

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
DIVISIÓN DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



"Evaluación del desarrollo de tubérculos en camote de cerro (*Dioscorea* spp.),
bajo diversos ambientes y el uso de fertilizantes"

Modalidad de Titulación Tesis e Informes

Opción Tesis

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTA

JORGE LUIS CÁZARES CASTRO

LAS AGUJAS, ZAPOPAN, JALISCO

26 DE ABRIL DE 2012



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERO AGRÓNOMO
COMITÉ DE TITULACION

M.C. SALVADOR GONZÁLEZ LUNA
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
PRESENTE

Con toda atención nos permitimos hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobada la modalidad de: TESIS E INFORMES, opción TESIS, con el título:

“EVALUACIÓN DEL DESARROLLO DE TUBÉRCULOS EN CAMOTE DE CERRO (*Dioscorea* spp.), BAJO DIVERSOS AMBIENTES Y EL USO DE FERTILIZANTES”

El cual fue presentado por él (los) pasante(s):

JORGE LUIS CÁZARES CASTRO

El Comité de Titulación, designó como director y asesores, respectivamente, a los profesores:

DR. FERNANDO SANTACRUZ RUVALCABA
DRA. PATRICIA ZARAZÚA VILLASEÑOR

DIRECTOR
ASESOR

Una vez concluido el trabajo de titulación, el Comité de Titulación designó como sinodales a los profesores:

DR. JOSÉ PABLO TORRES MORÁN
DR. LINO DE LA CRUZ LARIOS
M.C. LETICIA FREGOSO FRANCO

PRESIDENTE
SECRETARIO
VOCAL

Se hace constar que se han cumplido los requisitos que establece la Ley Orgánica de la Universidad de Guadalajara, en lo referente a la titulación, así como el Reglamento del Comité de Titulación.

A T E N T A M E N T E
 "PIENSA Y TRABAJA"

Las Agujas, Zapopan, Jalisco, a 14 de mayo de 2012.



M.C JORGE RAÚL TORAL FLORES
 PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACION

DRA. LUISA GARCÍA SAHAGÚN
 SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACION
 DIVISION DE CIENCIAS AGRONOMICAS
 CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

AGRADECIMIENTOS

A mis padres: María Guadalupe Castro Avalos y Rafael Cázares Vargas por todo su amor, apoyo y cariño; así como forjarme una vida digna llena de valores y principios éticos.

A mis hermanos: Esmeralda, Javier, Isabel, Silvia, Juan Luis, Antonia y Mireya por compartir momentos de nuestras vidas juntos y brindarme su ayuda.

A mis maestros: Por compartir sus conocimientos y enseñanzas conmigo durante toda la estadía de mis estudios.

Al Dr. Fernando Santacruz Ruvalcaba: Por todo su apoyo mediante la realización de esta investigación y por ser un excelente profesor.

A la Dra. Patricia Zarazúa Villaseñor: Por su asesoría y revisión de esta investigación, además de su excelencia como maestra.

A Mallely Azeneth Vidal Lepe: Por todo tu apoyo, motivación, amor, paciencia y permanecer a mi lado en todo momento.

A mis compañeros y amigos: Con quienes pasé muy buenos momentos durante una de las etapas más importantes de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	4
2.1 <u>Descripción botánica</u>	4
2.2 <u>Las dioscóreas en el mundo</u>	7
2.3 <u>Las dioscóreas en México</u>	8
2.4 <u>Las dioscóreas en Jalisco</u>	10
2.5 <u>Usos y aprovechamiento de las dioscóreas</u>	10
2.6 <u>Manejo de cultivo en las dioscóreas</u>	12
2.7 <u>Ventajas de los invernaderos</u>	13
2.8 <u>Fertilización y elementos nutricionales</u>	17
2.8.1 Importancia del nitrógeno	17
2.8.2 Importancia del fósforo	18
2.8.3 Importancia del potasio	20
2.9 <u>Microorganismos fijadores de nutrientes</u>	21
2.9.1 Importancia del género <i>Bacillus</i>	22
2.9.2 Importancia de <i>Bacillus subtilis</i>	23
III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	25
3.1 <u>Objetivo general</u>	25
3.2 <u>Objetivos particulares</u>	25
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	26
4.1 <u>Primer ciclo</u>	27
4.1.1 Preparación de los materiales	27
4.1.2 Trasplante	28
4.1.3 Fertilización	30
4.1.4 Diseño experimental primer ciclo	30

4.2 <u>Segundo ciclo</u>	31
4.2.1 Preparación del sustrato	31
4.2.2 Fertilización	31
4.2.3 Diseño experimental segundo ciclo	32
4.2.4 Toma y análisis de datos	33
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
5.1 <u>Primer ciclo</u>	35
5.1.1. Peso de los tubérculos	35
5.1.2 Longitud de los tubérculos	36
5.2 <u>Segundo ciclo</u>	36
5.2.1 Longitud de las plantas	37
5.2.2 Longitud de entrenudos	39
5.2.3 Número de hojas	41
5.2.4 Peso de tubérculos	44
VI. CONCLUSIONES	45
VII. LITERATURA CITADA	46
VIII. ANEXOS	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Promedios de temperaturas media, máximas y mínimas de cada 15 días así como el promedio de humedad relativa y total de precipitación pluvial en la zona del CUCBA en el periodo del ciclo 2007.	26
Cuadro 2. Promedios de temperaturas media, máximas y mínimas de cada 15 días así como el promedio de humedad relativa y total de precipitación pluvial en la zona del CUCBA en el periodo del ciclo 2008.	27
Cuadro 3. Comparación múltiple de medias en la longitud de las plantas a los 90 días después de plantación, por medio de los tratamientos utilizando el método LSD.	38
Cuadro 4. Comparación múltiple de medias en la longitud de los entrenudos a los 45 días después de plantación, por medio de los tratamientos utilizando el método LSD.	39
Cuadro 5. Comparación múltiple de medias en la longitud de los entrenudos a los 90 días después de plantación, por medio de los tratamientos utilizando el método LSD.	40
Cuadro 6. Comparación múltiple de medias en la variable número de hojas a los 45 días después de plantación, por medio de los tratamientos utilizando el método LSD.	42
Cuadro 7. Comparación múltiple de medias en la variable número de hojas a los 90 días después de plantación, por medio de los tratamientos utilizando el método LSD.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. a) Plantas de camote de cerro tutoradas bajo la malla sombra al 50%. b) Plantas de camote de cerro en campo con luz solar directa.	29
Figura 2. Medición de la longitud de los tubérculos al ser cosechados.	34
Figura 3. a) Hojas de plantas de <i>Dioscorea</i> spp., bajo malla sombra. b) Hojas de plantas de <i>Dioscorea</i> spp., establecidas dentro de invernadero.	41
Figura 4. a) Plantas de camote de cerro dentro de invernadero. b) Plantas de camote de cerro bajo malla sombra.	43

RESUMEN

Dioscorea spp., es una planta que se desarrolla en ambientes tropicales y subtropicales a lo largo de todo el mundo. En el territorio mexicano se extiende desde los estados de Sinaloa hasta Chiapas en la Zona Occidente por el Pacífico y en el Oriente desde Tamaulipas hasta la península de Yucatán, así como en los estados centrales desde Chihuahua hasta la región centro de México. Debido a que sus tubérculos tienen gran importancia tanto en el rubro alimenticio como farmacéutico nos llevan a establecer al camote de cerro a un ambiente controlado mediante el uso de fertilizantes. Para su establecimiento en el primer ciclo se evaluaron dos ambientes: malla sombra con 50% de reducción de luz y campo abierto con luz directa. Posteriormente se probaron diferentes tratamientos de fertilizantes químicos para evaluar principalmente el rendimiento de los tubérculos y fueron los siguientes: 20-10-20, 8-45-14, 15-10-30 y 25-45-14; cada uno de los tratamientos fueron aplicados semanalmente a dosis de 2.5 g/50 mL de agua por cada planta con cinco repeticiones cada tratamiento mediante un diseño experimental bifactorial completamente al azar. Se obtuvo mediante los resultados que el ambiente de malla sombra fue el más favorable así como los fertilizantes con mayor nivel de fósforo mostraron mejor rendimiento. Respecto al segundo ciclo se evaluaron dos ambientes: malla sombra con 50% de reducción de luz e invernadero sin reducción en la iluminación. Los tratamientos de fertilizantes que se utilizaron fueron 8-45-14 y 25-45-14 con dosis semanales de 2.5 g/50 mL de agua; así como también se evaluó un fertilizante biológico a base de bacterias solubilizadoras de fósforo (*Bacillus subtilis*) a dosis semanal de 2.25 mL/50 mL de agua por planta con seis repeticiones cada uno de los tratamientos de igual forma mediante un diseño experimental bifactorial completamente al azar. Los resultados mostraron nuevamente que el ambiente de malla sombra es el más favorable para el desarrollo de camote de cerro así como el mejor tratamiento de fertilizante fue el de la mezcla 25-45-14.

I. INTRODUCCIÓN

Más del 80% de las tierras en México, presentan restricciones para actividades agropecuarias. La transferencia de tecnología de la agricultura dominante a estas regiones ha incrementado el deterioro ecológico, lo que pone en peligro el desarrollo de las actividades agropecuarias. En cambio, sus pobladores han desarrollado tecnología tradicional para hacer uso y aprovechamiento de los recursos naturales disponibles, promoviendo procesos de domesticación. Por lo general el estudio del proceso de domesticación de plantas parte del análisis de las diferencias entre plantas silvestres y las domesticadas; en el caso del camote de cerro, el proceso de domesticación es diferente, ya que se desarrolla en condiciones naturales y al parecer no requiere del hombre para su supervivencia, sin embargo si puede favorecer a incrementar sus rendimientos a través de su estudio (López, 1999).

Según Fernández *et al.* (2000) el cambio más importante dentro del sistema productivo que representa una planta en su agroecosistema y que justifica su cultivo por el hombre es el crecimiento. Para un productor, el mayor o menor crecimiento de las especies cultivadas en su conjunto o bien de determinados órganos, se traduce directamente en la rentabilidad de la actividad económica. La simulación del crecimiento de los cultivos a través de modelos debidamente desarrollados y adaptados a las condiciones en que nos encontramos, permite aportar la valiosa información que resulta el conocer *a priori* el pronóstico de sus rendimientos, así como evaluar la respuesta del cultivo ante diversas estrategias relacionadas con su manejo, constituyéndose en una interesante herramienta de optimización.

El género *Dioscorea* se encuentra entre los 20 cultivos alimenticios de mayor importancia en el mundo (Harlan, 1992). Además, se le considera como el segundo cultivo más importante en producir energía digestible a base de almidones, solamente siendo superado por la papa (Ondo *et al.*, 2007). Según Ravi *et al.* (1996), el área cultivada con plantas del género *Dioscorea* (camotes de cerro) en el mundo, había sido estimada en 3 millones de hectáreas con una producción anual promedio de 30 millones de toneladas, y datos que revelan el área cultivada en el año 2010 fue de 4.7 millones de hectáreas con una producción estimada de 48 millones de toneladas (FAO, 2011). Así mismo Scott *et al.* (2006) mencionaron que la producción de tubérculos y raíces seguirá en incremento para el año 2020 debido a la demanda de papa y camote de cerro para alimento humano. Por lo tanto las dioscóreas representan un papel esencial en la economía de los pueblos agricultores que se encuentran ubicados en regiones tropicales, y lo seguirán siendo en las próximas décadas (Craufurd *et al.*, 2006). El nombre ñame en el dialecto de Guinea, significa "comer" sus raíces subterráneas o el tubérculo, el cual es la parte comestible y es rico en almidón (Snarkis *et al.*, 1989). De tal forma que es de suma importancia llevar a cabo nuevas investigaciones con este tipo de plantas en nuestra región para ir promoviendo una adaptación y domesticación, implementando nuevas técnicas para mejorar su desarrollo, haciendo uso de mallas sombras, invernaderos y la utilización de fertilizantes incorporados para una mejor nutrición de las plantas, ya que es uno de los principales cultivos a nivel mundial de alto valor comercial, nutricional y medicinal.

Vargas (2007) hizo mención que el cultivo de las dioscóreas ha tenido una serie de problemas a nivel mundial debido a lo inadecuado del material vegetativo que se utiliza para su propagación, además de los métodos de propagación poco eficientes, enfermedades y semillas poco viables. Por lo tanto se han tratado de establecer nuevas técnicas para mejorar el desarrollo y propagación.

Las dioscóreas en México son plantas de mucho interés para los investigadores debido a sus propiedades; principalmente alimenticias. En la actualidad en la región del estado de Jalisco no se cultiva, solo se recolecta de manera silvestre y como consecuencia propicia, en algunas zonas, sobreexplotación debido a la demanda y al interés que cada vez es mayor por obtener los tubérculos de la planta. Por lo tanto es importante llevar a cabo trabajos que permitan conocer más sobre el proceso de adaptación de este género a un ambiente controlado y el manejo por el hombre de manera doméstica. Cabe resaltar que en este documento se le hará mención a las plantas del género *Dioscorea* bajo el nombre de camote de cerro, debido a que varía su nombre según la zona geográfica tal como se mencionará posteriormente.

II. ANTECEDENTES

2.1 Descripción botánica

Se considera que *Dioscorea* es un género compuesto por un número incierto de especies que tradicionalmente, y de acuerdo con algunos de los trabajos más importantes, se sitúa entre 650 y 850 distintas especies, algunas se encuentran de forma silvestre, así como otras se explotan comercialmente (Al-Shehbaz y Schubert, 1989). Recientemente, como consecuencia de estudios morfológicos y moleculares, en el nivel genérico se hizo una clasificación significativa en la cual se propuso el reconocimiento exclusivo del género *Dioscorea* en la familia *Dioscoreaceae*, (Téllez y Geeta, 2007).

