asimismo, se ha mostrado que bajo la acción de las lombrices se incrementa tanto la velocidad de mineralización de N como los índices de conversión de $N-NH_4^+$ a $N-NO_3^-$ (Atiyeh *et al.*, 2002).

1.5 Lixiviado

La fracción líquida que se obtiene del proceso de compostaje del estiércol es producto del riego de la vermicomposta, se conoce como lixiviado de composta y presenta como ventaja una densidad uniforme. Los lixiviados son ricos en elementos nutritivos y contienen microorganismos que previenen enfermedades, es decir es un fertilizante líquido orgánico, se caracterizan por tener una coloración negra, contienen químicos antimicrobianos que inhiben el crecimiento de hongos, detiene la expansión de la lesión en la superficie de la planta. Poseen altos valores de materia orgánica, carbono orgánico, ácidos fúlvicos y ácidos húmicos, que actúan como desestresantes y protectores de plagas por su textura pegajosa (Uribe *et al.*, 2011).

2. Cultivos en México

En México la vida rural ha asistido cambios importantes en las últimas décadas, en el 2010 hubo un incremento en la producción de 179.6 millones de toneladas de alimentos en el país siendo el primer productor de papa de temporal, primer y único productor de clavel, segundo productor de maíz temporal de grano, avena forrajera y durazno. De este mismo modo otros cultivos muy importantes de consumo nacional y de importación son: el café, maíz, trigo, caña de azúcar, frijol, nopal (Secretaria de Agricultura, 2010).

2.1 Nopal

La clasificación taxonómica más aceptada para las cactáceas es la de Bravo (1978):

Reino: Vegetal

Subreino: embryophyta

División: angiospermae

Clase: dicotiledónea

Subclase: dialipétalas

Orden: opuntiales

Familia: cactaceae

Subfamilia: opuntioideae

Género: *Opuntia* y *Nopalea*

La morfología de las plantas de género *Opuntia* es variada, pueden ser arbustivas o arbóreas, con cladodios cilíndricos, sin o con espinas pequeñas llamadas ahuates y grandes que son consideradas hojas modificadas. Los frutos pueden ser polispermos,

carneosos, ovoides y con espinas (Granados y Castañeda, 2003). Quizá su característica principal es la presencia de areolas (Bravo, 1978). De cada areola se origina una flor o un nopalito, las flores son autógamas y solamente abren durante 24 horas (Boke, 1980; Nerd y Mizrahi, 1995; Wang *et al.*, 1997); además, la mayor producción de brotes se presenta en cladodios de 1 ó 2 años de edad (Bowers, 1996).

Las plantas del género *Opuntia spp.*, pertenecen al grupo de especies con metabolismo fotosintético ácido crasuláceo (MAC). Estas plantas se caracterizan fundamentalmente por sus respuestas bioquímico-fisiológicas como la oscilación diaria de la acidez y su aspecto anatómico y morfológico, como la presencia de un mesófilo no clorenquimatoso con paredes celulares delgadas especializadas para acumular agua durante largos periodos de sequía, vacuolas prominentes, estomas pequeños, baja densidad estomática y cutícula gruesa que les permite disminuir la pérdida de agua; además, poseen tallos y hojas suculentos y un índice raíz/vástago que limita la pérdida de agua hacia el suelo (Black, 1986 y García R., 2007).

El nopal no solo es apreciado como recurso vegetal en los climas áridos, semiáridos y de escasa precipitación pluvial, sino que se encuentra ampliamente distribuido en aproximadamente 30 millones de hectáreas alrededor del mundo. En México, especialmente, se encuentran 3 millones de hectáreas sembradas de nopal *Opuntia spp.*, y su consumo humano puede ser en fruta (tuna) y en verdura (cladodio), y en forraje para consumo animal. El municipio con mayor producción de nopal se encuentra en Milpa Alta aproximadamente con unas 27,000 plantas por Ha, esta zona se localiza a una altura de 2.420 msnm, con una precipitación anual de 756.1 mm y una temperatura promedio de 15.9°C (Estrada, 1998 y Granados, 1991).

A pesar de que al nopal se le ha considerado una planta de fácil adaptación y crecimiento en áreas desérticas, es importante reconocer que para su explotación comercial y constante producción de brotes, es necesario brindarle toda la cantidad y calidad de agua y nutrientes que la planta requiere. También es preciso conocer todos los factores importantes e indispensables para desarrollar un cultivo en óptimas condiciones ya que estos factores dificultan en gran manera las labores culturales como el volteo, nivelación y rastreo, obstaculizando el desarrollo de la raíz y por consecuencia un deterioro en la producción de biomasa vegetal (Rodríguez, 2010). Algunos de estos factores son:

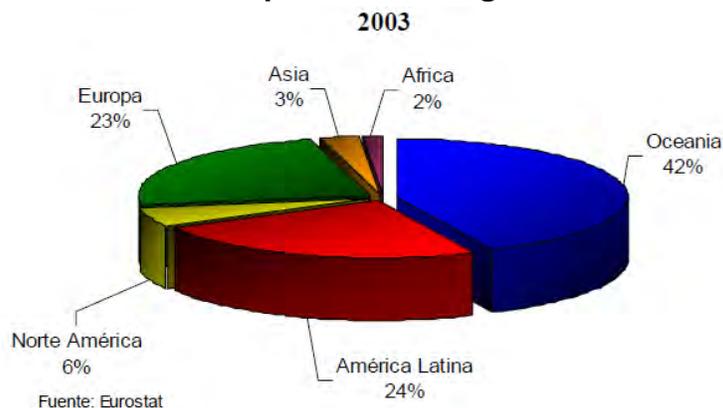
- El tipo de suelo: se ha mostrado mayor desarrollo y producción de brotes en suelos de tipo franco arcillosos,
- Clima: el área seleccionada para la siembra de nopal debe tener una temperatura promedio que oscile entre 15 y 26°C, las temperaturas menores de 5°C en los retoños ocasionan graves daños e inclusive bajo 0°C puede causar la muerte de la planta en su totalidad;
- Para una explotación comercial del nopal verdura, la cantidad y calidad del agua es un factor prioritario para la constante producción de brotes en una plantación, se realizan análisis de metales pesados y materia orgánica que puedan afectar el cultivo (Burgueño, 1999).

3. Productos orgánicos

La sociedad actual pretende regresar a la forma de cultivo antigua ya que el suelo ha agotado sus recursos naturales en minerales debido a los fertilizantes y agroquímicos, aunque la presencia de materia orgánica en los suelos es escasa y son contadas las excepciones que superan el 2%, la cantidad de materia orgánica presente en los seres vivos es del 95 al 99% del total de peso seco (Navarro *et al.*, 1995).

A finales de la década de los ochenta, la demanda por los productos orgánicos empezó a expandirse dramáticamente en los países desarrollados; en América Latina existen 23,7 millones de Has sembradas con abono orgánico, Oceanía con 11,3 y el continente Europeo con 6,3 millones de Has, como lo muestra el Ministerio de Comercio Exterior 2007 en la siguiente imagen:

Área dedicada a la producción orgánica en el mundo



En México, el desarrollo de la agricultura orgánica inició en los años 60 a través de agentes extranjeros conectándose con diferentes operadores mexicanos, solicitándoles la producción de determinados productos orgánicos. Así comenzó su cultivo, principalmente en áreas donde insumos de síntesis química no eran empleados. Este fue el caso de las regiones indígenas y áreas de agricultura tradicional en los estados de Chiapas y Oaxaca donde se empezó con la producción de café orgánico (Schwentesi *et al.*, 2000). Sin embargo la Secretaría de Agricultura y Ganadería ha tenido varios cambios para aceptar productos orgánicos.

4. Certificación orgánica

En el Diario Oficial de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación, en el reglamento de la ley de productos orgánicos de México, primera sección del año 2010 se expresa lo siguiente:

- Las reglas que definen los requerimientos en la producción, procesamiento y comercialización de productos orgánicos, deberán cumplirse cuando se desee obtener la certificación que permite la exportación e importación de alimentos orgánicos, algunas de ellas son:
 - a) Para el abono orgánico: El material de origen vegetal y animal tiene que ser producto de descomposición por medio de microorganismos destinados a suplir las necesidades nutricionales de las plantas.
 - b) Agricultura orgánica: El método de producción orgánica solamente podrá ser iniciada con semillas, material de producción vegetativa y plántulas que hayan sido producidas con métodos orgánicos y que en su protección se haya empleado productos fitosanitarios autorizados.
 - c) El uso de humus tiene que provenir tanto de residuos vegetales en descomposición como de deyecciones de lombrices e insectos (Secretaría de Agricultura, 2010).

En términos generales, un producto podrá ser considerado orgánico cuando:

- I) Más del 95% de los ingredientes del producto provengan de producción orgánica.
- II) Al menos el 70% de los insumos utilizados en la producción agrícola provenga de productos orgánicos.

III) El producto y en su caso sus ingredientes no hayan sido sometidos a tratamientos que impliquen la utilización de radiaciones ionizantes.

IV) El producto no cuente con ingredientes, resultantes de un proceso de uso de organismos genéticamente modificados o derivados de ellos. (Secretaría de Agricultura, 2010).

En relación a las importaciones o exportaciones de productos orgánicos, el importador o exportador deberá presentar el certificado de control extendido por el Organismo Certificador en el que se indique que los productos han sido obtenidos por un método de producción orgánica. Esta producción muestra montos bajos, ya que la mayor parte de la producción es para uso doméstico. Sin embargo en Argentina aumentaron de 30.000 a 40.000 toneladas. La Unión Europea en 1991 en el reglamento CEE N° 2092/91, establece la obligatoriedad de cumplir los lineamientos tanto los productos agrícolas como procesados a fin de poder etiquetar los productos como “Agricultura Orgánica” (Montenegro, 2002).

