



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

“Germinación y crecimiento plantular de
Coryphantha elephantidens (Lem.) Lem.
(Cactaceae)”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
BIÓLOGO

PRESENTA

ROGELIO GARCÍA CRISTINO

DIRECTOR DE TESIS:

M. EN C. BALBINA VÁZQUEZ BENÍTEZ

MÉXICO, D.F., SEPTIEMBRE 2014





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios profesionales.

A mi directora de tesis M. en C. Balbina Vázquez Benítez por no dejar que abandonara este gran proyecto, por su valioso apoyo, asesoramiento, interés y paciencia mostrada en el desarrollo de este trabajo, sobre todo por transmitirme parte de su enorme conocimiento. Gracias por fortalecer mi amor a las cactáceas.

A los integrantes del jurado: Dr. Arcadio Monroy Ata, M. en C. Ramiro Ríos Gómez, M. en C. Bárbara Susana Luna Rosales y Biól. Juan Romero Arredondo, por su tiempo dedicado y acertadas observaciones en este trabajo.

Gracias M. en C. Ramiro Ríos Gómez por el asesoramiento y apoyo incondicional en los análisis edafológicos.

A mis padres y hermanos, quienes a pesar de las adversidades siempre me apoyaron para salir adelante en mis estudios, por ser mí ejemplo e impulso, los AMO.

A Nancy, su apoyo intelectual, paciencia y amor, me ayudo a seguir constante en la elaboración de este proyecto.

CONTENIDO

RESUMEN	IV
INTRODUCCION.....	1
ANTECEDENTES	3
Descripción de <i>Coryphantha elephantidens</i>	4
HIPÓTESIS	6
OBJETIVOS	6
MATERIAL Y MÉTODOS.....	7
Caracterización seminal	7
Evaluación de la Viabilidad con TTC	7
Germinación.....	8
Latencia.....	9
Desarrollo.....	9
Crecimiento	9
Análisis de sustratos.....	10
RESULTADOS.....	12
Caracterización de los frutos y semillas	12
Evaluación de la viabilidad con TTC.....	14
Germinación.....	15
Tratamientos pregerminativos (Latencia)	15
Desarrollo.....	16
Crecimiento	21
Propiedades de los sustratos.....	30
DISCUSIÓN.....	32
Caracterización de frutos y semillas.....	32
Prueba de viabilidad con TTC.....	33
Germinación.....	33
Tratamientos pregerminativos (Latencia)	34
Desarrollo.....	35
Crecimiento	35
Propiedades de los sustratos.....	37
CONCLUSIONES.....	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

RESUMEN

México cuenta con una notable diversidad de especies de cactáceas y un alto nivel de endemismos. Tal es el caso de *Coryphantha elephantidens* que se encuentra bajo la categoría de amenazada (NOM-059-ECOL-2010), debido a que ha sido sobreexplotada, para fines de ornato o simplemente se ha reducido su hábitat natural. De igual manera existe poco conocimiento del comportamiento fisiológico de esta especie, por tal razón es necesario desarrollar un modelo sustentable basado en el manejo y aprovechamiento integrado que fortalezca la conservación y aprovechamiento sustentable y al mismo tiempo disminuir la presión a que están sujetas las poblaciones de ésta especie. Dentro de este contexto se propuso evaluar el proceso de germinación de *C. elephantidens*, formando cuatro lotes de 50 semillas recolectadas en la localidad de Peñón de Amayuca, perteneciente al municipio de Jantetelco, estado de Morelos en 2009. Fueron colocadas en cajas Petri en condiciones de invernadero, anotando cada tercer día el número de semillas germinadas durante 30 días. Se realizó una caracterización seminal de la especie. Se evaluó su viabilidad a través del método bioquímico del cloruro 2, 3, 5-trifenil tetrazolio (TTC). Posteriormente se determinó si presentaba latencia con dos tratamientos: a) remojo en agua por cuatro horas y b) remojo en agua por 24h. El estudio de desarrollo plantular fue cualitativo y se indicaron las características morfológicas y emergencia del hipocótilo, epicótilo, radícula, cotiledones, aparición de espinas radiales, aréolas y tubérculos. El crecimiento se evaluó durante seis meses a través de la cuantificación de la altura y diámetro de las plantas con el programa de medición *Foto ImageJ* (versión 2.1.4). Para ello se eligieron cuatro mezclas de sustratos: arena-organodel, tepojal-organodel, arena-lombricomposta y tepojal-lombricomposta, relación 1:1. A través de una secuencia fotográfica se registró el desarrollo y crecimiento de los ejemplares en los diferentes sustratos. Con la finalidad de poder inferir una relación entre el crecimiento y el desarrollo de los ejemplares con el tipo de sustrato, se determinaron las siguientes propiedades físico-químicas de los sustratos: pH, capacidad de intercambio catiónico, densidad real y densidad aparente. Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y se obtuvieron gráficas de caja y bigote para cada uno de los sustratos con ayuda del programa *Stat-graphics* (Centurión XV). Se obtuvo 92% de germinación y 94% para el tratamiento en remojo por 4h. La prueba de viabilidad mostró un 89% de semillas teñidas con al menos un 50% en tinción del embrión. Estos resultados indicaron que