Ramírez (1990) señala que el género *Dioscorea* comprende muchas especies las cuales se pueden diferenciar debido a sus características botánicas en sus tallos, flores y frutos, así como por la presencia o ausencia de bulbillos en la axila de las hojas y por la orientación del enroscamiento de los tallos. En el seno de cada especie, las variedades se distinguen por los aspectos de las raíces, el color del tubérculo, ya sea blanco o amarillo, además de las características en cuanto al contenido de almidón y la adaptación ecológica.

Su descripción botánica es de la siguiente manera:

Orden: Liliales.

Familia: *Dioscoreaceae*.

Género: *Dioscorea*.

Especies: *remotiflora*, *dugesii*, *nelsonni* (siendo de las más importantes que se encuentran en México).

Nombre común: Camote de cerro (Occidente de México), Barbasco (Oriente de México en estados como Veracruz, Tabasco y Chiapas), Yam (África) y Ñame (Centroamérica y Caribe) (Ramírez, 1990).

Se clasifica al camote de cerro como una planta perteneciente al grupo de las monocotiledóneas, pero en algunos casos se le relaciona con las dicotiledóneas debido a que tiene un segundo cotiledón que se encuentra sin desarrollar en el embrión, según reportan Lawton y Lawton (1967) citados por Shewry (2003).

El camote de cerro es una planta herbácea de tallo voluble, con tubérculos solitarios o en haces digitados de color pardo, cuyos tubérculos son de coloraciones tales como blanco, amarillo o rojizo, esto dependerá según su especie (Snarkis *et al.*, 1989). A continuación se describen algunas de las características más representativas en algunas de las especies más conocidas del género *Dioscorea*.

Dioscorea alata: Es una planta trepadora cuyas raíces producen un tubérculo profundo y de gran tamaño con alto contenido en almidón. Además en esta especie las plantas se distinguen por tallos verdes de sección cuadrangular y alada. Cuentan con hojas acorazonadas y cada una de las plantas forma entre dos y tres tubérculos de colores tales como blanco, rojizo o violeta (Rodríguez *et al.*, 2007).

D. rotundata: Esta enredadera llega a tener una longitud alrededor de los 5.4 a 6 m es de color verde cenizo; las hojas son en forma de corazón, color verde oscuro brillante y son bastante gruesas. El tallo es fuerte, vigoroso, de sección redonda y posee espinas en las axilas de las hojas. La planta tiene un sistema de raíces fibroso. Los tubérculos durante el período de almacenamiento, presentan puntos elevados semejantes a pústulas que van a dar origen a raíces (Tejeda *et al.*, 2007).

D. batatas: Se conforman con hojas largas como flechas, limbo verde oscuro y entero, rizoma muy largo. La pulpa de esta especie es harinosa, mucilaginoso y se consume preparada como la papa (Snarkis *et al.*, 1989).

D. trifida: Se caracterizan por tener un tallo subterráneo el cual emite tallos aéreos, raíces y tubérculos que constituyen una fuente rica de carbohidratos (León, 1978). A esta especie también se le llega a nombrar como papa chiricana. Se conforma por hojas divididas en tres a cinco lóbulos, tienen tallos angulosos y alados y de rizomas redondeados u oblongos (Snarkis *et al.*, 1989).

D. esculenta: En esta especie las raíces son pequeñas y ovaladas semejantes a las de la papa, producidas en racimos cerca de la superficie. Sus tubérculos poseen dimensiones de 5 a 15 cm de longitud; la planta produce ovarios en forma de racimos, ovoides, buenos al paladar. Sus tallos son cilíndricos, espinosos, se enrollan hacia la izquierda. Sus hojas son simples acorazonadas, más pequeñas que en otras especies comestibles (Sánchez *et al.*, 2008).

D. bulbifera: Se conforma de hojas alternas con forma de corazón, desarrolla bulbos de 5 a 10 cm de longitud en las axilas de las hojas, los cuales se pueden utilizar como material de propagación o también como alimento. Sus rizomas son esféricos y son venenosos en estado fresco, pero cocidos, pelados y en láminas finas pueden comerse sin peligro a envenenamiento (Snarkis *et al.*, 1989).

D. sparsiflora: Es una planta herbácea trepadora, tienen tallos que son tetra angulados, alados, con coloración púrpura y tonalidades en verde oscuro, las hojas son alternas, acorazonadas, peciolo alado de 1 a 4 cm de largo, forma inflorescencias estaminadas de 1 a 2 panículas color pardo amarillento, inflorescencias pistiladas color pardo claro (Mc Vaugh, 1989).

D. nelsonii: Sus hojas son alternas de forma ovada, tienen de 9 a 11 nervaduras, suelen ser gruesas, coriáceas, sin rafidios visibles a trasluz, con base cordata, ocasionalmente los lóbulos traslapándose, el ápice abruptamente cortamente acuminado; sus pecíolos suelen medir en promedio de 6 a 10.5 cm. Tiene tallos levovolubles y robustos en su madurez, con fuertes y grandes aguijones cerca de la base. Los tubérculos de esta especie llegan a medir de 30 a 80 cm por 5 centímetros de ancho, son hipogeos, simples o fasciculados, succulentos, carnosos, napiformes, el color a su interior es blanco y la corteza de color pardo claro a amarillo y muy delgada. Esta especie se ha localizado principalmente desde Jalisco a Guatemala, en las regiones de bosques mesófilos y selvas bajas caducifolias, en altitudes que van desde los 200 a 1200 msnm (Téllez, 1996).

D. remotiflora: Es una planta trepadora con hojas en forma de corazón y semillas que se forman en racimos axilares y su tubérculo que es la parte de mayor importancia para el consumo humano es muy rico en almidones con un porcentaje de 65 a 85%. Se localiza en regiones de bosques del trópico seco caducifolio (Guízar *et al.*, 2008).

2.2 Las dioscóreas en el mundo

Harlan (1992) mencionó que los camotes comenzaron a tener un proceso de domesticación hace aproximadamente 10,000 años en África siendo junto con la calabaza y la cebada, los primeros cultivos en implementarse dicho proceso. Principalmente, esto ha ocurrido con el fin de aprovechar sus partes subterráneas, ya que en Asia, África y América han sido domesticadas ya sea simultánea o independientemente (Van Raamsdonk, 1995). En las últimas décadas la producción de *Dioscorea* a nivel mundial presenta gran importancia económica en África, Asia y América Latina (Mitchell *et al.*, 1995). Téllez (1987) menciona que algunas de las especies del género *Dioscorea*, en especial las especies *D. bulbifera* y *D. alata*, se encuentran presentes en el viejo mundo.

Por otra parte las dioscóreas son el alimento base en las regiones del Caribe, debido a que en dicha región es un cultivo seguro, cuyos rendimientos son estables y relativamente poco sensibles a los azares climáticos, pero es difícil de integrar en un sistema modernizado por su exigencia elevada de mano de obra (Snarkis *et al.*, 1989). De todas las especies que comprende el género *Dioscorea*, siete son las que más destacan en su importancia debido a que son parte de los cultivos básicos en los trópicos, el camote de cerro amarillo (*D. cayensis*), el blanco (*D. rotundata*), el trifoliado (*D. dumertorum*), que son de origen del oeste de África; originarios de Asia se encuentran el camote de cerro chino (*D. esculenta*) y el camote de agua (*D. alata*); el camote aéreo (*D. bulbifera*), que se localiza tanto en África como en Asia; y existe uno originario de América que se conoce como cush-cush ñame (*D. trifida*) (Hahn, 1995).

2.3 Las dioscóreas en México

En México hay dos géneros, *Dioscorea* L. y *Nanarepenta*. Éstos dos comprenden alrededor de 60 a 80 especies (Matuda, 1954), lo que corresponde del 10 al 15% de las especies que son reconocidas para el género y de las cuales del 60 al 70% son endémicas al país.

Habitan en climas cálidos, aunque hay algunas que se adaptan y son comunes en regiones con climas templados y con alturas menores a los 2000 msnm. Sin embargo algunas especies provenientes de Sudamérica alcanzan alturas hasta los 4000 msnm (Kunth, 1924) citado por Ramírez y Téllez (1992).

El camote de cerro (*Dioscorea remotiflora* Kunth), es una planta trepadora presente en los bosques del trópico seco caducifolio cuyo tubérculo se recolecta para autoconsumo y venta. El nombre de camote de cerro se aplica en México a los tubérculos subterráneos de cualquier *Dioscorea* además a plantas de otras familias (Mc Vaugh, 1989). En México su distribución es muy extensa la cual abarca desde Sinaloa hasta Chiapas en la zona del Pacífico, de

Tamaulipas a la Península de Yucatán por el Golfo de México y de Chihuahua hasta Puebla y Querétaro en la Zona Central del país (Téllez y Schubert, 1987).

Estas plantas han sido de importancia en México debido a que los tubérculos se utilizan para producir compuestos esteroides que son de utilidad en la elaboración de medicamentos hormonales (Diechtl, 1980).

La recolección y comercialización del camote de cerro en el Occidente de México, es una actividad que tradicionalmente se realiza durante los meses de septiembre y mayo, y da ocupación a familias campesinas que consiguen complementar sus ingresos mediante esta actividad (Mostul y Chazaro, 1996).

En México las especies existentes en el país presentan más o menos los siguientes patrones de distribución:

Las especies de *Dioscorea urceolata*, *D. galettiana* y *D. ulinei* habitan en los bosques de *Quercus* en alturas de 1800 a 2300 msnm. Existen algunas asociaciones respecto a algunas especies de *Dioscorea* como son los casos de *D. hintonii*, *D. urceolata* y *D. ulinei* con *Quercus-Arctostaphylos polifolia*, en suelos ricos en materia orgánica, con abundante humedad y sombra, a una temperatura media anual de 19.9 °C y con precipitación anual alrededor de los 1463.2 mm. Otro de los casos de asociación se da con *Dioscorea urceolata* ya que se le ha encontrado con *Hechtia podantha-Agave horrida* (Espinosa, 1962). Por otra parte *D. lobata*, *D. morelosana*, *D. convolvulácea*, *D. nelsonii*, *D. remotiflora*, *D. subtomentosa*, *D. ulinei* y *D. urceolata*, se encuentran en selvas bajas, pastizales, matorral bajo y vegetación secundaria, en altitudes que van de los 900 a los 1200 msnm, con climas semicálidos y cálidos.

La especie de *Dioscorea convolvulacea* la cual es conocida como camote blanco, madre de maíz (Martínez, 1979; Standley y Steyermark, 1952) y barbasquillo (Sosa *et al.*, 1987), es una especie cuyo centro de origen es el centro y sur de México hasta Panamá (Sosa *et al.*, 1987), también en las

Antillas (Stevens *et al.*, 2001). Específicamente en México se ha localizado en Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Veracruz, Jalisco, Estado de México y Península de Yucatán (Sosa *et al.*, 1987).

2.4 Las dioscóreas en Jalisco

Existe una gran cantidad de diferentes especies que se han encontrado dentro del estado de Jalisco en diversas regiones y municipios. Según Mc Vaugh (1989), se ha encontrado *D. jaliscana* en Talpa, Mascota, Tecalitlán, San Sebastián del Oeste, en Autlán y el Bosque de la Primavera.

La especie de *Dioscorea convolvulácea* se ha localizado en la región de Chamela, dentro de la capital del estado (Guadalajara) en la Barranca de Huentitán y en el municipio de Chapala (Ramírez y Téllez, 1992).

Cosatti (1981) reporta que en los municipios de Tamazula y Tlajomulco de Zuñiga, se ha encontrado *Dioscorea militaris*.

Se menciona que *Dioscorea remotiflora* Kunth se encuentra en Jalisco y Colima; así como *Dioscorea dugesii* también se ha reportado dentro de Jalisco según menciona Maldonado (1994).

2.5 Usos y aprovechamiento de las dioscóreas

Existen al menos 24 especies del género *Dioscorea* que han sido cultivadas como alimento del hombre, 12 se han utilizado como drogas y aproximadamente 26 que son objeto de recolección (Evans, 1993). López en 1999 mencionó que diferentes especies de *Dioscorea* se han utilizado de diversas maneras como fuente de alimento, medicina, producción de alcohol, insecticidas contra piojos, veneno para flechas, para envenenar peces y otros animales, sus bejucos han sido utilizados como cuerdas, entre otros usos.

Varios de los compuestos químicos que generan el sabor amargo, y en ocasiones de sustancias venenosas, como los alcaloides y sapogeninas, son características de algunas de las especies, siendo esto, una de las principales causas de su explotación excesiva (McVaugh, 1989), como es el caso de *D. compositae* y *D. mexicana*, esto en México, donde a pesar de varios intentos por cultivarlas a gran escala, no se ha logrado tener éxito, por lo que todo el suplemento proviene de plantas en forma silvestre, provocando prácticamente el exterminio de esta fuente de materia prima (Rizzini y Mors, 1995).

En la industria farmacéutica, algunas de las fuentes de sapogeninas esteroides provienen de *D. mexicana* y *D. compositae*, estas dos ubicadas dentro de México y América Central, *D. prazeri*, *D. deltoidea* y *D. sylvatica* en el país de la India, *D. tokoro* en Japón, todas éstas como fuente de diosgenina (Trease y Evans, 1984). Se han realizado estudios sobre la especie *Dioscorea zingiberensis* C.H. Wright ya que produce mediante hidrólisis ácida de los tubérculos la diosgenina el cual es un material precursor importante para la industria de hormonas esteroidales (Liu *et al.*, 2010).