Para garantizar el cumplimiento de las normas de producción, el Reglamento CEE No 94/922 crea un sistema de control periódico en el cual los operadores que producen, elaboran, almacenan o importan de un tercer país productos ecológicos están obligados a notificar sus actividades a las autoridades públicas o privadas acreditadas que hayan sido designadas para tal fin por los Estados miembros. Este reglamento prevé también la creación de un sistema que permita comprobar que los productos importados de terceros países han sido producidos y comercializados en condiciones de producción y de control equivalentes a las aplicables a los productos comunitarios (Mondragón, 2003).

Entre los países que han experimentado un crecimiento en superficie orgánica superior al 25% anual se encuentran: Argentina, Italia, España, Brasil y México. Nuestro país cuenta con cerca de 250,000 hectáreas dedicadas a la agricultura orgánica, con más de 50,000 productores. De las cuales 9,000 pertenecen a poblaciones indígenas, y otras 400 a productores individuales. Exporta productos orgánicos a varios países de la Unión Europea y a los EE.UU. desde 1980. En un inicio las cantidades eran muy bajas, pero con el tiempo han aumentado significativamente, sobre todo a partir de 1986, cuando varias cooperativas campesinas empezaron a exportar café orgánico hacia esos países, rigiéndose por la ley de productos orgánicos de los Estados Unidos Mexicanos, a

diferencia de los otros sectores agropecuarios del país, el sector orgánico ha crecido con un dinamismo anual de 45% a partir de 1996; y para el 2002 se estimó un total de casi 216 mil hectáreas (Gómez, 2001).

5. ANTECEDENTES

- Kiesling, (2011), publicó un estudio sobre el origen, domesticación y distribución de ***Opuntia ficus-indica***, en el cual nos redacta su uso a través de Mesoamérica y su llegada a España por Cristóbal Colón, hasta la época actual con las alteraciones genéticas, llegando a concluir que esta especie ha sobrevivido miles de años gracias a su constitución genética y retrocruzas con plantas silvestres.
- Solano y Ortiñuela en el (2008), trabajaron con la supervivencia y producción del nopal verdura (***Opuntia ficus-indica***), donde utilizaron pencas completas, medias pencas, un cuarto y un octavo de penca, evaluando el porcentaje de supervivencia y número de brotes, los resultados arrojados de esta prueba fueron que las pencas completas y medias pencas obtuvieron un mayor porcentaje en supervivencia, de igual forma un mayor número de brotes, los cuartos de penca tuvieron brotes tardíos y supervivencia fue del 75%, por último, los octavos de penca no sobrevivieron por lo que no se obtuvieron brotes de ellos, llegando a la conclusión que la siembra optima se encuentra en pencas completas y medias pencas.
- Vázquez *et al.*, (2007), tuvo como objetivo analizar el crecimiento radical en cuatro variedades de Nopal ***Opuntia ficus-indica*** para determinar las diferencias morfológicas de la raíz, así como medir la velocidad de crecimiento de las plantas de dichas variedades en condiciones controladas. Encontrando una mayor velocidad de crecimiento en la variedad de Copena V-1, seguido por Jalpa, Villanueva y por último Liso Forrajero, sin embargo esta última mostró primero sus raíces, considerándose como la variedad más precoz en la emisión de raíces y la variedad que tardo más en mostrar raíces fue Copena V-1.
- Brechelt, (2004), de acuerdo a las características de abonos orgánicos Brechelt describe los componentes de algunos abonos como el Bocaschi que es un abono orgánico fermentado y utiliza carbón para mejorar las características físicas del suelo, a su vez detalla a la Gallinaza como la principal fuente de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio. También puntualiza que el Humus de lombriz es el mejor abono

orgánico ya que presenta los macro y micro elementos necesarios para un óptimo desarrollo de las plantas como son Mg, Ca, F,K, P, N, Zn, Fe, Bo.

- Ochoa, (2008), añadió humus de lombriz al cultivo de manzana, obteniendo como resultado un rápido crecimiento y una producción adelantada de manzanas a diferencia de otros abonos orgánicos y concluyo que el humus de lombriz acelera el crecimiento y multiplica la producción de manzanas, asegurando que este abono es uno de los más baratos y efectivos del mundo.
- Rodríguez *et al.*, (2007) hicieron una comparación entre vermicomposta alimentadas de forma distinta, es decir, una solo contenía productos vegetales y otra estaba alimentada con estiércol bovino, encontrando que la vermicomposta que tenía únicamente productos vegetales mantenía más estable el pH y promovía el crecimiento del producto de una manera más rápida.
- Moreno, (2011), respecto al óptimo desarrollo de especies hortícolas y ornamentales, describió la importancia de la aplicación de vermicoposta, llegando a concluir que el vermicomposteo tiene efectos importantes sobre el crecimiento y rendimiento de las especies vegetales y puede sustituir la aplicación de fertilizantes sintéticos y ayudar a reducir la presencia de enfermedades fungosas y de organismos patógenos.
- Calderón *et al.* (2009) comparan las características fisicoquímicas y bacteriológicas de tres tipos de lixiviados, de diferentes etapas de maduración obtenidos de la lombricultura de *Eisenia andrei*. obteniendo como resultados una disminución drástica de microorganismos patógenos excretados por las propias lombrices, observaron que la *Escherichia coli* disminuye conforme la lombriz procesa más alimento (excreta de res).
- Alvarado, (2011), trabajó con diferentes reguladores de crecimiento en explantes in vitro de *Opuntia spp.*, encontrando que el efecto sinérgico de AIA en altas concentraciones permite una mayor formación de brotes, la utilización de BAP provoca mayor formación de raíces y el efecto sinérgico de KN y AIA combinadas disminuyen tanto la formación de brotes como de raíces.

- Choreño, *et al*, (2002), determinó el mejor tratamiento con reguladores de crecimiento para inducir la activación del mayor número de aréolas, la multiplicación e inducción de raíz, obteniendo como resultados la activación de aréolas con la combinación de ANA 0.3: BA 3.0 mg/litro en un lapso de 21 días, un mayor número de brotes al fraccionar la plántula en los segmentos: basal y media.

6. HIPÓTESIS

Debido al uso excesivo de fertilizantes inorgánicos y agroquímicos en cultivos agrícolas, se ha afectado la mineralización y microbiología del suelo, consecuentemente la producción sana del cultivo. El adicionar fertilizantes orgánicos a un suelo de cultivo, ayudará a restablecer la calidad de la tierra así como las propiedades organolépticas de los productos.

7. JUSTIFICACION

La finalidad comercial de incrementar la productividad agrícola con el beneficio económico como prioridad, se ha traducido en alteraciones físico químicas y biológicas de suelos cultivados al ser agotadas por la utilización de los fertilizantes inorgánicos. Como respuesta a este hecho, han surgido productores que incluyen en sus actividades, programas de producción orgánica, he incluso empresas de certificación orgánica para los productos agrícolas, permitiendo un beneficio en el suelo, en el producto y al consumidor, al introducir la utilización de fertilizantes de origen orgánico. Por lo que este trabajo pretende contribuir al desarrollo en la producción orgánica utilizando el humus de lombriz.

De acuerdo a lo anterior se plantearon los siguientes objetivos:

8. OBJETIVOS

8.1 GENERAL

Analizar el efecto de la aplicación del lixiviado y azufre sobre la cicatrización y la formación de raíces en esquejes de Nopal, *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller y el desarrollo de estos esquejes sembrados en humus de lombriz.

8.2 PARTICULARES

8.2.1 Análisis de sulfatos, fosfatos y proteínas para determinar las características del lixiviado y del humus de lombriz.

8.2.2 Aplicación y observación del efecto cicatrizador del azufre y el lixiviado a los esquejes de nopal

8.2.3 Evaluación del desarrollo de las raíces a partir de la colocación del cicatrizador

8.2.4 Cuantificar la producción de brotes en los tratamientos.

8.2.5 Comparar el desarrollo de los esquejes sembrados sobre humus de lombriz y suelo natural.

9. DISEÑO EXPERIMENTAL

Unidad Experimental	Un cuarto de penca (esqueje)
Tratamiento	Tratamiento 1: Azufre como cicatrizante y enraizador
Etapas 1 cajas de plástico	Tratamiento 2: Lixiviado como cicatrizante y enraizador Testigo: Sin cicatrizante
Etapas 2 cultivo permanente	Bolsas negras con vermicomposta Combinación de suelo natural de la FES I con Vermicomposta

10. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el trabajo se utilizaron cladodios de un cultivo de 5 años Milpa Alta con una ubicación geográfica al sur-este del Distrito Federal, en las coordenadas: al norte 19°13', al sur 19°03' de latitud norte, al este 98°57', al oeste 99°10' de longitud oeste. Milpa Alta colinda al Norte con las delegaciones Xochimilco y Tláhuac; al este con la delegación Tláhuac y Estado de México; al sur con el estado de Morelos; al oeste con las delegaciones Tlalpan y Xochimilco.

Los cladodios pertenecen a la especie *Opuntia ficus-indica (L.)Miller*. Este material se caracteriza por carecer de espinas, poseer un color verde intenso, muy suculenta y es arborescente, de 3 a 5 metros.

Se tomaron muestras en los meses: Abril, Mayo y Julio del 2011, seleccionaron cladodios en la misma orientación, tamaño y grosor, se lavaron con jabón comercial y agua destilada para quitar el exceso de tierra, de cada cladodio se obtuvieron 4 esquejes procurando ser lo más exacto posible en tamaño y grosor, fueron fraccionados con un cuchillo previamente lavado en una solución alcohol-agua 01:09, se les agrupo en 3 tratamientos, el primero fue azufre comercial como cicatrizante, el segundo tenía lixiviado como cicatrizante que se obtuvo mediante la desintegración de la Vermicomposta y el tercero era el testigo, los tratamientos se aplicaron en las lesiones de cada esqueje y se dejaron cicatrizar por 15 días dentro de un invernadero a una temperatura oscilante entre los 19 y 33°C, sin riego.

Se observó, que los esquejes comenzaban a tener cambios como, el crecimiento de brotes, por lo que se dejaron en ese estado por más tiempo hasta que ya no hubo crecimiento ni nueva formación de brotes, posteriormente se prosiguió a sembrarlos en suelo natural de la FESI, suelo combinado con Vermicomposta y en Vermicomposta permanente, el proceso para sembrar en suelo con Vermicomposta fue el siguiente:

1. Barbecho: se podó el pasto y se removió la tierra para su aireación durante 15 días.
2. Se combinó suelo normal con vermicomposta proporción 3:7

3. Siembra: se sembraron los esquejes en posición este- oeste, donde la parte más angosta se encuentra de norte a sur para que recibieran la luz del día y de la tarde, con una separación de 20 cm entre esqueje.
4. El riego se realizó una vez cada 15 días, excepto en temporada de lluvias.
5. A los 3 meses de siembra se realizó la primera poda y conteo de cladodios recién cortados, para obtener talla, peso y volumen.

Debido a las heladas del mes de diciembre se colocó plástico haciendo una casa de sombra en los nopales ya sembrados permanentemente en suelo, dejándose hasta el mes de enero.

Los esquejes cortados en Septiembre del 2012 se sembraron en bolsas negras para tener un mejor control de los tratamientos y evitar el daño por las heladas.

Las variantes a evaluar fueron:

- Supervivencia de esquejes
- Tiempo de obtención de brotes en esquejes
- Parte del esqueje que produjo más brotes
- Número de raíces
- Tiempo de crecimiento de raíces

11. RESULTADOS y DISCUSIÓN

11.1 Análisis del humus y el lixiviado de lombriz

Para conocer las propiedades del humus que se obtuvo de la Vermicomposta localizada en el jardín botánico de la FESI, alimentada únicamente con desechos vegetales y del lixiviado de lombriz que es la fracción líquida de la Vermicomposta, se realizaron pruebas químicas determinando Nitrógeno Orgánico y proteínas por medio de la técnica de micro-Kjeldhal esta prueba se llevó a cabo en 2 etapas; Primer etapa (digestión): en dos vasos de precipitado de 100 ml se colocaron 25 ml de lixiviado sobre una parrilla dejándose evaporar hasta obtener un restante de 5 ml, para el humus de lombriz se colocaron 400 g de peso seco diluida en 25 ml de agua destilada y se repitió el mismo paso que la anterior, a ambas muestras se les agregó 600 g de mezcla catalizadora ($\text{CuSO}_4 + \text{CuSO}_4$) y 2 ml de ácido sulfúrico, se colocaron en el destilador Kjeldhal hasta que comenzaron a soltar vapor (sulfato de amonio), se movieron cuidadosamente para que no se evaporará por completo el ácido, una vez que la muestra viró de color, se retiraron del Kjeldhal dejándose enfriar por 10 min y a cada muestra se le agregó 12 ml de agua destilada. La segunda etapa (destilación) consistió en colocar las muestras en vasos de precipitado de 20 ml y comenzar con la destilación, obteniendo el residuo en un vaso con 15 ml de ácido bórico, posteriormente se realizó una titulación con HCl 0.01 N hasta que la muestra virara de nuevo, la evaluación de Fosfatos y sulfatos se llevó a cabo por reacción colorimétrica, en la cual se colocó 3 ml de lixiviado se le adiciono 1 ml de ácido clorhídrico diluido en agua, una vez uniforme se le agregó molibdato de amonio, hasta que la muestra virara a un color amarillo ocre, lo mismo se realizó con la muestra de humus, y el pH se midió con potenciómetro, los datos obtenidos se muestran en el cuadro 1 y 2.

Cuadro 1: pruebas químicas del lixiviado de lombriz					
Características fisicoquímicas de:	Nitrógeno orgánico	Proteínas	Sulfatos	Fosfatos	pH
10 ml de lixiviado	0.04%	2.5g	0.786 mg SO ⁴ /L	1.9 mg P	6.5

Este cuadro presenta los resultados de las pruebas químicas realizadas a 10 ml de lixiviado, mostrando un alto contenido de proteínas y sulfatos con un pH alcalino, lo cual favorece al crecimiento de la planta, de acuerdo a la norma NOM-021-RECNAT-2000 y con Moreno, 1978.

Reines *et al.*, en el 2006, menciona que en lixiviados de lombricultura se pueden encontrar fosfato, sulfatos, nitratos, carbonatos y partículas sólidas de humus.

Cuadro 2: pruebas químicas del humus de lombriz					
Características fisicoquímicas de:	Nitrógeno orgánico	Proteínas	Sulfatos	Fosfatos	pH
400 g de humus	0.15%	9.1g	0.046 mg SO ⁴ /L	1.86 mg P	4

Las pruebas en humus de lombriz se realizaron con 400 g de peso seco. Los resultados obtenidos de esta composta son favorables de acuerdo a la norma NOM-021-RECNAT-2000, donde se muestra que este humus es rico en nitrógeno y como lo menciona Navarro *et al.*, en 1995. Esto nos indica que la cantidad de nutrientes no merma las posibilidades de obtener producciones de plantas hortalizas o cultivos de interés nacional de buena calidad nutricional.

11.2 Método de obtención de los esquejes

De la planta madre se obtuvieron los cladodios más homogéneos en cuanto a tamaño, grosor y orientación, se lavaron y desinfectaron para después cortarlos longitudinal y transversalmente, se estandarizaron métricamente, es decir, se cortaron lo más exacto posible como se muestra en las imágenes 1 y 2. Las imágenes 3 y 4 muestran la respuesta a lo largo del proyecto.



ETAPA 1: CAJAS DE PLÁSTICO

Ya cortados los esquejes se les añadió inmediatamente después del corte Azufre y Lixiviado como cicatrizante, se mantuvieron en cajas de plástico para que enraizarán durante 15 días, llegando a la fecha indicada se realizó un conteo de raíces de cada esqueje separados por parte apical de la basal y por tratamiento (azufre o lixiviado como cicatrizante) y se registraron todos los cambios sufridos durante este tiempo.

11.3 Conteo de raíces de cada esqueje

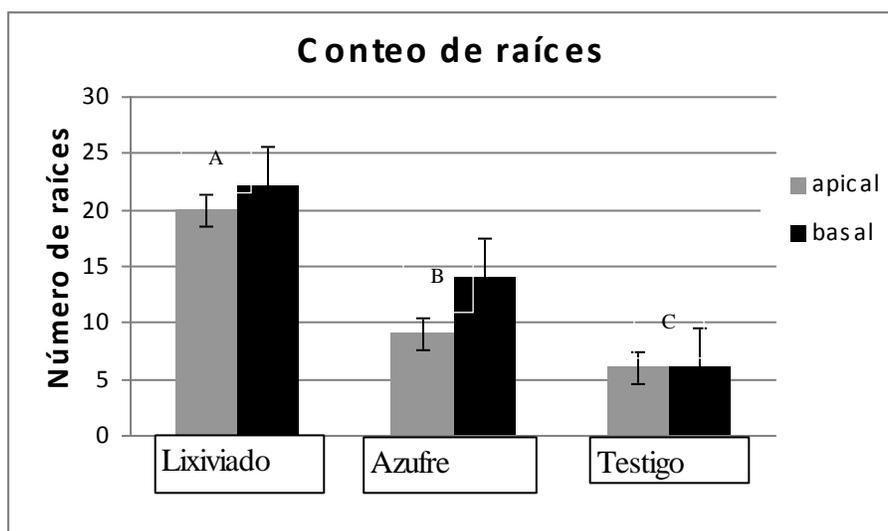
Se realizó un conteo de raíces secundarias de cada esqueje por tratamiento, comparando la parte de los esquejes que proporcionaba respuestas anticipadamente. En la figura 1 se muestra el promedio del conteo de las raíces de los esquejes, tanto en la parte apical como en la parte basal, así como su desviación estándar, comparando el tiempo de aparición de cada parte como se muestra en la tabla y figura 1.

TRATAMIENTO	PARTE APICAL	PARTE BASAL
AZUFRE	9 ± 3.5	14 ± 3.5
LIXIVIADO	20 ± 1.4	22 ± 1.4

Tabla 1. Conteo de raíces secundarias de cada tratamiento y por parte del cladodio.

Los valores aquí mostrados son los encontrados en cada tratamiento y se reflejan en la siguiente figura.

Figura 1 Conteo de raíces



En esta figura se puede observar el conteo de las raíces en cada tratamiento, en donde el lixiviado como cicatrizante obtuvo más raíces en ambos lados, sin embargo la parte basal de dos tratamientos obtuvo mayor número de raíces, puede deberse a la relación directa que tiene con el nudo o base del cladodio. De acuerdo a la prueba estadística si hay diferencia significativa en todos los tratamientos

ABRIL	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,0001263	
TESTIGO	0,00012583	0.00012594
MAYO	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,00010657	
TESTIGO	0,00010657	0.00010657
JULIO	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,00011134	
TESTIGO	0,00011134	0.00011134
AGOSTO	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,00011939	
TESTIGO	0,00011939	0.00449151

Otro factor influyente en la aparición y crecimiento de las raíces del nopal es la temperatura, debido a que son plantas de climas áridos, es decir, responden positivamente a temperaturas altas, sin embargo, su metabolismo se vuelve más lento cuanto más baja es la temperatura como en los meses de Agosto, Septiembre y Noviembre, en los cuales la temperatura oscila de 10-19°C a diferencia de los meses de Abril, Mayo y Julio en los cuales encontramos temperaturas de hasta 38°C, la temperatura encontrada de cada mes de corte se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Promedio de las temperaturas registradas en cada mes de corte