Un ejemplo de especie que contiene alcaloides es *Dioscorea hispida*. En *D. batatas* y *D. alata* los tubérculos contienen fécula y se conocen como camotes de cerro y son alimentos importantes en los trópicos (Standley y Steyermark, 1952). Tubérculos de muchas de las dioscóreas han sido utilizados ampliamente como alimento, debido a que son ricos en fécula, además algunas especies poseen saponinas esteroides y alcaloides (Trease y Evans, 1984).

Chu y Figueiredo-Ribeiro (1991) mencionaron que los mayores compuestos de reserva de cinco especies de *Dioscorea* nativas de Brasil que tienen un uso como alimento, así como fuente de diosgenina, son: agua (60 a 80%), almidones (8 a 26%), carbohidratos solubles (0 a 2.13%), proteínas (1.2 a 6.4%) y fibras no solubles (.95 a 10.33%).

En 1996 Treche y Algor-Egbe concluyeron que los cultivares *D. rotundata* cv. Oshei y *D. dumertorum* cv. Jakiri, pueden proveer requerimientos dietéticos para ser empleados en la alimentación humana, al analizar los cambios bioquímicos que estas especies sufren durante su crecimiento y almacenamiento. En la India se ha reportado que los tubérculos de *Dioscorea hamiltonii* han sido empleados como tratamiento para combatir problemas gastrointestinales en las personas. También se menciona que es una planta medicinal con actividad antimicrobiana (Kaladhar *et al.*, 2010).

2.6 Manejo de cultivo en las dioscóreas

El ambiente más favorable para la producción de camote de cerro se constituye en la selva tropical y sabana. Se considera una planta exigente en agua durante los primeros cinco meses de desarrollo. Además requiere una adecuada fertilidad de los suelos, los cuales deben ser ricos en potasio y con un pH de 6 a 7 (Snarkis *et al.*, 1989). Es una planta básica en la rotación de cultivos, considerando sus necesidades de estructura y materia orgánica del suelo, ya que lo puede enriquecer, además resolver el problema de malezas. La duración de la germinación puede ser alrededor de 20 a 60 días y la duración del ciclo vegetativo es de 200 días para el camote de cerro blanco y del camote de cerro amarillo llega a ser de 350 días.

Para su plantación se recomienda utilizar trozos de tubérculo que pesen alrededor de 200 a 300 gramos y que tengan el brote de la nueva planta. Si la plantación es con semillas es recomendable dejarlas al sol durante 8 a 10 h previo a su siembra según menciona Snarkis *et al.*, (1989). Posteriormente, la plantación se efectúa en surcos con separación de 0.8 a 1.5 m y con una distancia entre plantas de 0.7 a 1 m. Respecto a los sistemas de plantación se pretende evitar que el follaje se arrastre por el suelo y pierda vitalidad, los sistemas son los siguientes:

- Soportes individuales en cada planta de camote de cerro.
- Intercalado con otros cultivos (maíz).
- Uso de postes de tres metros de altura y alambre.
- Sistema con trípode de dos metros de altura (soporte fuerte, mayor ventilación y economía).

La etapa de cosecha y recolección del camote de cerro se efectúa aproximadamente a los nueve meses después de la siembra y se extiende de dos a tres meses. El follaje de la planta se torna amarillo, indicando que se acerca a madurez de la planta. Después de la desecación de la planta, se procede a cosechar los tubérculos, es muy importante no golpearlos y no usar herramientas con filos cortantes. Los rendimientos promedio por hectárea son alrededor de 20 toneladas (Snarkis *et al.*, 1989).

En la zona Occidente de México principalmente en los estados de Nayarit, Jalisco y Colima los camotes de cerro pueden plantarse de dos formas diferentes, lo cual dependerá de la época del año en la que se realice, el camote de cerro inicia su emergencia durante las primeras lluvias de manera natural, de tal forma que una vez que se tiene la planta en desarrollo en bolsas de polietileno, se pueden trasplantar al lugar que se tiene asignado para tal propósito cuando se inicie el periodo de lluvias, o bien sembrar directamente la porción de tubérculo que presente el desarrollo de una plántula nueva, cuya práctica se recomienda antes del inicio de las lluvias. En ambos casos es conveniente contar con espalderas para un buen desarrollo de la planta, pues su crecimiento es de enredaderas (Vargas, 2007).

2.7 Ventajas de los Invernaderos

Los factores climáticos tienen una gran importancia sobre el funcionamiento óptimo de los fenómenos fisiológicos de todos los vegetales. El desarrollo óptimo y equilibrado de las plantas depende de que esos factores

incidan favorablemente sobre ellos. Algunos de los factores más importantes que intervienen en su desarrollo son los siguientes: luminosidad, humedad, temperatura, concentración de oxígeno y CO₂. De nada sirve que se actúe sobre alguno de ellos si no se hace en su proporción correspondiente con los demás. Si uno de los factores queda sensiblemente reducido, puede anular el esfuerzo que se haga con los restantes factores fundamentales.

Factores como la temperatura del aire y la humedad relativa del suelo pueden tener un enorme efecto sobre el rendimiento de los cultivos. La habilidad de registrar datos del cultivo, ambiente y suelo de forma frecuente y regular durante el crecimiento de éste, puede facilitar y aportar información crítica y de gran ayuda cuando el productor comienza a responder preguntas concernientes al rendimiento de los cultivos y las relaciones causa y efecto (Cobos *et al.*, 2008).

La luminosidad interviene en la fotosíntesis y en el fotoperiodo (influencia que tiene la duración del día solar en la floración de los vegetales); también en el fototropismo, en el crecimiento de los tejidos, en la floración y en la maduración de los frutos. Otro de los factores importantes es la temperatura que influye en las funciones vitales de las plantas, tales como: germinación, fotosíntesis, transpiración, crecimiento, floración, fructificación, entre otras. Las temperaturas máximas y mínimas que soportan la mayoría de los vegetales están comprendidas entre 0 y 70 °C (Serrano, 1994), fuera de estos límites casi todas las plantas y vegetales mueren o quedan en estado de vida latente.

El contenido de anhídrido carbónico varía en el interior del invernadero, a lo largo del día. Por las noches el gas es excesivo y no preocupa, de hecho en las primeras horas de luz solar es cuando hay mayor concentración. Es en las horas de mediodía cuando disminuye notablemente la cantidad de CO₂ lo cual puede generar que se disminuya la síntesis del material orgánico, siendo una limitante del desarrollo del cultivo.

La humedad de la atmósfera de invernadero interviene en la transpiración, en el crecimiento de los tejidos, en el desarrollo de enfermedades y en la fecundación de las flores. Este factor influye mucho en el fenómeno de la transpiración, ya que cuanto más húmedo este el ambiente menos posibilidades habrá de aumentar la evaporación, a no ser que se aumente la temperatura del ambiente.

Cuando la transpiración es muy intensa a consecuencia de falta de humedad en el ambiente, puede haber más concentración de sales en las partes donde se realiza la fotosíntesis y quedar disminuida esa función.

El oxígeno dentro de los ambientes controlados no preocupa, ya que por una parte el aire atmosférico contiene un porcentaje elevado (21%), y además durante el día las plantas eliminan gran cantidad de oxígeno en el proceso de la fotosíntesis (Serrano, 1994).

Según Klasman (2004) menciona que la función básica que debe brindar un invernadero es tener un ambiente protegido para la producción de los cultivos. Aunque también señala que con fines de investigación los invernaderos se utilizan para ampliar los tiempos durante el año el trabajo con las plantas.

Las principales ventajas de producción en invernadero son las siguientes:

- Realizar cultivos en determinadas zonas climáticas y épocas estacionales en que no es posible hacerlos al aire libre.
- Cultivar fuera de época y conseguir mayor precocidad.
- Posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año.
- Disminuir el tiempo de los ciclos vegetativos de las plantas, permitiendo obtener mayor número de cosechas por año.
- Aumento de producción

- Obtención de mejor calidad
- Menos riesgos catastróficos
- Ahorro en agua de riego
- Mejor control de plagas y enfermedades
- Trabajar con mayor comodidad y seguridad.

La eficiencia y la funcionalidad son las dos características principales que deben tener los invernaderos. Por eficiencia se entiende la idoneidad para condicionar alguno de los principales elementos del clima, no de una manera estática o incontrolable, sino entre límites bien determinados de acuerdo con las exigencias fisiológicas del cultivo. La funcionalidad es el conjunto de requisitos que permiten la mejor utilización del invernadero, tanto desde el punto de vista técnico como económico. Estas dos características requeridas a los invernaderos deberán estar convenientemente armonizadas en orden a definir al invernadero como el sistema productivo capaz de obtener cosechas fuera de la época normal en la que aparecen en el mercado, según reporta Bot (1983) citado por Matallana y Montero (1989).

La producción de cultivos en viveros, es una de las técnicas más usadas actualmente en la producción agrícola. La ventaja del sistema de invernadero sobre el método tradicional a cielo abierto, es que, bajo un invernadero, se establece una barrera entre el medio ambiente externo y el cultivo. Esta barrera crea un microclima que permite proteger el cultivo de factores externos. La automatización del invernadero provee al agricultor de un manejo preciso de variables ambientales como temperatura, humedad, dióxido de carbono (CO₂), entre otras, que no se logran con una interacción manual. Asimismo, la productividad por metro cuadrado se incrementa y se disminuyen los costos en fertilizantes y mano de obra (Cobos *et al.*, 2008).

2.8 Fertilización y elementos nutricionales

Tandon y Roy (2004) mencionaron que la fertilización de las plantas es la práctica de aplicar los fertilizantes para dicha nutrición. Así como pueden ser incorporados al suelo, en el agua de riego o asperjados sobre las hojas de las plantas de forma foliar.

En el 2002, Zapata reporta que el uso de isótopos para evaluar fertilizantes ha permitido detectar, medir y rastrear la movilización del fertilizante y su destino en suelo y planta.

2.8.1 Importancia del nitrógeno

Desde la invención de la agricultura hasta nuestros días, las fuentes nitrogenadas de fertilizantes y abonos han tenido un origen natural u orgánico. Históricamente el hombre ha empleado los desechos de animales, los residuos de cosechas, los lodos lacustres y aluviales y los huesos calcinados como abonos y fertilizantes. Algunos de estos materiales todavía se siguen utilizando en cantidades importantes en algunos países, e incluso las mezclas de fertilizantes (orgánicos y minerales) están ganando en la actualidad la aceptación de los productores por su muy alta tasa de eficiencia de recuperación de nutrimentos por las plantas. Sin embargo, la mayoría de los fertilizantes nitrogenados provienen de la fijación industrial del nitrógeno (N_2) atmosférico y su transformación (primeramente en amonio y luego en otros compuestos), por ser una fuente inagotable y barata de N (Tisdale y Nelson, 1974).

Jones (1995), al referirse al nitrógeno lo señala como el elemento clave del crecimiento y de las proteínas. Es un elemento inodoro e incoloro. Se le encuentra presente en la materia viva como constituyente del protoplasma celular, de manera que es esencial para todo género de vida orgánica. Cuando el nitrógeno se combina con el hidrógeno integra a los aminoácidos, los cuales

son los precursores de las proteínas. Es también un importante constituyente de la molécula de clorofila.

El nitrógeno absorbido no puede ser utilizado directamente por las plantas en forma de nitrato, por lo que tiene que reducirse y pasar otra vez a la forma amoniacal para que pueda formar parte de los procesos metabólicos de la planta.

La importancia del nitrógeno en la planta está fuera de toda duda ya que es un componente indispensable de los aminoácidos y las proteínas. Así mismo, forma parte de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), interviene en distintos procesos enzimáticos, etc. (Tisdale *et al.*, 1993).

2.8.2 Importancia del fósforo

Al fósforo (P), se le conoce agrónomicamente con el nombre de anhídrido fosfórico (P_2O_5) y es el resultado de la combinación del ión fosfato con el oxígeno, sin embargo, tradicionalmente se utiliza el término de ácido fosfórico para referirse a él (Cross y Schlesinger, 1995).

El P es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas. La concentración promedio de P_2O_5 en las plantas cultivadas varía de 0.5% al 1% de la materia seca. Dado que el fósforo se mueve rápidamente dentro de la planta (ión móvil dentro de la planta), las deficiencias aparecen primeramente en las hojas inferiores o desarrolladas y a medida que las plantas se desarrollan y maduran, la mayor parte del P se mueve hacia las semillas o al fruto. También las concentraciones más altas de fósforo se localizan en los puntos de crecimiento. El P participa activamente en la mayoría de las reacciones bioquímicas complejas de los vegetales, así como también en el metabolismo de diversas sustancias bioquímicas. Fisiológicamente el P es un componente especial del ATP, compuesto muy importante en el proceso de absorción activa

(con gasto de energía) de otros nutrimentos, por las raíces de las plantas y del transporte de los iones a través de las membranas celulares vegetales, el ATP aporta la energía necesaria para todos los procesos fisiológicos de las plantas. Asimismo, participa en la división y crecimiento celular. El fósforo es un elemento vital para la formación de semilla (Tisdale *et al.*, 1993).