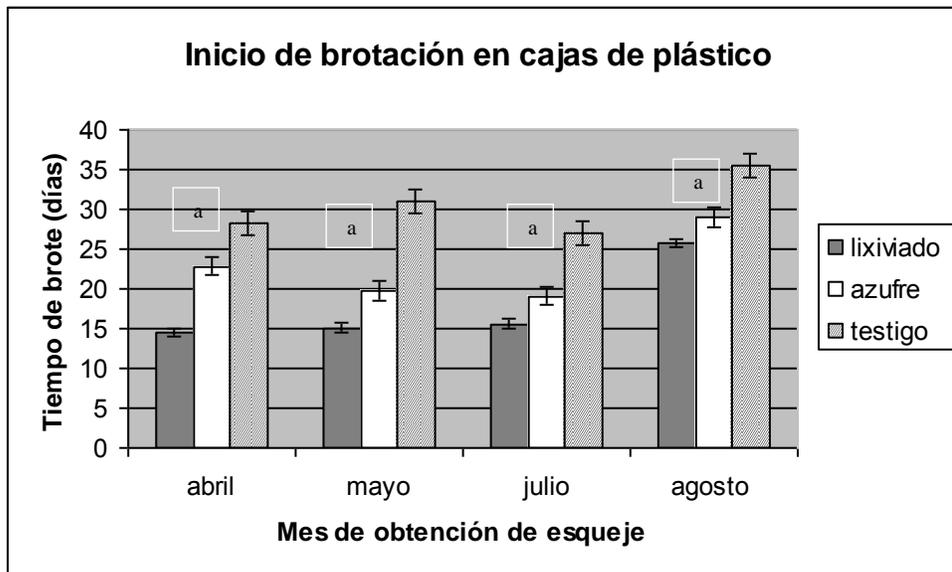
MES	Temperatura promedio por mes (°C)
Abril	32.2 ± 3.8
Mayo	30 ± 4.3
Julio	35.25 ± 3.7

Como se muestra en esta tabla, el mes que presento mayor temperatura fue julio, esto coincide con los resultados del conteo de brotes, por lo que se observa que a mayor temperatura mejor es la respuesta del nopal.

11.4 Respuestas de los esquejes

Durante la etapa 1 algunos esquejes tuvieron cambios como la formación de pequeños brotes a partir de las areolas. En cada mes de la obtención de los esquejes vario el tiempo de brotación como se muestra en la figura 2

Figura 2 Inicio de brotación en cajas de plástico



abril	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,04292232	
TESTIGO	0,0001269	0,00294256

mayo	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,96299934	
TESTIGO	0,00010717	0,00010878

julio	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,00600427	
TESTIGO	0,01474547	0,94543093

agosto	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,00252634	
TESTIGO	0,00029677	0,32905287

Esta figura representa el promedio del tiempo de aparición de los brotes en cada tratamiento, haciendo notar que el tratamiento de más tardanza en brotación fue el testigo en todos los meses, sobre todo en el mes de agosto. En este mes los demás tratamientos también tuvieron un brote lento, esto se puede deber a las bajas temperaturas mostradas en Agosto, como mencionaba anteriormente y de acuerdo con lo mencionado por Solano y Orihuela, 2008, las Cactáceas pertenecientes a ambientes cálidos disminuyen su metabolismo en temperaturas bajas.

ETAPA 2: SIEMBRA EN SUELO PERMANENTE

11.5 Brotación de siembra permanente en suelo.

Después de permanecer en cajas de plástico, los esquejes fueron trasladados a suelo permanente para su crecimiento en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, se permitió que obtuvieran más brotes y de estos se realizó de nuevo un conteo para comparar los tratamientos y determinar la mejor respuesta, llegando a conclusión que el tratamiento con mayor número de brotes es el lixiviado como se muestra en el siguiente punto.

11.5.1 Cantidad de brotes por tratamiento en suelo permanente.

Se realizó un conteo de brotes por tratamiento en la siembra permanente en suelo para poder comparar cuál de estos fue más productivo.

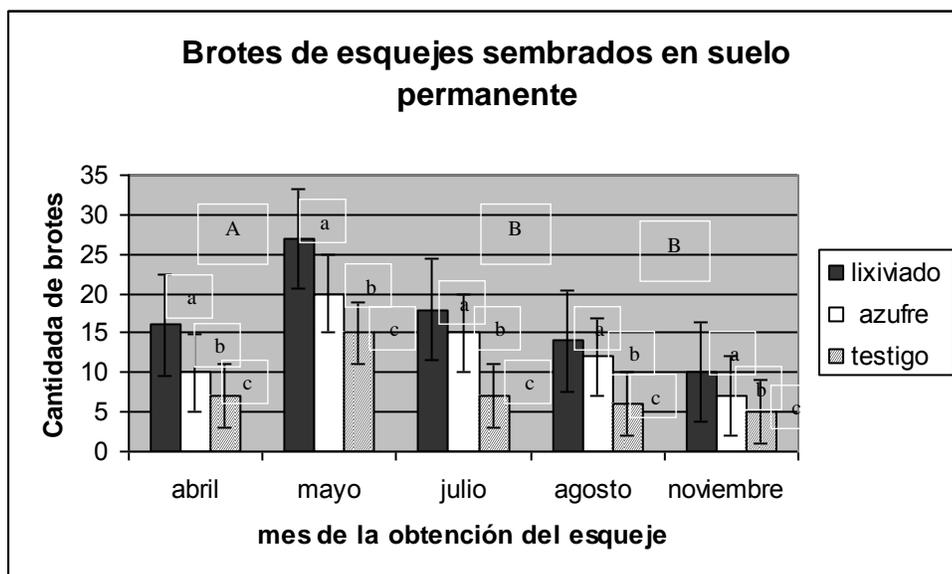
Como resultado se obtuvo una mayor producción en el tratamiento de lixiviado con una cantidad de 16 brotes para la siembra del mes de abril, 27 para mayo, 18 para julio, 14 para agosto y finalmente 10 brotes para el mes de noviembre, esto puede apreciarse más claramente en la Tabla 3.

Tabla 3. Brotes crecidos en suelo permanente

	Lixiviado	Azufre	Testigo
Abril	16	10	7
Mayo	27	20	15
Julio	18	15	7
Agosto	14	12	6
Noviembre	10	7	5

En esta tabla muestra de la cantidad de brotes obtenida por los esquejes sembrados en suelo permanente cada mes. Presentándose en mayor cantidad de brotes en el tratamiento con lixiviado en todos los meses. Esto se puede comprender más en la siguiente figura.

Figura 3. Brotes de esquejes sembrados permanente en suelo



En la figura 3 se aprecia que el tratamiento que obtuvo mayor cantidad de brotes fue el lixiviado en todos los meses, esto está confirmado con la prueba de estadística Tukey como lo muestran las tablas 4, 5, 6,7; por lo tanto en esta prueba no existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 4 prueba Tukey del mes de Abril

Abril	lixiviado	azufre
lixiviado		
azufre	0,4017865	
testigo	0,0350025	0,4017865

En esta prueba encontramos que solo hay diferencia significativa entre el tratamiento con lixiviado como cicatrizante y el testigo

Tabla 5 prueba Tukey del mes de Mayo

Mayo	lixiviado	azufre
lixiviado		
azufre	0,00019997	
testigo	0,00010669	0,22678125

En este mes el tratamiento con lixiviado fue el que presento mayor cantidad de brotes como lo muestra la figura 3 y lo comprueba el análisis estadístico, revelando diferencia significativa entre el tratamiento con lixiviado y el tratamiento con azufre y el testigo

Tabla 6 prueba Tukey para el mes de Julio

Julio	lixiviado	azufre
lixiviado		
azufre	0,012633 2	
testigo	0,000111 4	0,0063520 7

En julio todos los tratamientos presentaron diferencia significativa, sin embargo el tratamiento con lixiviado obtuvo mayor cantidad de brotes, siendo el testigo e que obtuvo menor cantidad de brotación.

Tabla 7 prueba Tukey para el mes Agosto

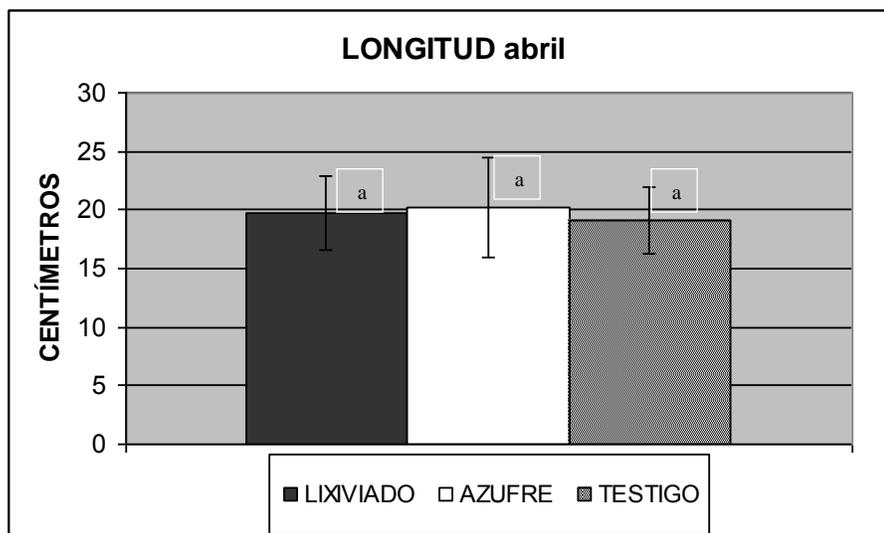
Agosto	lixiviado	azufre
lixiviado		
azufre	0,4597366 5	
testigo	0,0988683 1	0,6441580 1

El mes de Agosto fue el mes que más tarde en aparecer la brotación, esto puede deberse a la baja temperatura registrada en este mes, a pesar de esto el tratamiento que siguió presentando el mayor número de brotes fue el lixiviado.

11.5.2 Variables específicas de los brotes

Los brotes se desarrollaron a una talla de 15 x 10 cm aproximadamente y se cosecharon para ser medidos, pesados y así registrar las variables específicas como son: grosor, longitud y biomasa. En las siguientes tablas y figuras (4-15) se muestran las variables obtenidas por mes

Figura 4 Datos de la longitud de brotes obtenidos en el mes de abril de cada tratamiento

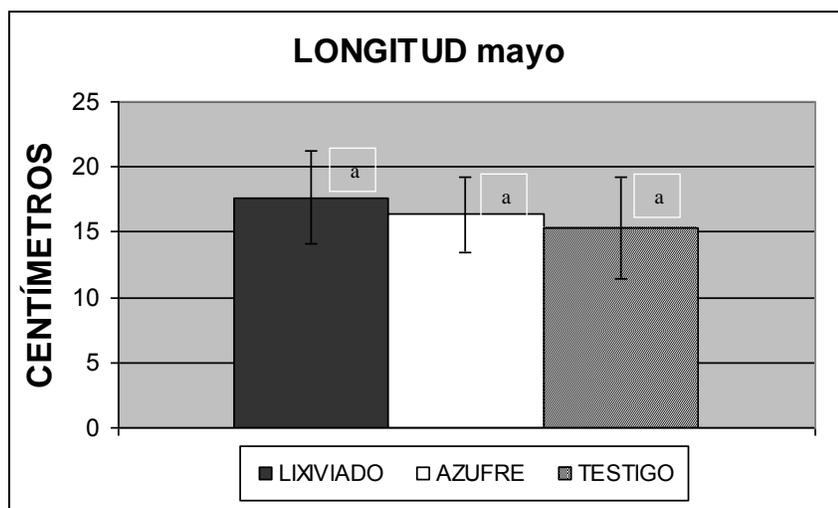


Análisis de varianza

Tabla 8	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,97878498	
TESTIGO	0,95933324	0,88516432

Se puede observar en la figura 4 que el tratamiento con azufre como cicatrizante obtuvo mayor longitud, el análisis de varianza por medio de la prueba Tukey nos muestra que no se encuentra diferencia significativa entre los tres tratamientos.

Figura 5 Datos de la longitud de brotes obtenidos en el mes de mayo de cada tratamiento

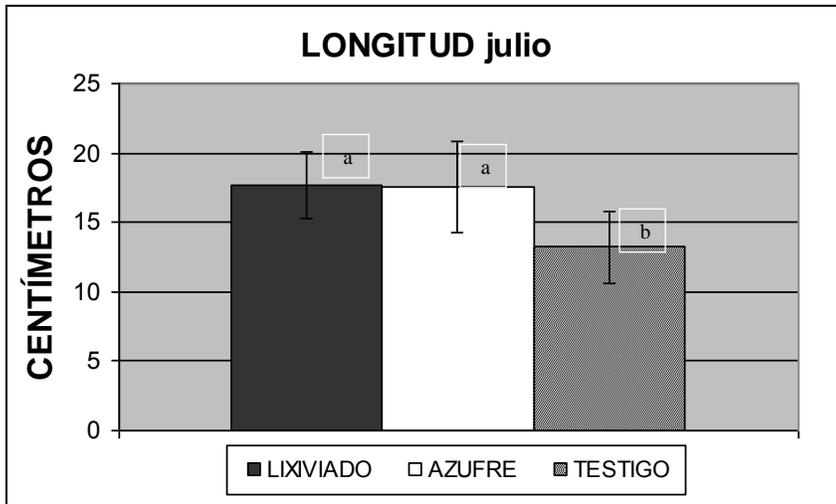


Análisis de varianza

Tabla 9	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,80767244	
TESTIGO	0,52892071	0,8852933

La figura 5 muestra que en el mes de mayo el tratamiento con mayor longitud en brotes, sin embargo de acuerdo con el análisis de varianza, no existe diferencia significativa entre tratamientos.

Figura 6 Datos de longitud de brotes obtenidos en el mes de julio de cada tratamiento

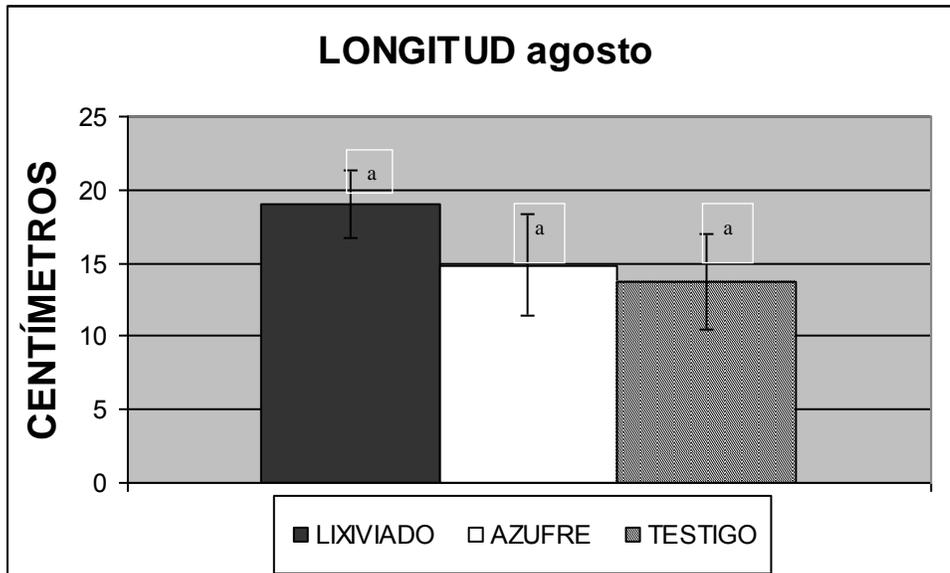


Análisis de varianza

Tabla 10	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,9965657	
TESTIGO	0,12802833	0,06773311

En este mes la longitud fue muy similar entre el tratamiento con azufre como con el lixiviado, no obstante si hubo diferencia significativa con el testigo como lo muestra el análisis de varianza

Figura 7 Datos de longitud de brotes obtenidos en el mes de julio de cada tratamiento

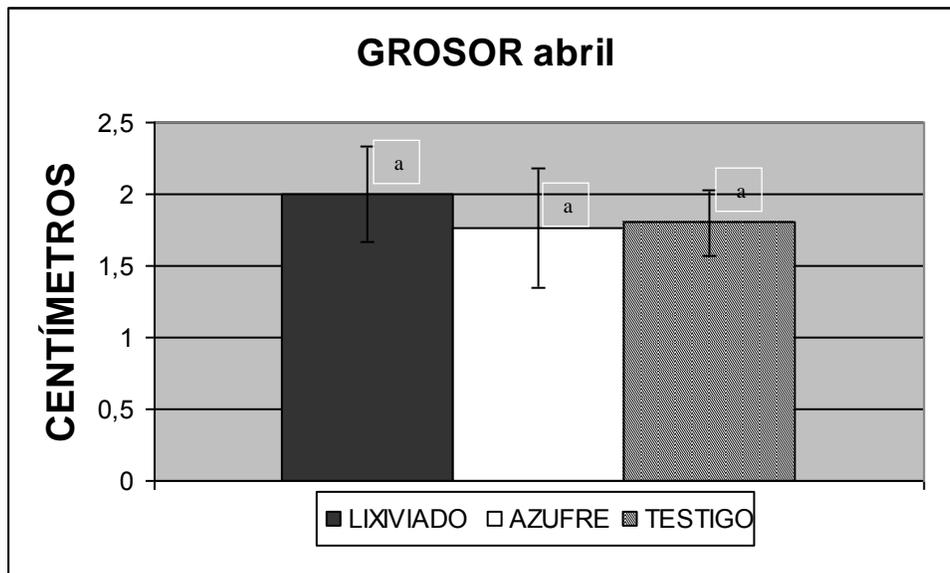


Análisis de varianza

Tabla 11	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,22964501	
TESTIGO	0,11248869	0,87964898

La figura 7 representa la longitud de los tratamientos encontrada en el mes de agosto, el tratamiento con lixiviado como cicatrizante es el que obtuvo mayor longitud, seguido por el tratamiento con azufre, sin embargo estadísticamente no existe diferencia significativa.

Figura 8 Grosor de los brotes del mes de abril de los 3 tratamientos

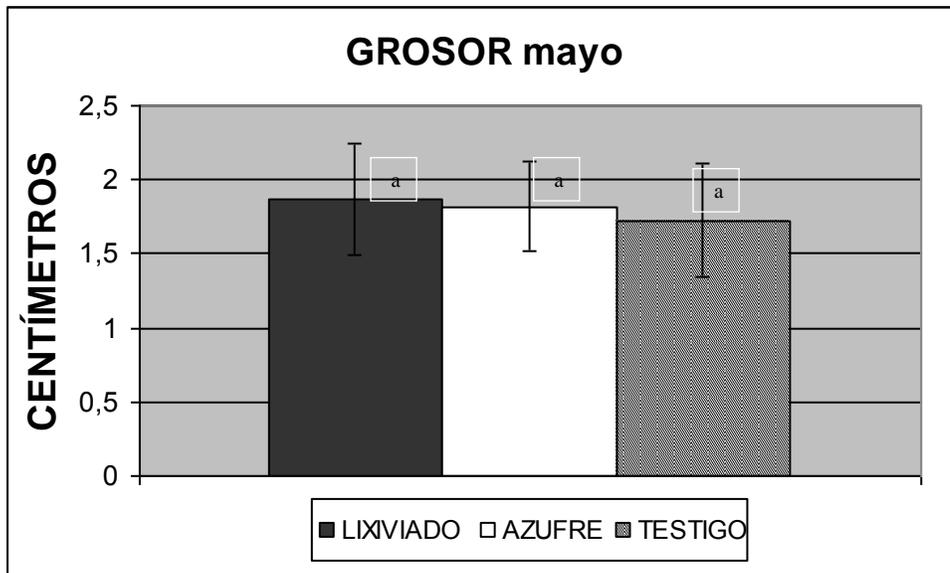


Análisis de varianza

Tabla 12	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,57115912	
TESTIGO	0,6561507	0,98896122

Los resultados sobre el grosor del mes de abril nos muestran que el tratamiento con lixiviado fue el más grueso, sin embargo de acuerdo con el análisis de varianza no hay diferencia significativa entre tratamientos.