Desde el punto de vista agronómico se pueden resumir en cinco las funciones sustantivas del fósforo en la planta:

- Promueve la formación temprana y el crecimiento de las raíces. Durante las primeras etapas de crecimiento de las plántulas, es importante recalcar la fuerte interacción existente entre el nitrógeno y el fósforo. La proliferación de las raíces en particular, se ve favorecida por un buen nivel de fósforo disponible en el perfil cultural del suelo, principalmente en la zona de influencia de las raicillas.
- El fósforo promueve la floración, el amarre de los frutos y acelera la maduración. Es decir, es un importante factor de precocidad, ya que activa el desarrollo inicial y tiende a acortar el ciclo vegetativo de los cultivos favoreciendo la maduración.
- El fósforo permite a los cultivos soportar con mayor intensidad el estrés por frío y promueve el amacollamiento en trigo, cebada, caña de azúcar, etc.
- Adecuada fertilización fosforada ayuda a que los cultivos utilicen eficientemente el agua.
- La mayor parte del fósforo absorbido por las plantas se traslada hacia el fruto por lo que al ser cosechado, se remueve del campo el fósforo absorbido por el cultivo.

2.8.3 Importancia del potasio

El potasio (K) es un nutriente esencial para todos los cultivos. Las raíces de las plantas lo absorben en grandes cantidades y en forma de catión monovalente K^+ . Según Ellsworth y Miramontes (2001), una planta requiere entre 2 y 5% de su peso seco de potasio, como elemento, para su óptimo desarrollo.

El potasio es un elemento muy abundante en los suelos, pero limitado en cuanto a su disponibilidad para los cultivos. Muchos factores del suelo, ambiente y sobre todo por el manejo, intervienen en la disponibilidad de dicho elemento (Tisdale y Nelson, 1974).

El K es un elemento que se encuentra de manera abundante en las rocas y minerales de la corteza terrestre, principalmente en las rocas de origen ígneo. Las rocas sedimentarias, principalmente las de origen calcáreo, son muy pobres en este elemento, por ende los suelos derivados del intemperismo de estas rocas manifestaran esta misma condición. Fassbender y Bornemisza (1987), indican que el contenido de potasio en la corteza terrestre es de aproximadamente 3.0% como óxido de potasio (K_2O), de manera que este es el séptimo elemento más abundante en la Tierra.

Los suelos agrícolas, generalmente, contienen de 4 a 10 toneladas de potasio total por hectárea. Pero la mayor parte de este elemento se encuentra ligado a minerales insolubles, de manera que se encuentra poco disponible para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas. Solamente una pequeña fracción del potasio disponible para las plantas, es interceptado por el contacto directo entre las raíces y las partículas del suelo. La mayor proporción del potasio requerido debe ser transportado por difusión y flujo de masas hacia las raíces y de estas hacia los centros de acumulación dentro de la planta (Tisdale y Nelson, 1974).

El potasio es un elemento extremadamente móvil dentro de la planta y se transloca dentro de ella por la vía del xilema. Su función principal está relacionada fundamentalmente con muchos y variados procesos metabólicos. El potasio es vital para la fotosíntesis. Una función importante del K en el crecimiento de las plantas es la influencia de este nutriente en el uso eficiente del agua. El proceso de apertura y cerrado de los poros de las hojas (estomas) es regulado por la concentración de potasio en las células que rodean estos poros. La escasez de K no permite que los estomas se abran totalmente y que sean rápidos al cerrarse. Esta condición hace que el estrés que sufre la planta por falta de agua sea mayor (Tisdale *et al.*, 1993).

El potasio mejora la calidad y la cantidad de los cultivos en general ya sean granos, forrajes, hortalizas o frutos.

El inicio de una deficiencia de potasio en la planta puede ser difícil de reconocer por la falta de una sintomatología específica visible, pero las pérdidas económicas ocurren desde el principio mismo de la deficiencia. Debido a la gran movilidad del potasio dentro de la planta, los primeros síntomas visibles se manifiestan en las hojas viejas, ya que el potasio se transloca para suplir las necesidades de las hojas nuevas; presentándose, en primer lugar, un amarillamiento y posteriormente el quemado (necrosis) de las puntas y márgenes de las hojas viejas, para irse extendiendo, posteriormente hacia las hojas jóvenes. En algunos casos se puede observar el enrollamiento de las hojas hacia arriba como formando una cuchara (Tisdale *et al.*, 1993).

2.9 Microorganismos fijadores de nutrientes

Los microorganismos y su actividad son de gran importancia debido a que pueden encargarse de fijar los elementos más esenciales para las plantas. Tal es el caso de las bacterias de vida libre principalmente de los géneros: *Clostridium*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Alcaligenes*,

entre otros; que son capaces de fijar grandes cantidades de nitrógeno debido a que son capaces de catalizar el rompimiento del triple enlace de dicho elemento y activarlo para que se pueda combinar con otros elementos, tales como el oxígeno o hidrógeno (Cuervo, 2010).

También existen otro tipo de microorganismos benéficos muy importantes por su facultad de solubilizar los fosfatos no disponibles para las plantas. Dicha actividad microbiana puede suscitarse por bacterias, levaduras, actinomicetos y algunos hongos de vida libre. Entre los géneros bacterianos con mayor auge por su capacidad de solubilizar fosfatos se encuentran: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Aerobacter*, *Azotobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, entre otros (Rodríguez y Rubiano, 2002).

2.9.1 Importancia del género *Bacillus*

El género *Bacillus* es perteneciente a la familia *Bacillaceae*, el cual incluye más de 60 especies de bacilos. Son anaerobios o aerobios y se encuentran comúnmente en suelos y plantas donde cumplen con un papel sumamente muy importante para los ciclos del nitrógeno y el carbono. Además comúnmente son habitantes en aguas estancadas y particularmente activos en sedimentos (Koneman, 2001).

Los miembros de la familia *Bacillaceae* se caracterizan por formar endosporas, son Gram positivos y las células vegetativas presentan forma alargada como de bastón o báculo (de ahí su nombre), entre otras muchas características. Los principales géneros son *Bacillus*, *Paenibacillus* y *Clostridium* (Ibarra, 2007).

Algunas especies de los géneros *Bacillus*, *Brevibacillus* y *Paenibacillus* producen varios tipos de metabolitos, algunos de los cuales poseen actividad antifúngica. Estos compuestos tienen una importancia fundamental en el control

biológico de hongos fitopatógenos como *Rhizoctonia*, *Alternaria*, *Sclerotinia*, *Fusarium*, *Gaeummanomyces*, *Pythium* y *Phytophthora*, y por su importancia muchos se han estudiado y caracterizado. Tal es el caso de los compuestos de naturaleza peptídica y lipopeptídica, entre los que se encuentran las micobacilinas, iturinas, bacilomicinas, micosubtilinas y fungistatinas (Souto *et al.*, 2004).

2.9.2 Importancia de *Bacillus subtilis*

Pertenece al grupo de bacterias Gram positiva, produce endosporas y son termo resistentes además de que resiste a la radiación, los ácidos, la desecación y a algunos desinfectantes químicos. Produce enzimas hidrofílicas extracelulares que se encargan de descomponer polisacáridos así como ácidos nucleicos permitiendo que la bacteria emplee estos productos como fuente de carbono. También producen antibióticos como la bacitrina, gramicidina, circulina y polimixina. Ayudan en la fermentación de almidón y caseína y tolera temperaturas en el rango de 55 a 70 °C. Sus principales usos son la fijación de fósforo y el de gran controlador biológico ya que previene las enfermedades del suelo ocasionadas por *Fusarium* spp., *Sclerotium rolfsii*, *Pythium* spp., *Verticillium* spp., y el nematodo *Meloidogyne* spp. (Calderón *et al.*, 2002) citado por Cuervo, (2010).

Se clasifica en el siguiente orden:

División: Firmicutes

Familia: *Bacillaceae*

Género: *Bacillus*

Especie: *subtilis*

En algunos casos se ha hecho uso de la bacteria *Bacillus subtilis* para determinar el efecto en absorción del fósforo en algunos cultivos de tubérculos como es el caso de la papa (Covarrubias *et al.*, 2005).

Propiedades de los miembros del género *Bacillus* se han aprovechado para la obtención de formulaciones líquidas comercializables, cuyo principio activo está constituido por los metabolitos antifúngicos producidos por estas bacterias, como el elaborado a partir de una cepa patentada de *Bacillus subtilis* (QST713), que contiene más de treinta compuestos bioquímicos de tipo lipopeptídico y que provee un control efectivo para un amplio espectro de enfermedades en frutales, hortalizas y flores causadas por hongos (McSpadden *et al.*, 2002).

Existen bioproductos comercializables que contienen la especie *Bacillus subtilis* como componente biológico activo y se utilizan en campo para el control de enfermedades causadas fundamentalmente por hongos del suelo que atacan la raíz de las plantas (McSpadden *et al.*, 2002).

III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

La fertilización y el ambiente son factores que influyen en el desarrollo de los tubérculos de camote de cerro (*Dioscorea* spp.)

3.1 Objetivo general

Evaluar factores de rendimiento en tubérculos de camote de cerro bajo diversos ambientes y aplicación de fertilizantes.

3.2 Objetivos particulares

1. Evaluar distintos fertilizantes químicos y biológicos para determinar cuáles favorecen más al desarrollo del tubérculo.
2. Comparar el desarrollo del camote de cerro a diferentes condiciones de iluminación y ambientes.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente trabajo los experimentos fueron llevados a cabo en dos ciclos, durante los años 2007 y 2008 en los terrenos del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), ubicado en el Predio Las Agujas en el municipio de Zapopan, cuyas coordenadas son 20°44'44.73"N y 103°30'55.13"O y a una elevación de 1660 msnm. El registro de las principales condiciones climáticas de la zona son las siguientes según se observa en el Cuadro 1 y Cuadro 2.

Cuadro 1. Promedios de temperaturas media, máximas y mínimas de cada 15 días así como el promedio de humedad relativa y total de precipitación pluvial en la zona del CUCBA en el periodo del ciclo 2007, (FUNPROJAL, 2012).

Meses	Temperatura media promedio	Temperatura máxima promedio	Temperatura mínima promedio	Humedad relativa promedio	Precipitación pluvial total
1-15 Junio	22.24 °C	30.69 °C	15.58 °C	56.61%	13 mm
16-30 Junio	19.74 °C	30 °C	13.5 °C	77.83%	284.6 mm
1-15 Julio	20.04 °C	29 °C	12.9 °C	78.17%	107.4 mm
16-31 Julio	18.61 °C	28.2 °C	12.8 °C	85.18%	171.2 mm
1-15 Agosto	19.96 °C	27.8 °C	13.8 °C	79.93%	178.6 mm
16-31 Agosto	19.44 °C	26.7 °C	14.1 °C	83.27%	122.2 mm
1-15 Septiembre	18.89 °C	27.6 °C	12.4 °C	84.36%	199.2 mm
16-30 Septiembre	19.49 °C	28.9 °C	11.7 °C	81.62%	23.8 mm
1-15 Octubre	19.75 °C	28.4 °C	12.3 °C	78.89%	20.2 mm
16- 31 Octubre	16.2 °C	27.7 °C	2.9 °C	65.54%	19.6 mm

Cuadro 2. Promedios de temperaturas media, máximas y mínimas de cada 15 días así como el promedio de humedad relativa y total de precipitación pluvial en la zona del CUCBA en el periodo del ciclo 2008, (FUNPROJAL, 2012).

Meses	Temperatura media promedio	Temperatura máxima promedio	Temperatura mínima promedio	Humedad relativa promedio	Précipitación pluvial total
1-15 Junio	21.17 °C	33.8 °C	14.2 °C	69.61%	19.2 mm
16-30 Junio	21.12 °C	30 °C	14.3 °C	72.46%	189.6 mm
1-15 Julio	21.81 °C	29.6 °C	14.3 °C	71.06%	125.8 mm
16-31 Julio	20.31 °C	27.7 °C	14.62 °C	70.6%	236.4 mm
1-15 Agosto	18.92 °C	27.7 °C	14.8 °C	83.6%	138.2 mm
16-31 Agosto	19.06 °C	25.58 °C	14 °C	81.81%	162.4 mm
1-15 Septiembre	19.1 °C	27.6 °C	14.4 °C	83.93%	65.4 mm
16-30 Septiembre	19.08 °C	27.9 °C	12.2 °C	81.13%	118.6 mm
1-15 Octubre	18.9 °C	28.4 °C	11.1 °C	79.2%	98.2 mm
16- 31 Octubre	18.16 °C	27.6 °C	9.6 °C	79.75%	56.6 mm

4.1 Primer ciclo

4.1.1 Preparación de los materiales

Para el primer ciclo se utilizaron segmentos de tubérculo de camote de cerro (*Dioscorea* spp.) los cuales tenían un peso de 50 g cada uno; dichos tubérculos fueron colectados en el municipio de Zapotlanejo. Posteriormente los trozos fueron tratados con fungicida Captan diluido a dosis de 1 g/L el cual se aplicaba de forma asperjada con mochila de mano tanto en las heridas generadas en los cortes como en la corteza del tubérculo y se colocaron sobre papel periódico durante tres días hasta secar completamente y evitar un exceso de humedad y así mismo, que el producto hiciera su efecto para prevenir pudriciones. Posteriormente los tubérculos se colocaron en la cámara húmeda a una temperatura media de 20 °C y a una humedad relativa de 60 a 80%. Una

vez listos los tubérculos con los primeros brotes aproximadamente de 5 cm de longitud se retiraron de la cámara húmeda indicando que estaban listos para su trasplante.

4.1.2 Trasplante

Para poder realizar el trasplante se elaboró un sustrato el cual pudiera tener la suficiente retención de humedad para evitar estrés hídrico, pero que a su vez tuviera un excelente drenaje para evitar problemas de pudrición de los tubérculos y porosidad para su buen desarrollo. Estos fueron los materiales para su elaboración y se determinó en base a investigaciones previas no publicadas del grupo de trabajo del Laboratorio de Cultivos de Tejidos en el CUCBA:

- 40% de tierra de campo de la zona
- 30% de tierra de encino
- 20% de humus de lombriz
- 10% de agrolita

Todos esos materiales se mezclaron con una pala de forma que todo el sustrato quedara de forma homogénea. Posteriormente, se prepararon las bolsas, las cuales fueron de plástico polietileno de color negro y se cortaron a una longitud de un metro y con un diámetro de 20 cm. Una vez listas se llenaron a 3/4 de su capacidad con el sustrato previamente elaborado. Finalmente, se enterraron 50 estacas de madera para poder amarrar las bolsas con rafia para que quedaran de forma vertical y quedaran sujetas y no colapsaran. Las etiquetas fueron hechas con papel cartulina, se marcaron con tinta permanente y posteriormente fueron introducidas en cera derretida durante tres segundos, de esta forma al momento de enfriarse la cera quedaría sólida y con una cobertura del papel y tinta. Las etiquetas se amarraron a cada bolsa según cada

tratamiento y de esa manera fue como se llevó a cabo el etiquetado de las bolsas.

Al momento del trasplante se humedecieron cada una de las bolsas a capacidad de campo para mantener la humedad del sustrato y lograr que todos los camotes tuvieran un desarrollo exitoso y no hubiera estrés hídrico al momento de su plantación, la cual se realizó en el verano del 2007. A partir de que se colocaron los camotes se dejaron transcurrir dos semanas de intervalo para posteriormente hacer las fertilizaciones semanales, de esta forma se podía remplazar a cualquier tubérculo que no se haya adaptado a su plantación en los primeros días.

El tutorado se realizó con rafia la cual colgaba hacia cada una de las plantas y estaba sujeta a la estructura donde se puso la plantación con una altura de tres metros tal como se muestra en la Fig. 1.



Figura 1. a) Plantas de camote de cerro tutoradas bajo la malla sombra al 50%. b) Plantas de camote de cerro en campo con luz solar directa.

4.1.3 Fertilización

Los tratamientos de fertilización para el primer ciclo fueron cuatro más el testigo (sin fertilizante), con cinco repeticiones cada uno en dos ambientes (malla sombra y sol directo); lo que daba un total de 50 plantas. Los tratamientos utilizados fueron los siguientes en base a formulaciones químicas comerciales que incluyen los tres principales elementos de nutrición de plantas y con porcentajes variables en cada uno de ellos:

- 20-10-20 (Scotts Peters)
- 8-45-14 (Scotts Peters)
- 15-10-30 (Scotts Peters)
- 25-45-14 (Scotts Peters + Urea)
- Testigo

En todos los tratamientos se utilizaron 2.5 g de fertilizante diluido en 50 mL de agua, los cuales se aplicaban a la planta de forma semanal. Esto quiere decir que en total por las 10 repeticiones se utilizó 0.5 L de agua. Solamente para el último tratamiento (25-45-14), se utilizó el fertilizante 8-45-14 mezclado con 0.92 g de urea para elevar su porcentaje de nitrógeno en relación con el fósforo de 1:1.8 según aplicaciones que se han realizado en el cultivo de papa en investigaciones previas no publicadas. La fertilización total fueron 13 aplicaciones, las cuales corresponden al periodo de los primeros tres meses del cultivo, esto significa que el aporte total por planta fue de 32.5 g de fertilizante. En el Anexo 1 se muestra el aporte total de cada elemento nutricional por planta.

4.1.4 Diseño experimental primer ciclo

El trabajo del primer ciclo se realizó mediante un diseño experimental bifactorial completamente al azar (Ruesga *et al.*, 2005). El primer factor fue la

4.1.3 Fertilización

Los tratamientos de fertilización para el primer ciclo fueron cuatro más el testigo (sin fertilizante), con cinco repeticiones cada uno en dos ambientes (malla sombra y sol directo); lo que daba un total de 50 plantas. Los tratamientos utilizados fueron los siguientes en base a formulaciones químicas comerciales que incluyen los tres principales elementos de nutrición de plantas y con porcentajes variables en cada uno de ellos:

- 20-10-20 (Scotts Peters)
- 8-45-14 (Scotts Peters)
- 15-10-30 (Scotts Peters)
- 25-45-14 (Scotts Peters + Urea)
- Testigo

En todos los tratamientos se utilizaron 2.5 g de fertilizante diluido en 50 mL de agua, los cuales se aplicaban a la planta de forma semanal. Esto quiere decir que en total por las 10 repeticiones se utilizó 0.5 L de agua. Solamente para el último tratamiento (25-45-14), se utilizó el fertilizante 8-45-14 mezclado con 0.92 g de urea para elevar su porcentaje de nitrógeno en relación con el fósforo de 1:1.8 según aplicaciones que se han realizado en el cultivo de papa en investigaciones previas no publicadas. La fertilización total fueron 13 aplicaciones, las cuales corresponden al periodo de los primeros tres meses del cultivo, esto significa que el aporte total por planta fue de 32.5 g de fertilizante. En el Anexo 1 se muestra el aporte total de cada elemento nutricional por planta.

4.1.4 Diseño experimental primer ciclo

El trabajo del primer ciclo se realizó mediante un diseño experimental bifactorial completamente al azar (Ruesga *et al.*, 2005). El primer factor fue la

aplicación de los fertilizantes con cuatro tratamientos ya mencionados anteriormente (20-10-20, 8-45-14, 15-10-30, 25-45-14), más el testigo. El segundo factor fue el ambiente con dos ubicaciones diferentes del material vegetal, una en malla sombra al 50% y el otro a campo abierto. Cada uno de los tratamientos constó a su vez de cinco repeticiones tanto para malla sombra como para campo abierto, quedando así 25 plantas bajo la malla sombra y las otras 25 en el campo abierto.

4.2 Segundo ciclo

En el segundo ciclo se realizó el procedimiento de manera similar. Los fragmentos de camote fueron del mismo peso que los del primer ciclo, solo que al momento del trasplante se colocaron en bolsas de menor longitud, ya que esas solo medían 60 cm. Dicha plantación se llevó a cabo el verano del 2008.

4.2.1 Preparación del sustrato

La mezcla del sustrato que se utilizó en este ciclo fue diferente respecto a la plantación anterior, debido a que en una investigación previa no publicada fue la que representó mejor resultado y se optó por utilizarse en este trabajo. La mezcla utilizada fue elaborada con los siguientes materiales:

- 50 % de tierra de campo de la zona
- 20 % de vermicomposta
- 20% de tierra de encino
- 10% de jal

4.2.2 Fertilización

Los tratamientos utilizados también cambiaron debido a los resultados obtenidos del ciclo anterior, así que solo se dejaron los dos tratamientos que

mostraron mejor resultado en el rendimiento del primer ciclo, y también se incluyó un tratamiento con biofertilizante más el testigo. Los tratamientos utilizados fueron los siguientes:

- 8-45-14 (Scotts Peters)
- 25-45-14 (Scotts Peters)
- *Bacillus subtilis* (Soil builder)
- Testigo

Cada uno de los tratamientos se llevó a cabo con seis repeticiones y nuevamente en dos distintos ambientes, solo que esta vez fueron: malla sombra y dentro de invernadero. La plantación resultante fue de 48 plantas en total.

De igual manera la fertilización se realizó similar al ciclo anterior ya que los fertilizantes se aplicaron en el periodo de los primeros tres meses del cultivo, y semanalmente se incorporaron los 2.5 g diluidos en 50 mL de agua por planta. El total del aporte por planta fue de 32.5 g de fertilizante, el Anexo 2 muestra los valores totales nutricionales por planta. En el tratamiento de bacterias se determinó que por litro se utilizarían 45 mL de *Bacillus subtilis* según las recomendaciones del producto, pero como solo se utilizarían en cada preparación 600 mL de agua, pues solo se les incorporó 27 mL de solución con las bacterias.

4.2.3 Diseño experimental segundo ciclo

Así como en el primer ciclo, para este ciclo se llevó a cabo de igual manera con un diseño experimental bifactorial completamente al azar. Los factores también fueron el de los fertilizantes, solo que en este caso se utilizaron dos de los que se obtuvieron mejor resultado en el primer ciclo, 8-45-14 y 25-45-14; incorporación de *Bacillus subtilis*; y el testigo. El segundo factor fue el del ambiente pero se cambió del campo abierto a invernadero, y la otra

siguió siendo la misma que el ciclo anterior (malla sombra al 50 %). Otra de las cosas que también se modificó respecto al primer ciclo, fue el número de repeticiones para cada tratamiento, en este caso fue de seis repeticiones, con una población de 24 plantas dentro de la malla sombra y 24 en el invernadero.

4.2.4 Toma y análisis de datos

Para poder determinar los resultados se realizaron las siguientes mediciones de variables tanto para el primer como segundo ciclo:

- Longitud de las plantas
- Longitud de entrenudos
- Número de hojas
- Diámetro del tallo
- Peso del tubérculo
- Número de tubérculos
- Longitud del tubérculo

Se realizaron dos mediciones de cada uno de los datos anteriores, exceptuando las últimas tres variables (peso del tubérculo, número de tubérculos y longitud del tubérculo) ya que se realizaron hasta la cosecha a los seis meses después de la plantación. La primera toma de datos se realizó a los 45 días posteriores a la plantación y la segunda fue a los 90 días.

Para la toma de datos del número de hojas se realizó únicamente contando las hojas que se encontraban en los 40 cm de longitud de la planta en la parte basal, para poder contar las hojas completamente bien desarrolladas y así tener datos precisos; en la segunda medición se contaron las hojas posteriores a las basales que ya se habían contado en la primer ocasión. La longitud de la planta se realizó con una cinta métrica flexible desde el punto en contacto con el sustrato hasta el meristemo apical de las plantas. La distancia

entrenados fue tomada del promedio de cinco entrenados referentes a los 40 cm donde se habían contado las hojas, y así mismo en la segunda toma de datos los siguientes 40 cm respectivamente. Para la medición del diámetro de los tallos de las guías se tomaron con un vernier debido a lo delgados que llegan a ser. El peso de los tubérculos se llevó a cabo cuando se cosecharon y para el pesaje se lavaron con agua para eliminar residuos de sustrato que pudieran modificar los datos de peso; una vez lavados se dejaron secando durante 30 min y se colocó uno por uno en la báscula. En el número de tubérculos se contaron debido a que hubo casos en los cuales hubo ramificaciones. Y finalmente en la Fig. 2 se observa cómo se midió la longitud de los tubérculos tomando en cuenta el de mayor longitud en los casos de plantas con más de un tubérculo.

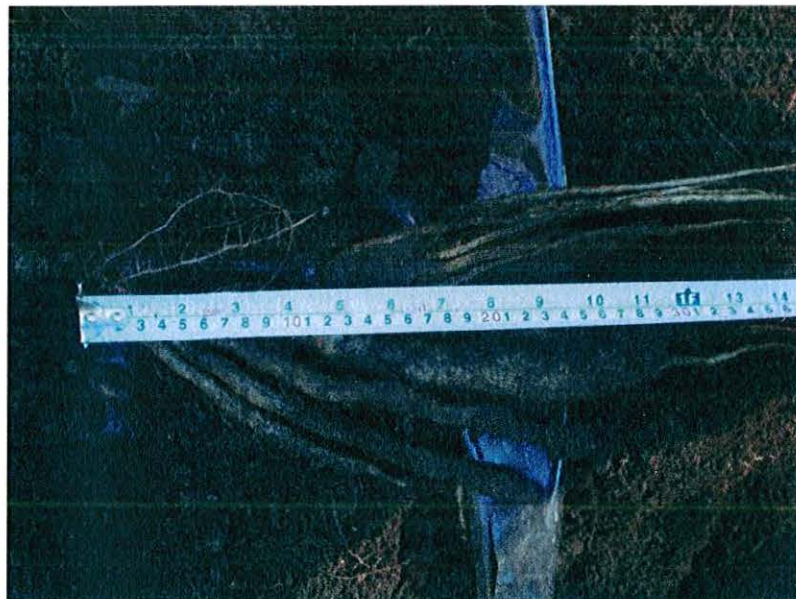


Figura 2. Medición de la longitud de los tubérculos al ser cosechados.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Primer ciclo

En este ciclo los resultados para las variables: número de hojas, longitud de la planta, longitud de entrenudos, diámetro del tallo y número de tubérculos; no se obtuvo significancia en ninguna de las dos mediciones (45 y 90 días después de la plantación) tanto en el factor de la aplicación de los fertilizantes como en los ambientes (malla sombra y campo abierto con luz solar directa). Por lo tanto al no haber diferencias estadísticas se consideró solamente los resultados que arrojaban diferencias estadísticas tal es el caso del peso y longitud de los tubérculos en el factor ambiente.

5.1.1. **Peso de los tubérculos**

Los resultados del análisis de varianza para el peso del tubérculo son afectados de manera positiva mediante el efecto del ambiente obteniendo una alta significancia ($p = 0.0002$). Y no así por medio de los tratamientos de los diversos fertilizantes incorporados ($p = 0.8546$). No se detecta interacción entre los tratamientos de fertilización con los dos ambientes de iluminación analizados ($p > 0.05$). (Ver cuadro del ANOVA en anexo).

El promedio de medias mostró que con el factor del ambiente de la malla sombra se obtiene un mejor rendimiento en el peso de los tubérculos que dio como promedio 168.12 g, mientras que en sol directo se obtuvo tan solo 90.72 g.