Figura 9 Grosor de los brotes del mes de mayo de los 3 tratamientos

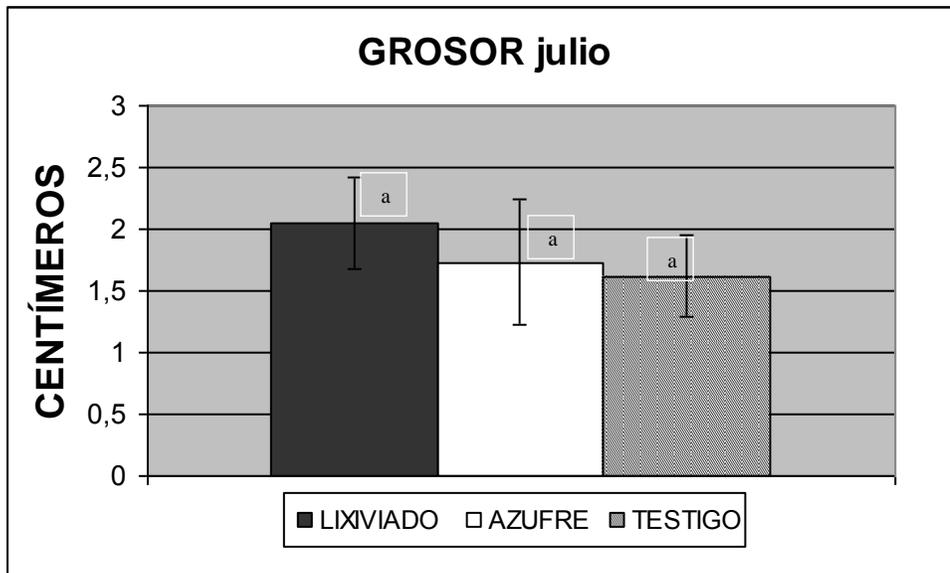


Análisis de varianza

Tabla 13	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,97131217	
TESTIGO	0,79384243	0,90706813

En el mes de mayo el tratamiento que obtuvo mayor grosor fue el lixiviado, pero el análisis de varianza demuestra que no hay diferencia significativa entre tratamientos.

Figura 10. Grosor de los brotes del mes de julio de los 3 tratamientos

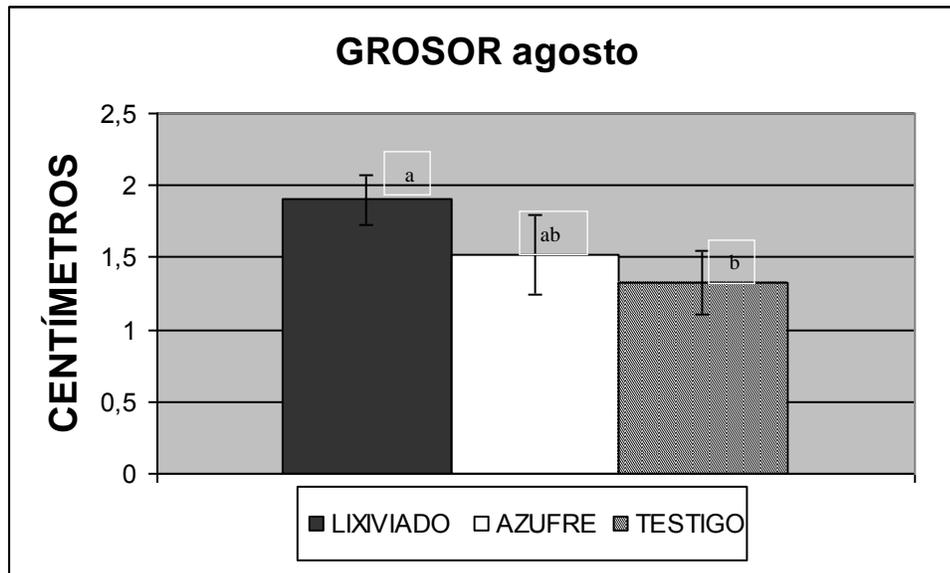


Análisis de varianza

Tabla 14	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,43023688	
TESTIGO	0,22185069	0,88647532

La figura 10 muestra el grosor de los brotes del mes de julio, detallando que el tratamiento con lixiviado es el que obtuvo mayor grosor, aunque el análisis de varianza muestra que no hubo diferencia significativa entre tratamientos.

Figura 11. Grosor de los brotes del mes de agosto de los 3 tratamientos

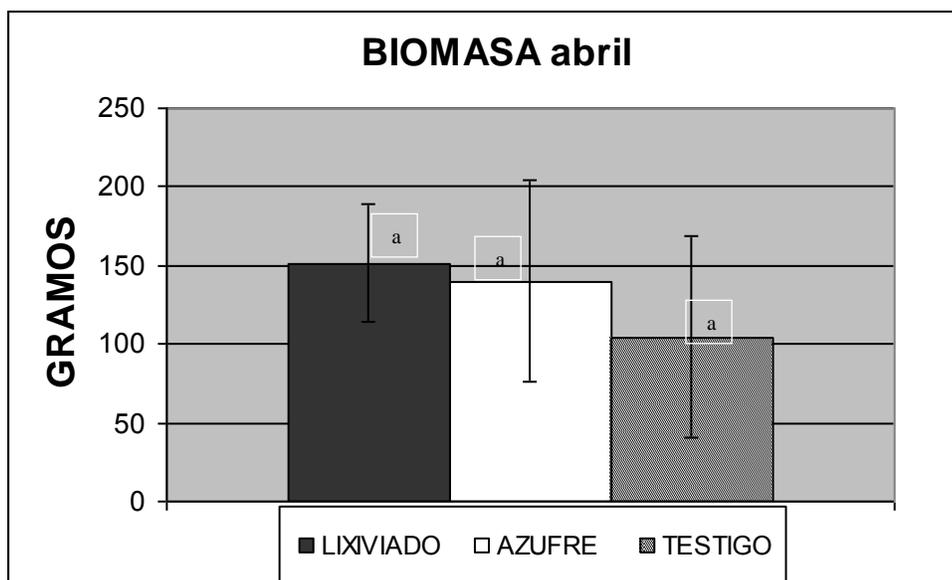


Análisis de varianza

Tabla 15	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,12944829	
TESTIGO	0,02160305	0,50423563

La figura 11 nos muestra el grosor obtenido del mes de agosto, el tratamiento con lixiviado como enraizador obtuvo mayor grosor que los otros tratamientos, lo que se demuestra con el análisis de varianza, donde se aprecia la diferencia significativa con el testigo.

Figura 12. Peso de la Biomasa del mes de abril

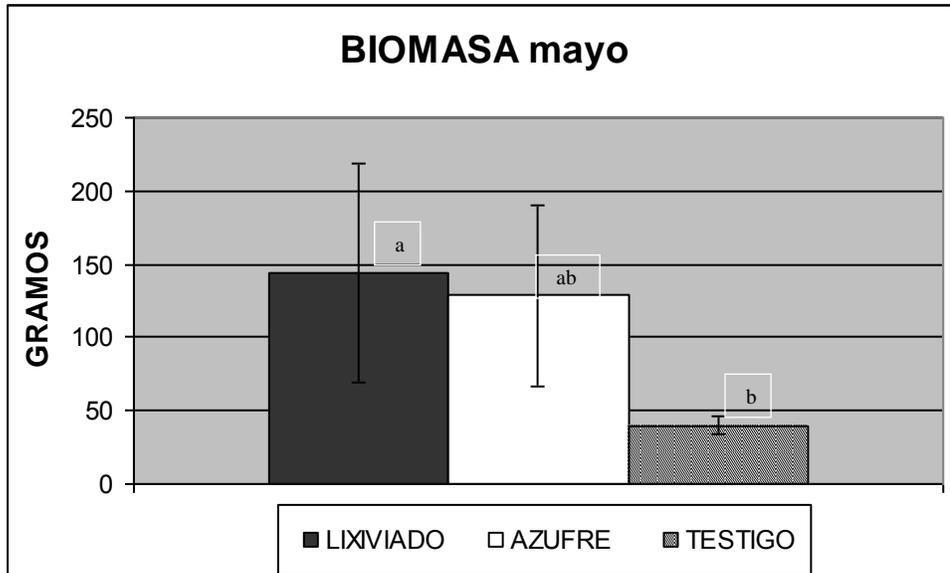


Análisis de varianza

Tabla 16	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,95191354	
TESTIGO	0,45464319	0,62764931

De acuerdo al análisis de varianza, aunque el tratamiento con lixiviado mayor biomasa estadísticamente no hay diferencia significativa co los otros tratamientos.

Figura 13. Peso de la Biomasa del mes de mayo

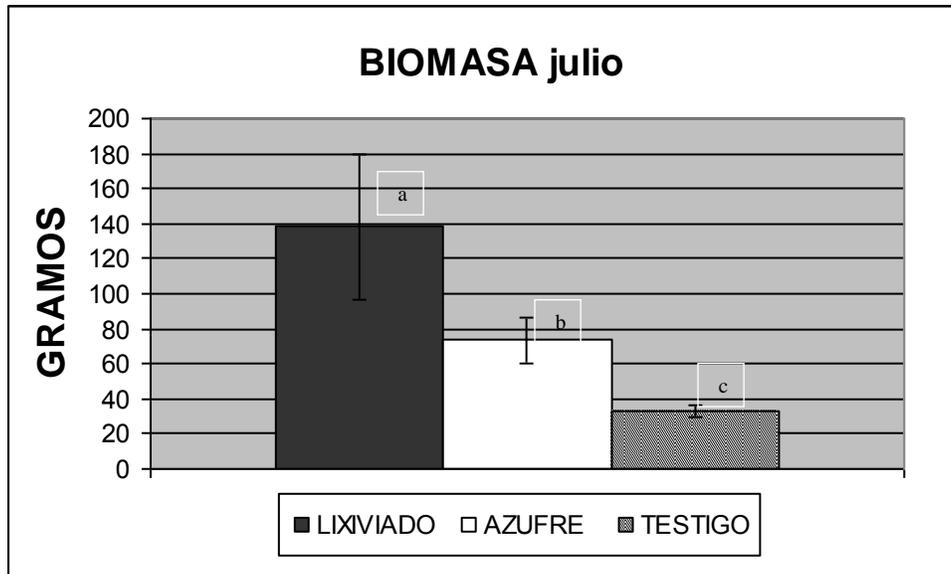


Análisis de varianza

Tabla 17	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,89392203	
TESTIGO	0,0208292	0,04991657

En la biomasa del mes de mayo que se muestra en esta figura, si hubo diferencia significativa entre los tratamientos con azufre como cicatrizante y lixiviado en comparación al testigo, se puede apreciar que el lixiviado tuvo mayor biomasa seguido por el azufre, entre estos dos tratamientos no se aprecia diferencia significativa como el análisis de varianza lo confirma.