Tal como Onwueme (1978) mencionó que las temperaturas cálidas pueden alterar al follaje de las dioscóreas en el crecimiento generando altas tasas respiratorias, y como consecuente retardando el crecimiento de los tubérculos. También mencionó que si llega a existir un déficit hídrico al inicio del ciclo de la planta, puede disminuir su producción y se retarda el inicio de tuberización.

5.1.2 Longitud de los tubérculos

En el análisis de varianza para la longitud del tubérculo se obtuvo significancia con el factor ambiente ($p = 0.0109$) y no así los tratamientos de fertilización ($p = 0.0881$). Al igual que con la variable peso del tubérculo, la interacción entre los tratamientos y el ambiente para la variable longitud del tubérculo, no resultó significativa ($p > 0.05$), indicando que ambos factores son independientes para esta variable (Ver anexo).

En el caso del ambiente con la malla sombra se manifestaron tubérculos de mayor longitud con un valor promedio de 0.756 m a diferencia de las plantas ubicadas en sol directo.

Las dioscóreas parecen ser afectadas por la duración del día. Aunque el área foliar es favorecida en días largos de más de 12 horas con luz solar, ocurre lo contrario con el crecimiento de los tubérculos que se ven favorecidos en los días cortos (Coursey, 1976). Por lo tanto se muestra que si existe una relación entre la luz y el crecimiento de los tubérculos ya que interviene de manera drástica en la fisiología de la planta.

5.2 Segundo ciclo

Una vez detectado el efecto por diferencia de ambientes en el experimento del primer ciclo, para el segundo ciclo se incluyeron sólo los

tratamientos de fertilización que resultaron con promedios más altos en el ambiente de iluminación de malla, y se incluyó un tratamiento con biofertilizante además del testigo. Se consideró importante determinar efectos de otro ambiente como lo es el invernadero, obteniéndose los siguientes resultados.

En el caso de las variables: diámetro del tallo, peso de tubérculos, número de tubérculos y longitud de los tubérculos; no mostraron significancia. Sin embargo en la variable peso de tubérculos hubo cierta tendencia favorable hacia el factor de la aplicación de los fertilizantes. También la variable longitud de tubérculos mostró tendencia con el factor del ambiente malla sombra.

5.2.1 Longitud de las plantas

Las mediciones de la altura final de la planta (90 días después de la plantación) a través del análisis de varianza mostraron alta significancia tanto con el factor ambiente ($p = 0.0000$), así como también hubo significancia en los tratamientos de fertilización ($p = 0.0117$), siendo semejantes estas significancias en la primer medición (45 días después de plantación) ya que en el análisis de varianza mediante el factor ambiente hubo alta significancia con un valor de $p = 0.0000$, además en el factor de los tratamientos de fertilizantes también hubo alta significancia ($p = 0.0097$) (Ver anexo).

Las plantas ubicadas dentro de la malla sombra obtuvieron un promedio de altura de 2.64 m en comparación a las que estuvieron ubicadas dentro del invernadero que no superaron los dos metros de altura. Cabe resaltar que el número de muestra de plantas dentro del invernadero fue menor que las de malla sombra debido a que dos brotes de tubérculo no se adaptaron al ambiente y murieron.

Las plantas dentro de la malla sombra tuvieron mayor altura debido a que se reduce la presencia de luz solar y mediante el proceso de etiolación los tallos

tienden a elongarse más de lo habitual. Frankhauser y Chory (1997) señalaron que la luz actúa como señal ambiental y controla los procesos más importantes del desarrollo en los vegetales. Asimismo Soberón *et al.* (2008) mencionaron que existen diversos factores que influyen en el crecimiento de las plantas, tales como la respiración, la presión de oxígeno, el agua, los nutrientes y las condiciones ambientales climáticas, de temperatura y luz; siendo este último el factor ambiental más importante y que actúa de dos formas: directa e indirectamente. Directamente se refiere al proceso llamado "fotomorfogénesis", en dicho proceso las plantas captan luz a diferentes longitudes de onda y estas señales luminosas son las que generan cambios fisiológicos que afectan drásticamente el crecimiento, desarrollo y diferenciación celular. Indirectamente es a través de la "fotosíntesis" y los pigmentos involucrados son la clorofila y sus derivados.

En los tratamientos de fertilización el promedio de medias muestra que el mejor tratamiento respecto a la altura de plantas fue el tratamiento T2 (25-45-14), en el Cuadro 3 se observan las diferencias.

Cuadro 3. Comparación múltiple de medias en la longitud de las plantas a los 90 días después de plantación, por medio de los tratamientos utilizando el método LSD.

Tratamientos	Tamaño de muestra	Promedio de medias de la longitud de plantas en metros	Grupos homogéneos*
Testigo	10	1.98	A
<i>Bacillus subtilis</i>	12	2.09	A
8-45-14	12	2.17	A
25-45-14	12	2.64	B

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

5.2.2 Longitud de entrenudos

En la toma de datos para la longitud entrenudos realizada a los 45 días después de la plantación el análisis de varianza indica que hubo alta significancia en el factor ambiente ($p = 0.0000$) y también alta significancia en los tratamientos ($p = 0.0012$) (Ver anexo). El promedio de medias indicó que en el ambiente con malla sombra los entrenudos son más largos (7.33 cm) que los de las plantas dentro del invernadero (5.40 cm).

Respecto a los tratamientos, el T2 (25-45-14) obtuvo los entrenudos con mayor longitud, seguido de T1 (8-45-14) y T3 (*Bacillus subtilis*) que mostraron resultados iguales, en el Cuadro 4 se observan los resultados.

Cuadro 4. Comparación múltiple de medias en la longitud de los entrenudos a los 45 días después de plantación, por medio de los tratamientos utilizando el método LSD.

Tratamientos	Tamaño de muestra	Promedio de medias de la longitud de entrenudos en centímetros	Grupos homogéneos*
Testigo	10	5.93	A
<i>Bacillus subtilis</i>	12	6.04	A
8-45-14	12	6.04	A
25-45-14	12	7.45	B

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Nuño (2007) señala que el nitrógeno es un elemento esencial en el desarrollo de las plantas y su deficiencia ocasiona que la planta genere menor altura por entrenudos cortos. Por lo tanto buenos niveles de nitrógeno generan mayor elongación de entrenudos.

Para la segunda toma de datos de la medición de los entrenudos a los 90 días después de la plantación el análisis de varianza mostró que hubo alta

significancia para ambos factores, tanto para el ambiente ($p = 0.0000$) como para los tratamientos ($p = 0.0001$) (Ver anexo).

Nuevamente se ratifica que el ambiente con malla sombra favorece a obtener plantas con entrenudos más largos que dentro de invernadero, ya que el promedio de medias en la malla sombra es de 7.33 cm y en invernadero de 5.40 cm. Por lo tanto la luz juega un papel muy importante en las principales funciones fisiológicas de las plantas, tales como el crecimiento. Caldari (2007) señala que las ondas de color rojo influyen directamente en el crecimiento de los tallos. Por ejemplo baja relación entre el rojo y rojo lejano estimulan la elongación del tallo y por ende la distancia de entrenudos.

En ambas mediciones, 45 y 90 días después de plantación, no se observaron interacciones de los dos factores estudiados ($p > 0.05$) indicando independencia entre los factores.

En los tratamientos, aunque hubo diferencias respecto a las primeras mediciones, el T2 (25-45-14) volvió a ser el tratamiento con entrenudos más largos, según se observa en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Comparación múltiple de medias en la longitud de los entrenudos a los 90 días después de plantación, por medio de los tratamientos utilizando el método LSD.

Tratamientos	Tamaño de muestra	Promedio de medias de la longitud de entrenudos en centímetros	Grupos homogéneos*
8-45-14	10	5.70	A
Testigo	12	5.77	A
<i>Bacillus subtilis</i>	12	5.83	A
25-45-14	12	6.95	B

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

5.2.3 Número de hojas

Los resultados de la primer medición en el análisis de varianza mostraron que hubo alta significancia para los dos factores, tanto en el ambiente con un valor de ($p = 0.0000$), como en los tratamientos ($p = 0.0033$) (Ver anexo).

El promedio de medias dio como resultado una mayor cantidad de hojas, dentro del rango de los 40 cm, en el ambiente del invernadero con un promedio de 8.20 hojas y tan solo 6.12 en la malla sombra.

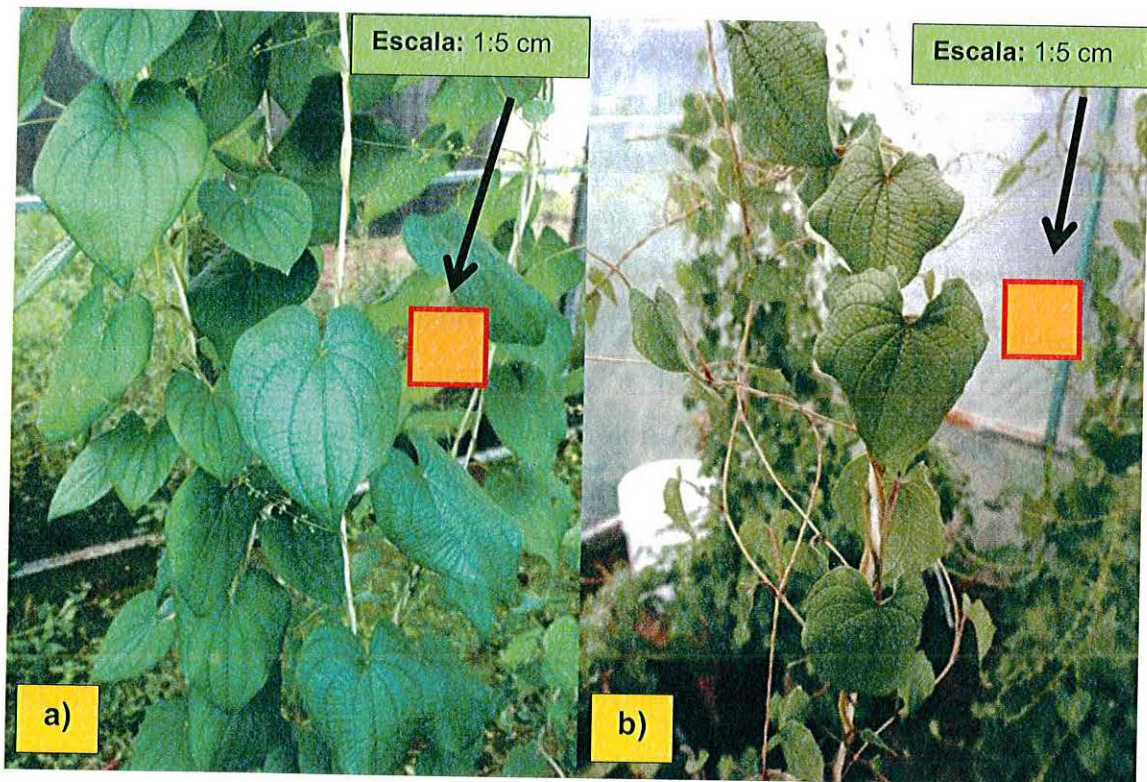


Figura 3. a) Hojas de plantas de *Dioscorea* spp., bajo malla sombra. b) Hojas de plantas de *Dioscorea* spp., establecidas dentro de invernadero.

En los tratamientos, el tratamiento que mostró diferencias estadísticas fue el tratamiento 2 (25-45-14) con un valor promedio de 6 hojas, siendo este el valor más bajo, el resto de los tratamientos obtuvieron datos mayores a esa cantidad como se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Comparación múltiple de medias en la variable número de hojas a los 45 días después de plantación, por medio de los tratamientos utilizando el método LSD.

Trafamientos	Tamaño de muestra	Promedio de medias de la cantidad de hojas	Grupos homogéneos*
25-45-14	12	6.0	B
8-45-14	12	7.33	A
<i>Bacillus subtilis</i>	12	7.58	A
Testigo	10	7.75	A

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

En la segunda medición el análisis de varianza muestra que hubo alta significancia en el factor ambiente ($p = 0.0000$), así mismo se obtuvo significancia en el factor de los tratamientos ($p = 0.0199$) (Ver anexo).

La luz es un factor muy importante para el desarrollo de las hojas así como las funciones que realizan las plantas a través de su área foliar. Por ejemplo actúa sobre la temperatura de las hojas que a su vez regulan el balance hídrico, así como también interviene en la expansión de hojas y desarrollo de tallos. Esto quiere decir que en mayores niveles de luz existe mayor temperatura y a mayores niveles de temperatura se genera un incremento de transpiración y consumo de agua en la planta. Por lo tanto intensidades de luz muy altas pueden ocasionar daños o reducir el crecimiento debido a un estrés hídrico (Caldari, 2007). Es por eso que las plantas de camote de cerro dentro del invernadero generaron mayor número de hojas, debido al efecto de la luz, pero como la luz y la temperatura están directamente correlacionadas, la alta temperatura provocó que las hojas fueran más pequeñas como respuesta de las plantas para prevenir mayor transpiración, tal como se muestra en las Fig. 3 b) y 4 a). En cambio las plantas bajo la malla sombra generaron menos hojas pero de mayor tamaño como se observa en las Fig. 3 a) y 4 b).

Para esta toma de datos el número de hojas volvió a ser menor dentro del ambiente malla sombra, el promedio de medias indica que en el ambiente invernadero las plantas produjeron mayor cantidad de hojas (8.35) y en malla sombra menor (5.91).

El tratamiento que tuvo significancia estadística a través del promedio de medias volvió a ser el T2 (25-45-14) con menor número de hojas, al igual que en la primera medición y el resto de los tratamientos con un número superior a siete hojas como muestra el Cuadro 7.