Figura 14. Peso de la Biomasa del mes de julio



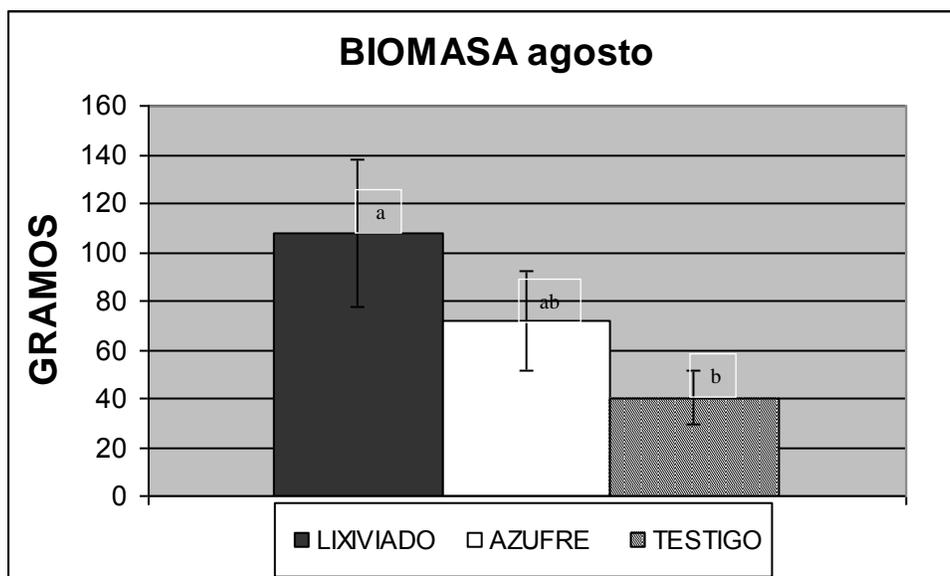
Análisis de varianza

Tabla 18	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,00210071	
TESTIGO	0,00018561	0,04679441

A diferencia de los meses anteriores, en julio si hubo diferencia significativa entre todos los tratamientos, la mayor cantidad de biomasa se encuentra en el tratamiento con lixiviado como cicatrizante, el segundo lugar pertenece al tratamiento con azufre como cicatrizante, siendo el testigo el tratamiento que menor biomasa presento. El análisis de varianza confirma estas diferencias significativas.

Estos resultados pueden deberse a las altas temperaturas de ese mes, ya que la temperatura promedio fue de 35.5 °C, temperatura óptima para el crecimiento de los esquejes de nopal (Granados y Castañeda, 2001).

Figura 15 Peso de la biomasa del mes de agosto



Análisis de varianza

Tabla 19	LIXIVIADO	AZUFRE
LIXIVIADO		
AZUFRE	0,12915248	
TESTIGO	0,00751263	0,2040745

Al igual que en los meses anteriores, el tratamiento que obtuvo mayor cantidad de biomasa fue el tratamiento con lixiviado como cicatrizante sin embargo estadísticamente no presenta diferencia significativa con el tratamiento de azufre como cicatrizante. En cambio el testigo además de presentar menor cantidad de biomasa muestra una diferencia significativa con el lixiviado como lo detalla el análisis de varianza

11.6 Tratamiento único con lixiviado

11.6.1 Esquejes con lixiviado

La obtención de estos resultados nos llevan a realizar el siguiente ensayo experimental en donde se utiliza directamente el lixiviado como único tratamiento en una siembra en suelo permanente de esquejes, esto debido a los indicadores que nos muestran el óptimo desarrollo de los esquejes que proporcionan el lixiviado y el humus sólido al suelo, este ensayo se realizó en 40 esquejes a los cuales se les midió el tiempo de brotación y su desarrollo.

De los 40 esquejes sembrados durante el periodo de tratamiento del ensayo, solo en 23 esquejes resultaron brotes, estos mostrando los resultados anteriormente de los primeros brotes, en donde el tiempo de brotación fue más tardío comparándolos con los tratamientos anteriores, probablemente debido a las estaciones climáticas, sin embargo se señala la eficiencia del tratamiento con el 62% de brotación y un 100% de viabilidad, esto permite diferir que la utilización constante del lixiviado y la vermicomposta en un cultivo normal puede ser beneficioso en un cultivo permanente.

11.7 Análisis nutricional de los cladodios obtenidos

Se realizaron análisis de nutrientes y pH a los cladodios obtenidos en el trabajo comparándolos con cladodios comerciales de origen comercial.

Cuadro 3. Características de los nutrientes de los cladodios con Vermicomposta y comerciales					
Características nutrimentales de:	Nitrógeno total	Proteínas	Sulfatos	Fosfatos	pH
400 g de nopal cultivados con vermicomposta	0.035 %	2.406g	0.147 mg SO ⁴ /L	3.56mg P	5.75
400 g de nopal comercial	0.042 %	2.625g	0.0168 mg SO ⁴ /L	0.83 mg P	6.23

En este cuadro se muestra el registro de los análisis realizados en donde se observa que incluso el pH es más bajo en comparación al cladodio comercial, con los datos reportados por Blanco 2010 indica que las concentraciones obtenidas son adecuados para el consumo del producto, según la norma CEE No 94/922, mencionada anteriormente.

12 DISCUSIÓN FINAL

Los esquejes de Nopal no son una siembra muy común, sin embargo, en este trabajo se demostró que la siembra por este medio da resultados muy prósperos y significativos llegando a duplicar la producción.

La temperatura puede influir en el crecimiento y presencia de brotes, ya que los brotes pueden llegar a tener daños por las heladas o bajas temperaturas, e incluso puede no presentarse en esos meses, el tallo principal si no es cuidado adecuadamente puede quemarse, y si se riega el cultivo a estas temperaturas las raíces se congelan por lo que la planta puede sucumbir.

El uso de lixiviado como cicatrizante ayudó a que las heridas de los esquejes no se vieran invadidas por agentes patógenos y al pronto desarrollo de las raíces, la vermicomposta como base de siembra fue muy benéfico para el crecimiento y desarrollo de los esquejes de Nopal, incrementando la cantidad de nutrientes, de nitrógeno y de proteínas en los brotes, estos resultados son favorables de acuerdo con el estudio bromatológico del Nopal del 2007 (Blanco *et al.* 2012).

13 CONCLUSIONES

- a) Como se mostró en las gráficas el uso del lixiviado ayudó al crecimiento de raíces, al crecimiento de los brotes y su desarrollo, al igual que la obtención de biomasa.
- b) Aunque en algunos datos no se presentó diferencia significativa entre el tratamiento con lixiviado como cicatrizante, el uso de un producto natural es benéfico tanto para el mismo cultivo como para el consumo humano.
- c) El desarrollo y crecimiento de todos los esquejes fue lento, sin embargo por medio de la siembra con esquejes se puede duplicar la producción, lo cual es muy conveniente para zonas rurales.
- d) Los resultados acerca de la vermicomposta fueron satisfactorios, puesto que fue el tratamiento con resultados favorables para el cultivo de esquejes de nopal, produciendo brotes orgánicos y de buena calidad.
- e) El lixiviado como cicatrizante ayuda a evitar daños por parásitos y mejora el enraizamiento de cada esqueje.
- f) La especie *Opuntia* y en general las cactáceas son plantas de climas áridos, por lo que las heladas y climas bajos de la temporada invernal provocan una disminución en su metabolismo, es recomendable protegerlas de este clima así producirán brotes fuera de temporada, lo cual es favorable para la venta e importación del producto. El que se hayan mantenido vivos los esquejes orgánicos a estas temperaturas es aún más conveniente puesto que así se obtiene el doble de producto completamente orgánico favoreciendo su consumo.

REFERENCIAS

- Alvarado-Barcenas, E., Chablé-Moreno, F., 2011, *Evaluación del BAP y AIA en la multiplicación in vitro de nopal Copena V1*, Instituto Tecnológico de Roque.
- Alteri S. 1994, *Agroecological basis for sustainable agricultural production*, Agricultura Técnica, Vol. 54, N° 4, Chile.
- Aguilar B.G, 2005, *Producción forzada de nopal (Opuntia ficus-indica, cv) Tlaconopal mediante anillado parcial*, Revista Fitotecnia Mexicana, vol.28, núm. 003, Chapingo, México, pp.295-298.
- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q. and Metzger, J. D. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Biores. Technol.* 84: 7-14.
- Ávila A. y Pereyra S.M, 2007, *Producción de plantas madre y esquejes de crisantemo (Dendranthema grandiflorum Kitam)*, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Córdoba
- Black, C.C. 1986. *Effects of CO₂ Concentration on Photosynthesis and Respiration of C₄ and CAM Plants. In: H.Z. Enoch and B.A. Kimball (Eds.). Carbon Dioxide Enrichment of Greenhouse Crops. Vol. II. Physiology, Yield, and Economics.* CRC Press, Inc. Boca Raton, Fla. USA. pp. 29-40.
- Blanco M. F., Herrera L.A., Valdez C.R., Cortés B.J.O., Luna F.M., Salas L.M.A., 2006, *Interacciones nutrimentales y normas de la técnica de Nutrimiento compuesto en nopal (Opuntia ficus-indica L. Miller)*, Revista Chapingo, año/vol. 12, número 002, Chapingo, México, pp. 165-175.