Cuadro 7. Comparación múltiple de medias en la variable número de hojas a los 90 días después de plantación, por medio de los tratamientos utilizando el método LSD.

Tratamientos	Tamaño de muestra	Promedio de medias de la cantidad de hojas	Grupos homogéneos*
25-45-14	12	6.16	B
8-45-14	12	7.37	A
<i>Bacillus subtilis</i>	12	7.50	A
Testigo	10	7.50	A

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.



Figura 4. a) Plantas de camote de cerro dentro de invernadero. b) Plantas de camote de cerro bajo malla sombra.

5.2.4 Peso de tubérculos

Los resultados del peso de los tubérculos en el análisis de varianza no muestran significancia, ya que con el factor del ambiente el valor fue de ($p = 0.1124$); así como en el factor de los tratamientos ($p = 0.9770$) (Ver anexo). Sin embargo el promedio de medias mostró mayor peso en el T2 (25-45-14) dando como resultado 126.5 g, seguido por el T1 (8-45-14) con 122.8 g, el T3 (*Bacillus subtilis*) dio un promedio de 119 g y por último el Testigo con el promedio más bajo 114.7 g.

Rodríguez (2000) mencionó que la mayoría de los trabajos acerca del uso de fertilizantes en dioscóreas han señalado que existe un incremento en la producción de tubérculos con fertilizantes nitrogenados. Ferguson y Haynes (1970) publicaron que en algunos casos los bajos niveles de potasio provocan pequeños incrementos del rendimiento y también manifestaron que la respuesta al fósforo es poco común en las dioscóreas. Esto suele atribuirse cuando existe presencia de micorrizas con el objeto de mejorar la absorción del fósforo (Zaag van der y Fox, 1981).

VI. CONCLUSIONES

Las plantas de camote de cerro desarrollan un menor número de hojas pero de mayor tamaño bajo un ambiente de malla sombra al 50% siendo este el más favorable para su desarrollo.

El tratamiento de la mezcla de fertilizantes 25-45-14 no presentó significancia para la variable peso de tubérculo; sin embargo, es el tratamiento con mejor promedio.

La distancia de entrenudos muestra cierta relación con el número de hojas de cada planta; las cuales indican que en ambientes mayormente iluminados disminuye la distancia de los entrenudos y aumenta el número de hojas.

El crecimiento de los tubérculos se ve asociado con el ambiente de malla sombra, debido a que crecen mejor durante días cortos o con poca luz.

Es importante seguir desarrollando trabajos e investigaciones con fertilizantes biológicos para determinar si pudiera ser una alternativa para este tipo de plantas.

VII. LITERATURA CITADA

- Al-Shehbaz, I. y B. G. Schubert. 1989. The *Dioscoreaceae* in the Southeastern United States. *Journal of the Arnold Arboretum*. 70: 57-95.
- Caldari, P. J. 2007. Manejo de la luz en invernaderos. Los beneficios de luz de calidad en el cultivo de hortalizas. Simposio Internacional de Invernaderos. Ciba Especialidades Químicas. Brasil. 1-3 pp.
- Chu, E.P. y R.C.L. Figueiredo-Ribeiro. 1991. Native and exotic species of *Dioscorea* used as food in Brazil. *Ecologic Botany* 45 (4):467-479.
- Cobos, C. A., J. A. Timaná y R. Valencia. 2008. Sistema de soporte a la toma de decisiones para procesos de germinación y cultivo en invernaderos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Colombia. 23-26 pp.
- Cosatti, C. 1981. Flora taxonómica mexicana II (plantas vasculares). I.P.N. Centro Nacional de Enseñanza Técnica Industrial. México. 206-210 pp.
- Coursey, D. G. 1976. Yams: *Dioscorea* spp. En: Simmonds, N. W. (editor). *Evolution of Crop Plants*. Londres, Inglaterra. 70-74 pp.
- Covarrubias, J. M., S. Castillo, J. A. Vera, R. Núñez, P. Sánchez, R. Aveldaño y J. Peña. 2005. Absorción y eficiencia de uso de Fósforo en papa cultivar Alpha con ³²P. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Estado de México. 127-136 pp.
- Craufurd, P. Q., N. H. Battery, E.I. Ile, R. Asedu. 2006. Phases of dormancy in yam tubers (*Dioscorea rotundata*). *Annuary Botany* 97: 497-504.
- Cross, A.F. y W. H. Schlesinger. 1995. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma* 64: 197-214.
- Cuervo, L. J. P. 2010. Aislamiento y caracterización de *Bacillus* spp. Como fijadores biológicos de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en dos muestras de biofertilizantes comerciales. Tesis de licenciatura. Pontificia

- Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias Básicas. Bogotá, Colombia. 5-9 pp.
- Diechtl, T. S. 1980. El barbasco mexicano. Condiciones y perspectivas de su aprovechamiento. *Ciencia Forestal* 28: 24-30.
- Ellsworth E. B. y E. Miramontes. 2001. Los suelos ácidos; Su clasificación, diagnóstico y recuperación. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. 105-106.
- Espinosa, G. J. 1962. Vegetación de una corriente de lava de formación reciente en el declive meridional de la Sierra del Chichinautzin. *Sociedad Botánica de México* 27: 67-86.
- Evans, L.T. 1993. *Crop Evolution Adaptation and Yield*. Cambridge University Press. Gran Bretaña. 62-85 pp.
- FAO. 2011. Los datos de Faostat. Disponible en: www.fao.org [Fecha de consulta 27 de Diciembre de 2011].
- Fassbender H.W. y E. Bornemisza. 1987. Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina. San José: IICA. 327-329 pp.
- Ferguson, T. U. y P. H. Haynes. 1970. The response of yams (*Dioscorea* spp.) to nitrogen, phosphorus, potassium, and organic fertilizers. En: Plucknett, D. L. 2nd Symposium of the International Society for Tropical Root Crops. University Press of Hawaii. 93-96 pp.
- Fernández, C. A., M. A. López, U. Fuente y C. de Vicente. 2000. Agroecosistemas: Descriptiva de ecosistemas. Universidad Complutense de Madrid. España. 2-17 pp.
- Frankhauser, C., J. Chory. 1997. Light Control of Plant Development. *Annuary Resource Cellular Development Biology* 13: 203-229.
- FUNPROJAL. 2012. Datos de estación meteorológica del Centro Universitario de Ciencia Biológicas y Agropecuarias. Disponible en: www.funprojal.com [Fecha de consulta 15 de Enero de 2012].
- Guízar, M. A., J. Montañez e I. García. 2008. Parcial caracterización de nuevos almidones obtenidos de tubérculo de camote de cerro (*Dioscorea* spp.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. México. 9: 81-88.

- Hahn, S.K. 1995. Yams *Dioscorea* spp. (*Dioscoreaceae*). En: Smartt J. y N.W. Simmonds (editores). Evolution of Crop Plants. Second Edition. Longman Scientific and Technical. Reino Unido. 112-120 pp.
- Harlan, R.J. 1992. Crops and man. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America. Madison Wisconsin, Estados Unidos. 45-48 pp.
- Ibarra, J. E. 2007. Uso de bacterias en el control biológico. En: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (editores), Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 144-159 pp.
- Jones, U. 1995. Fertilizers and Soil Fertility. Reston publishing Company, Reston Virginia, Estados Unidos. 418-421 pp.
- Kaladhar, D. S., V. Narsinga, S. Barla y S. Harasreeramulu. 2010. Comparative antimicrobial studies of *Dioscorea hamiltonii* hook. F. tubers with *Azadirachta indica* Stem. Journal of Pharmaceutical Science and Technology. 8: 284-287.
- Klasman, R. 2004. Estructuras: Invernaderos. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 1-7 pp.
- Koneman, E. W. 2001. Diagnóstico microbiológico: Texto y atlas de color. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires, Argentina. 718-724 pp.
- León, J. 1978. Botánica de los cultivos tropicales. IICA. San José, Costa Rica. 455 p.
- Liu, L., Y. S. Dong, S. S. Qi, H. Wang y Z. L. Xiu. 2010. Biotransformation of steroidal saponins in *Dioscorea zingiberensis* C. H. Wright to diosgenin by *Trichoderma harzianum*. Biotechnological Products and Process Engineering. Applied Microbiology Biotechnology. 85: 933-940.
- López, P. J. 1999. Tendencias evolutivas en la variación cromosómica y morfofisiológica de *Dioscorea remotiflora* Kunth y *D. remotiflora* var. maculata Uline (*Dioscoreaceae*) bajo selección artificial. Tesis de Doctorado. Universidad de Colima. Tecomán, Colima. 8-12 pp.

- Maldonado, G.E. 1994. Contribución al conocimiento agronómico del camote de cerro (*Dioscorea dugesii*) germinación y bromatología. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 64-71 pp.
- Martínez, M. 1979. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica. México. 1196 p.
- Matallana, A. y J.I. Montero. 1989. Invernaderos: diseño, construcción y ambientación. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. 20-36 pp.
- Matuda E. 1954. Las dioscóreas de México. Anuario del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica. 24:179-390.
- Mc Vaugh, R. 1989. *Dioscoreacea*. En: Flora Novo-Galiciana, a descriptive account of the vascular plants of Western Mexico, *Bromelaceae* to *Dioscoreaceae*. The University of Michigan Herbarium Annular. 15: 355-380.
- McSpadden, B., B. Gardener y D. Fravel. 2002. Biological Control of Plant Pathogens: Research, Commercialization, and Application in the USA, On line Plant Health Progress. 94:316-322.
- Mitchell, S. A., H. N. Asemota y M. H. Ahmad. 1995. Effects of explant source, culture medium strength and growth regulators on the *in vitro* propagation of three Jamaican yams (*Dioscorea cayensis*, *D. trifida* and *D. rotundata*). Journal of Sciences of Food and Agriculture. 67:173-180.
- Mostul, B. y Chazaro B. M. 1996. Camote del cerro: an edible caudiciform *Dioscorea* from Mexico. Cactus and Succulents Journal. 68: 6-8.
- Nuño, M. R. 2007. Manual de producción de tomate rojo bajo condiciones de invernadero para el Valle de Mexicali, Baja California. Gobierno del Estado de Baja California. Fundación Produce. 8-11 pp.
- Ondo, P., C. Kevers y J. Dommès. 2007. Axillary proliferation and tuberization of *Dioscorea cayensis*, *D. rotundata* complex. Plant Cell Tissue Organ Cultivate. 91: 107-109.
- Onwueme, I. C. 1978. Sett weight effects on time of tuber formation, and on tuber yield characteristics, in water yam (*Dioscorea alata* L.) Journal Agriculture Science. Cambridge. 91: 317-319.

- Ramírez, R. 1990. Las dioscoreas (*Dioscoreaceae*) del Estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Morelos, Mexico. 38-39 pp.
- Ramírez, R. y O. Téllez. 1992. Las dioscoreas (*Dioscoreaceae*) del Estado de Morelos, Mexico. Serie Botánica. 63: 67-99.
- Ravi, V., J. Aked y C. Balagopalan. 1996. Review on tropical root and tuber crops I. Storage methods and quality changes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 36: 661-709.
- Rizzini, C. y W. B. Mors. 1995. Botánica Económica Brasileira, Segunda Edición. Ambito Cultural Edicoes LTDA. Brasil. 136 p.
- Rodríguez, H. M. y E. Rubiano. 2002. Aislamiento e identificación de hongos solubilizadores de fosfatos aislados de cultivos de arroz, evaluación del pH, concentraciones de sacarosa y cloruro de sodio sobre su actividad solubilizadora. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 72: 575-578.
- Rodríguez, M., J. Matehus, A. Gerstl y M. A. Santana. 2007. Identificación del agente causal de una bacteriosis en ñame (*Dioscorea alata* L.). *Interciencia*. 33: 532-536.
- Rodríguez, W. 2000. Botánica, domesticación y fisiología del cultivo de ñame (*Dioscorea alata*). *Agronomía Mesoamericana*. Universidad de Costa Rica. Alajuela, Costa Rica. 133-152 pp.
- Ruesga, G. I., E. Peña, I. Expósito y D. Gardon. 2005. Libro de Experimentación Agrícola. Centro Universitario Vladimir I. Lenin. Facultad de Ciencias Agrícolas. Editorial Universitaria. La Habana, Cuba. 19: 42-46 pp.
- Sánchez, M. S., H. Fernández, C. A. Esteban. 2008. Caracterización agromorfológica de cultivares de ñame (*Dioscorea* spp.), procedentes del suroccidente de Guatemala y efecto de su variabilidad como espesante de salsas caseras. Universidad de San Carlos, Guatemala. 6-15.
- Scott, G., M. Rosegrant, C. Ringler. 2006. Roots and tubers for the 21st Century: Trends, projections, and policy options. *International Food Policy Research*