- Blanco Macías F, 2010, *Determinación de normas nutrimentales en nopal Opuntia ficus-indica L.*, Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México.
- Blanco M.F., Vázquez A.R.E, Ojeda Z. Ma. C., 2012, Uso de lombrihumus en la producción de nopal verdura cultivar COPENA V1, revista Salud Pública y Nutrición, No.04, pp 15-40.
- Boke, N.H.1980. *Developmental morphology and anatomy in Cactaceae*. Bioscience. 30 (9): 605-610pp.
- Bowers J.E. 1996. More flowers or new cladodes? Environmental correlates and biological consequences of sexual reproduction in a Sonora Desert prickly pear cactus *O. engelmannii* Bull. Torrey. Bot. Club 123: 34-40.
- Bravo-Hollis, 1978, *Las cactáceas de México*. 2ª ed Vol. 1 U.N.A.M. México 743 p.
- Brechlt Andrea, 2004, Manejo Ecológico del Suelo, Fundación Agricultura y Medio Ambiente.
- Burgueño, H., 1999, *La Fertirrigacion en cultivos hortícolas con acolchado plástico*, vol. 3: 3ª Ed. Culiacán, Sinaloa. México, 76 p.
- Choreño-Tapia, J.M, *et al*, 2002, *Propagación in vitro de Cephalocereus senilis a partir de aréolas*, Revista Chapingo, Serie Horticultura, 8(2), pp. 183-196.
- Díaz L.P. Medina, L. F; Latife, J.; Digonzelli, P. A.; Sosa, S. B..., 2004, *Adaptación de las plantas micropropagadas de caña de azúcar utilizando el humus de lombriz*, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina, vol 33, num 002, pp.115-128
- Enzo, 2006, *Humus de lombriz y su aplicación*, Departamento Técnico de Lombricultura, Chile
- Estrada L., A.A. 1998. Tesis de M.C.C.P. Montecillos, Edo. de México.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación), 2001, *Major soils of the world. World reference base for soil resources. Atlas*

Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánicos (IFOAM), 2000.

Ferrara C. R y Alarcón A., 2001, *La microbiología del suelo en la agricultura sostenible*, Ciencia Egro Sum, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México, vol. 8, núm. 2, pp.175-183.

García R.T.M.,2007. Procesos fisiológicos y contenido de polisacáridos estructurales en nopalito (*Opuntia ssp.*) y su modificación por el potencial de agua del suelo. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas., pp 41-57.

Ghosh, M., Chattopadhyay, G. N. and Baral, K., 1999. Transformation of phosphorus during vermicomposting. *Biores. Technol.* 69: 149-154.

Gómez C.M.A., *et al.*, 2001, *Agricultura Orgánica en México. Datos básicos*. Boletín, SAGARPA-CIESTAAM, México, pp.91-108

Gómez T.L, Gómez C.M.A., 2011, *La Agricultura Orgánica en México: un ejemplo de incorporación y resistencia a la globalización*, CIESTAAM de la Universidad Autónoma Chapingo.

Graetz, H.A., 1997, *Suelos y Fertilización*, Trillas, México, 80 p.

Granados S., D; A.D.P., Castañeda., 1991, 3ª reimp. Edit. Trillas, México

Granados S.,D.; A.D., Castañeda P., *El Nopal. Historia, fisiología, genética e importancia frutícola*. 4^{ta} reimpresión. Editorial Trillas. 227 p.

Howard A. 1940, *Introducción al Testamento Agrícola*, pp 10-15 Ingeniería ambiental & medio ambiente, 2000.

Jeyaratman, J, Maroni, M. 1994, Organophosphorus compounds, *Toxicology*.91:15-27.

Johnston, A.E.1991, *Soil fertility and soil organic matter. En "Advances in soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment"*, 299-314. Ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, Reino Unido

Jordán López Antonio, 2006, *Manual de Edafología*, Sevilla

Julca-Otiniano A. *et al.*, 2006, *La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura*, Chile, vol. 24, núm. 1, pp. 49-61

Kester, J.E., 2001, *Endocrine disrupting chemicals*. En *Clinical Environmental Health and toxic exposures*. Lippincot William and Wilkins.

Kiesling, R., 1999. *Domesticación y distribución de Opuntia ficus-indica*. J. Profess. Assoc. Cact. Develop. 3. 50-59

Ley de productos orgánicos en México, 2006, Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión

Longnecker, M.P. Rogan, W.J., Lucier, G, 1997, *The human health effects of DDT (dichlorodiphenyltrichloroethane) and PCBs (polychlorinated biphenyls) and an overview of organochlorines in public health*. Annu. Rev. Public Health.18:211–244

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), El Salvador, 2004

Mondragón J.C, Méndez G.S, Oropeza O.G, 2011, *El cultivo de Opuntia para la producción de forraje: de la reforestación al cultivo hidropónico*.

Mondragón J.C, Pérez- González S., 2003, *Estudio FAO Producción y Protección Vegetal*, Departamento de Agricultura.

Montenegro L., 2002, *Certificación de Productos Orgánicos, Normas: Equivalencias y Armonización, Experiencia Argentina como País tercero.*, Buenos Aires.

Morales J., 2008, *La Agricultura Orgánica y su certificación en México*, Seminario Internacional "Mas Allá del TLC: la Situación del campo y Propuestas Alternativas

Moreno Reséndez, A., 2011, *Origen, importancia y aplicación de vermicomposta para el desarrollo de especies hortícolas y ornamentales*, Universidad Autónoma Agraria.

Moreno D. R. 1978. Clasificación de pH del suelo, contenido de sales y nutrientes asimilables. INIA-SARH. México D.F.

Narváez, F., 2011, *Humus de Lombriz*, Temuco Chile.

Navarro P, Moral H., Gómez L., Mataix B., 1995, *Residuos orgánicos y agricultura*. Universidad de Alicante, Servicio de Publicaciones Alicante, España, 108pp.

Nerd, A.;Y. Mizrahi., 1995. Reproductive biology. In: G. Barbera P. Inglese & E. Pimienta-Barrios (eds). Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO. Plant Production and Protection. Paper 132.pp 49-57.

NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial, 31 de diciembre de 2002.

Ochoa P.J.I, 2008, *Beneficios que ofrece el humus de lombriz a los cultivos de manzana*.

Pimienta B., 1990, *El nopal trueno*. Primera edición. Universidad de Guadalajara , México , 246 p.

Plenge T., Sierra Fonseca J.A., Castillo-Sosa Y.A., *Riesgos a la salud humana causados por plaguicidas*, Tecnociencia Chihuahua, vol 1. N°3, Chihuahua

Productos Orgánicos en México, 2006, Alfa Editores Técnicos

- Reines A.M.M., Rodríguez C.A., Carrillo O.F., Loza A.LI., Contreras S.H., 2006, Nuevos avances en la biotecnología de la lombricultura. Editorial Universitaria. Ciudad de la Habana, Cuba 38p.
- Rivera C. J, 2009, *Balance Histórico de los Problemas Agrícolas e Industriales en México*, Universidad Autónoma Metropolitana.
- Rodríguez C.E, 2010, *Establecimiento de una plantación de nopal verdura y algunas pruebas de deshidratación de nopalito*, Revista "Salud Pública y Nutrición, ed. Especial, núm. 5, pp. 230-242.
- Rodríguez-Dimas P.,Favela-Chávez, E.,Figueroa- Viramontes,C., Moreno Reséndez, 2007, *Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero*, Revista Chapingo, Serie Horticultura, vol.13, núm 2, pp185-192.
- Schwentenius R.R, Nelson E.,Gómez-Cruz M.A., 2000, *Producción orgánica y mercados locales en México*, Agro. 65, pp. 44-51.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación, 2010, Diario Oficial.
- Sharkey, T. 1993, Fotosíntesis. In: J Azcon-Bieto & Y.M.Talon, Fisiología y Bioquímica Vegetal. Editorial Macgraw-Hill. España. Pp 81-85.
- Singh, R.S., V. Singh, 2003, *Growth and development influenced by size, age, and planting methods of cladodes en Cactus Pear (Opuntia ficus-indica (L.)Mill.)*.Journal Professional Association for Cactus Development 5:47-54.
- Snyman, H.A.2007, *Frost sensitivity of Opuntia ficus-indica and O. robusta in a semiarid climate of South Africa*. Journal Professional Association for Cactus Development 9:1-21.

Solano, J., Orihuela, A., 2008, *Supervivencia y producción de nopal verdura Opuntia ficus-indica, utilizando fracciones mínimas*, Short Communications / Methods, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca.

Uribe S., Jesús K., Uribe M., 2011, *Evaluación de lixiviados de composta y vermicomposta de residuos agropecuarios como mecanismo de fertilización y control de enfermedades en cultivos tropicales*, Villahermosa, Tabasco.

Velasco, V. J., 2001, *Vermicomposta, Micorriza Arbuscular y Azospirillum Brasilense en tomate de cáscara*, Chapingo, México, año/vol.19, número003,pp. 241-248.

Wang, X., Felker, P.; A. Paterson. 1997. Environmental influences on cactus pear fruit yield, quality and cold hardiness, and development of hybrids with improves cold hardiness. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 2: pp 48-59.

Weiss B. and Amler S., 2004, *Pesticides Pediatrics*, pp. 1030-1036

Zavaleta- B., Olivares O.J.L, Montiel S.D., Chimal H.A., Scheinvar L., 2001, Fertilización orgánica del Xoconostle, Agrociencia, vol.35, número 006, pp 609-614.