- Institute and International Potato Center. Washington, DC, Estados Unidos. 7-13.
- Serrano, Z. 1994. Construcción de invernaderos. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 32-42 pp.
- Shewry, R.P. 2003. Tuber Storage Proteins. Department of Agricultural Sciences. University of Bristol. Long Ashton. Annuary of Botany. Reino Unido. 91: 755-769 pp.
- Snarkis, M. J., F. de la Torre, P. Cujo, M. Banuett, M. Loaiza, M. Callaci, Z. Sequeira y H. Calderón. 1989. Compendio de Agronomía Tropical. Servicio Editorial IICA. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Costa Rica. 136-142 pp.
- Soberón, J. R., E. N. Quiroga, A. R. Samprieto y M. A. Vattuone. 2008. Reguladores vegetales. Facultad Bioquímica, Química y Farmacia, Universidad Nacional de Tucumán. San Miguel de Tucumán. Argentina. 1-7.
- Sosa, V., B. G. Schubert y A. Gómez-Pompa, 1987. *Dioscoreaceae*. En: Sosa, V. (editor). Flora de Veracruz. Fascículo 53. Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz, México. 2-44.
- Souto, G., O. Correa, M. Montecchia, N. Kerber, N. Pucheu, M. Bachur y A. García. 2004. Genetic and Functional Characterization of a *Bacillus* sp. Strain excreting surfactin and antifungal metabolites partially identified as iturin-like compounds. *Journal of Applied Microbiology*. 97: 1247-1256.
- Standley, P. C. y J. Steyermark. 1952. Flora de Guatemala. Fieldania: Botany. Vol. 24. Part III. Published by Chicago National History Museum. Estados Unidos. 24: 1-432.
- Stevens, W. D., C. Ulloa, A. Pool y O. M. Montiel. 2001. Flora de Nicaragua. Vol. 85, tomos I, II y III. Missouri Botanical Garden Press. St. Louis, Missouri. 85: 69-76.
- Tandon, H. L. S. y Roy R. N. 2004. Integrated Nutrient Management "A Glossary of Terms" publicada conjuntamente por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma y la Organización para

- el Desarrollo y Concertación en materia de Fertilizantes. Nueva Delhi. 86: 1-25.
- Tejeda, L., C. Tejeda, A. Villabona, A. Tarón y R. Barrios. 2007. Aprovechamiento del ñame espino (*Dioscorea rotundata*) para la obtención de bioplásticos. Ingeniería Química. Universidad de Cartagena. 68-71.
- Téllez, O. 1996. *Dioscoreaceae*. En: Dávila A., P. D., J. L. Villaseñor R., R. Medina L. y O. Téllez V. (editores.). Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 9. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 5-8 pp.
- Téllez, O. y B. Schubert. 1987. Una nueva especie del género *Dioscorea* (*Dioscoreaceae*) del Estado de Querétaro, México. *Annals of the Botany Garden. Missouri*. 74: 539-542.
- Téllez, O. y R. Geeta. 2007. Sinopsis taxonómica de la sección *Apodostemon* (*Dioscorea*; *Dioscoreaceae*), *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: 265-279.
- Téllez, O. 1987. Las especies útiles de *Dioscorea* (*Dioscoreaceae*) en México. Seminario de Investigación Económica. Centro de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. 1-11 pp.
- Tisdale, S.L. y W. Nelson. 1974. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Editorial UTHEA, S.A. Barcelona, España. 752-760 pp.
- Tisdale, S.L., J. Beaton, J. Havlin y W. Nelson. 1993. *Soil Fertility and Fertilizers*. Editorial: Prentice Hall. New Jersey, Estados Unidos. 317-324 pp.
- Trease, G. E. y Evans W.C. 1984. *Farmacognosia*. Editorial Continental, S.A. de C.V. Mexico. 65-73 pp.
- Treche, S. y T. Algor-Egbe. 1996. Biochemical changes occurring during growth and storage of two yam species. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 47: 93-102.
- Van Raamsdonk, L.W.D. 1995. The effect of domestication on plant evolution. *Acta Botanica Neerlandica* 44: 421-438.

- Vargas, J. 2007. Rescate genético del camote de cerro. <http://www.revistaopcion.com/2007/07/15/rescate-genetico-del-camote-de-cerro/> [Fecha de consulta 13 de Octubre de 2011].
- Zaag, P. van der y R. L. Fox. 1981. Field production of yams (*Dioscorea alata*) from stem cuttings. *Tropical Agriculture*. 58: 143-145.
- Zapata, F. 2002. Contribuciones de las técnicas nucleares al desarrollo de prácticas de manejo integrado del suelo, agua y nutrientes para el incremento de la producción agrícola. *Terra Latinoamericana*. Universidad de Chapingo. México. 20: 1-6.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Aporte nutricional total por planta referente a cada uno de los tratamientos de fertilizantes en el primer ciclo (2007).

Tratamiento	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
20-10-20	6.5 g	3.25 g	6.5 g
8-45-14	2.6 g	14.62 g	4.55 g
25-45-14	8.12 g	14.62 g	4.55 g
15-10-30	4.87 g	3.25 g	9.75 g

Anexo 2. Aporte nutricional total por planta referente a cada uno de los tratamientos de fertilizantes en el segundo ciclo (2008).

Tratamiento	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
8-45-14	2.6 g	14.62 g	4.55 g
25-45-14	8.125 g	14.62 g	4.55 g

Anexo 3. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable longitud de las plantas de *Dioscorea* spp., a los 45 días después de plantación en el primer ciclo (2007).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de <i>P</i>
A: Tratamientos	5.54687	4	1.38672	4.38	0.0550
B: Ambientes	0.038088	1	0.038088	0.12	0.7306
Interacciones AB	0.132732	4	0.033183	0.10	0.9802
Residual	12.6721	40	0.316803		
Total	18.3898	49			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 4. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable longitud de las plantas de *Dioscorea* spp., a los 90 días después de plantación en el primer ciclo (2007).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de P
A: Tratamientos	4.56562	4	1.14141	4.06	0.0774
B: Ambientes	0.131072	1	0.131072	0.47	0.4987
Interacciones AB	0.079428	3	0.019857	0.07	0.9905
Residual	11.2477	40	0.281192		
Total	16.0238	49			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 5. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable longitud de entrenudos de *Dioscorea* spp., a los 45 días después de plantación en el primer ciclo (2007).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de P
A: Tratamientos	23.63	4	5.9075	1.35	0.2697
B: Ambientes	2.42	1	2.42	0.55	0.4620
Interacciones AB	1.83	4	0.4575	0.10	0.9804
Residual	175.5	40	4.3875		
Total	203.38	49			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 6. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable longitud de entrenudos de *Dioscorea* spp., a los 90 días después de plantación en el primer ciclo (2007).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de P
A: Tratamientos	3.88	4	0.97	0.51	0.7321
B: Ambientes	0.32	1	0.32	0.17	0.6853
Interacciones AB	4.28	4	1.07	0.56	0.6949
Residual	76.8	40	1.92		
Total	85.28	49			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 7. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable número de hojas de *Dioscorea* spp., a los 45 días después de plantación en el primer ciclo (2007).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de P
A: Tratamientos	81.32	4	20.33	5.21	0.0818
B: Ambientes	0.5	1	0.5	0.13	0.7222
Interacciones AB	5.0	4	1.25	0.32	0.8626
Residual	156.0	40	3.9		
Total	242.82	49			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 8. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable número de hojas de *Dioscorea* spp., a los 90 días después de plantación en el primer ciclo (2007).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de P
A: Tratamientos	51.52	4	12.88	0.63	0.6434
B: Ambientes	5.78	1	5.78	0.28	0.5976
Interacciones AB	87.52	4	21.88	1.07	0.3833
Residual	816.8	40	20.42		
Total	961.62	49			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 9. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable diámetro del tallo de las plantas de *Dioscorea* spp., a los 45 días después de plantación en el primer ciclo (2007).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de P
A: Tratamientos	2.82615	4	0.706537	1.21	0.3235
B: Ambientes	1.85859	1	1.85859	3.17	0.0825
Interacciones AB	3.71779	4	0.929447	1.59	0.1968
Residual	23.4444	40	0.586111		
Total	31.847	49			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 10. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable diámetro del tallo de las plantas de *Dioscorea* spp., a los 90 días después de plantación en el primer ciclo (2007).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de P
A: Tratamientos	3.0881	4	0.772025	1.04	0.3997
B: Ambientes	0.03645	1	0.03645	0.05	0.8259
Interacciones AB	2.23342	4	0.558355	0.75	0.5635
Residual	29.7529	40	0.743822		
Total	35.1109	49			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 11. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable peso de los tubérculos de *Dioscorea* spp., en el primer ciclo (2007).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de P
A: Tratamientos	5805.28	4	1451.32	0.33	0.8546
B: Ambientes	74884.5	1	74884.5	17.14	0.0002**
Interacciones AB	28817.6	4	7204.4	1.65	0.1809
Residual	174725.0	40	4368.12		
Total	284232.0	49			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 12. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable número de tubérculos de *Dioscorea* spp., en el primer ciclo (2007).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de P
A: Tratamientos	2.72	4	0.68	0.81	0.5265
B: Ambientes	1.62	1	1.62	1.93	0.1726
Interacciones AB	6.08	4	1.52	1.81	0.1460
Residual	33.6	40	0.84		
Total	44.02	49			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 13. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable longitud de los tubérculos de *Dioscorea* spp., en el primer ciclo (2007).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de P
A: Tratamientos	0.563048	4	0.140762	2.19	0.0881
B: Ambientes	0.458883	1	0.458882	17.14	0.0109*
Interacciones AB	0.613128	4	0.153282	2.38	0.0678
Residual	2.57684	40	0.064421		
Total	4.2119	49			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 14. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable longitud de las plantas de *Dioscorea* spp., a los 45 días después de plantación en el segundo ciclo (2008).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de P
A: Tratamientos	2.74046	3	0.913486	4.37	0.0097**
B: Ambientes	7.17188	1	7.17188	34.33	0.0000**
Interacciones AB	1.91509	3	0.638364	3.06	0.0399*
Residual	7.93851	38	0.208908		
Total	18.7892	45			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 15. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable longitud de las plantas de *Dioscorea* spp., a los 90 días después de plantación en el segundo ciclo (2008).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de P
A: Tratamientos	2.93604	3	0.97868	4.19	0.0117*
B: Ambientes	8.11606	1	8.11606	34.79	0.0000**
Interacciones AB	1.28281	3	0.427603	1.83	0.1576
Residual	8.86557	38	0.233305		
Total	20.4004	45			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 16. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable longitud de entrenudos de *Dioscorea* spp., a los 45 días después de plantación en el segundo ciclo (2008).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de P
A: Tratamientos	18.5735	3	6.19115	6.47	0.0012**
B: Ambientes	41.9424	1	41.9424	43.84	0.0000**
Interacciones AB	1.69627	3	0.565424	0.59	0.6247
Residual	36.3542	38	0.956689		
Total	95.6141	45			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 17. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable longitud de entrenudos de *Dioscorea* spp., a los 90 días después de plantación en el segundo ciclo (2008).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de P
A: Tratamientos	12.5625	3	4.1875	9.42	0.0001**
B: Ambientes	21.0306	1	21.0306	47.30	0.0000**
Interacciones AB	3.49232	3	1.16411	2.62	0.0649
Residual	16.8958	38	0.444627		
Total	51.7174	45			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 18. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable número de hojas de *Dioscorea* spp., a los 45 días después de plantación en el segundo ciclo (2008).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de <i>P</i>
A: Tratamientos	21.9737	3	7.32456	5.44	0.0033**
B: Ambientes	49.0196	1	49.0196	36.41	0.0000**
Interacciones AB	8.81579	3	2.9386	2.18	0.1060
Residual	51.1667	38	1.34649		
Total	124.804	45			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 19. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable número de hojas de *Dioscorea* spp., a los 90 días después de plantación en el segundo ciclo (2008).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de <i>P</i>
A: Tratamientos	14.9956	3	4.99854	3.69	0.0199*
B: Ambientes	67.1029	1	67.1029	49.59	0.0000**
Interacciones AB	20.0132	3	6.67105	4.93	0.0055**
Residual	51.4167	38	1.35307		
Total	146.978	45			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 20. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable diámetro del tallo de las plantas de *Dioscorea* spp., a los 45 días después de plantación en el segundo ciclo (2008).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de <i>P</i>
A: Tratamientos	2.88377	3	0.961257	1.99	0.1322
B: Ambientes	0.490196	1	0.490196	1.01	0.3204
Interacciones AB	2.38377	3	0.794591	1.64	0.1956
Residual	18.375	38	0.483553		
Total	23.8533	45			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 21. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable diámetro del tallo de las plantas de *Dioscorea* spp., a los 90 días después de plantación en el segundo ciclo (2008).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de <i>P</i>
A: Tratamientos	0.790833	4	0.263611	0.87	0.4629
B: Ambientes	0.333333	1	0.333333	1.10	0.2996
Interacciones AB	0.401667	4	0.133889	0.44	0.7231
Residual	12.0733	40	0.301833		
Total	13.5992	47			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 22. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable peso de tubérculos de *Dioscorea* spp., en el segundo ciclo (2008).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de P
A: Tratamientos	825.982	3	275.327	0.07	0.9770
B: Ambientes	10824.5	1	10824.5	2.64	0.1124
Interacciones AB	22031.6	3	7343.87	1.79	0.1652
Residual	155766.0	38	4099.1		
Total	189272.0	45			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 23. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable número de tubérculos de *Dioscorea* spp., en el segundo ciclo (2008).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de P
A: Tratamientos	0.535088	3	0.178363	0.27	0.8458
B: Ambientes	0.176471	1	0.176471	0.27	0.6075
Interacciones AB	2.0614	3	0.687135	1.04	0.3840
Residual	25.0	38	0.657895		
Total	27.7391	45			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo

Anexo 24. Análisis de varianza de los tratamientos y ambientes para la variable longitud de tubérculos de *Dioscorea* spp., en el segundo ciclo (2008).

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F	Valores de <i>P</i>
A: Tratamientos	0.0822229	3	0.0274076	1.37	0.2666
B: Ambientes	0.0391021	1	0.0391021	1.95	0.1702
Interacciones AB	0.0277562	3	0.00925208	0.46	0.7107
Residual	0.80175	38	0.0200438		
Total	0.950831	45			

Todos los Valores F están basados en el error residual de media de cuadrados.

**Altamente significativo

*Significativo