las semillas de *Coryphantha elephantidens*, almacenadas durante un año no presentaron latencia. Existió una diferencia significativa con el desarrollo y el crecimiento de las plantas de *C. elephantidens* con respecto a las mezclas que contenían Organodel. Las altas temperaturas en condiciones de invernadero (35-40C^o), y el riego, aceleraron el proceso de descomposición de la materia orgánica, lo que ocasionaron una reducción del porcentaje del espacio poroso y la putrefacción de la materia orgánica, llegando el momento en el que las plantas de *C. elephantidens* absorbieron demasiada agua a través de sus raíces y perecieron por falta de oxígeno. Esta mezcla condujo la muerte de los individuos durante el primer mes de estudio. Las plántulas mostraron un adecuado establecimiento en las mezclas que contenían lombricomposta. En arena-lombricomposta se registró mayor crecimiento en las variables de altura y diámetro. Así mismo el desarrollo de las estructuras morfológicas también fue satisfactorio para lombricomposta. Los análisis edafológicos indicaron que lombricomposta mezclado con arena o tepojal, ayuda a tener una buena aireación y mayor disponibilidad de los nutrientes, lo cual favoreció su supervivencia de las plantas durante el experimento.

INTRODUCCION

Las cactáceas son un grupo de plantas con características biológicas y ecológicas particulares que las hacen vulnerables a diversos factores de perturbación natural y humana (Hernández y Godínez, 1994). Además, el escaso conocimiento del comportamiento reproductivo ha omitido las prácticas de conservación basadas en técnicas de propagación. En México se distribuyen aproximadamente 913 taxones agrupados en 669 especies y 244 subespecies aceptadas, incluidas en 63 géneros. Un total de 25 géneros, 518 especies y 206 subespecies son endémicos de México. Actualmente, las cactáceas han sido incluidas en listas internacionales relacionadas con la protección de la diversidad (Álvarez *et al.*, 2004). De los 913 taxones reconocidos, 255 se incluyen en la NOM-059-ECOL-2010 (SEMARNAT, 2010), aproximadamente 97 especies endémicas se encuentran en riesgo de extinción según el libro rojo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2014), 35 taxones están registrados en el Apéndice I de la Convención Internacional para el Comercio de Especies Amenazadas CITES (2014).

La mayor parte de las especies del género *Coryphantha* se encuentra distribuida solamente en el territorio mexicano (Hernández y Godínez, 1994). Sin embargo, en las últimas décadas las poblaciones silvestres han disminuido de manera drástica, debido principalmente a la destrucción masiva de sus hábitats y al aprovechamiento indiscriminado de especies para su comercialización tanto a nivel nacional como internacional (Fuentes, 2003). Un ejemplo de ello es *Coryphantha elephantidens* considerada como especie amenazada (SEMARNAT, 2010), la cual se encuentra distribuida en los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Veracruz y Zacatecas (Guzmán *et al.*, 2003). Es una especie con potencial ornamental y sus poblaciones han sido afectadas de forma alarmante por un saqueo desmedido y por la constante alteración de sus hábitats. Frente a esta situación es indispensable contar con alternativas que permitan su propagación y recuperación.

Álvarez y Montaña (1997), mencionan que una alternativa para el aprovechamiento sustentable de especies amenazadas o en peligro de extinción, es la propagación a través de semillas, ya que favorece la conservación *in situ* al disminuir la extracción de ejemplares de las poblaciones naturales y la conservación *ex situ* al promover la supervivencia de ejemplares fuera de su medio natural. Cabe mencionar que la germinación de las cactáceas es un proceso difícil en su medio natural, y aun cuando los frutos producen generalmente

numerosas semillas, solo unas cuantas logran germinar (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1999). Además, la caracterización de las estructuras permite aportar patrones de desarrollo en los diferentes géneros de plántulas.

El objetivo de este estudio fue determinar el porcentaje de germinación y caracterizar el desarrollo plantular de *Coryphantha elephantidens*, con la finalidad de sentar bases de su propagación y así disminuir la presión a que están sujetas las poblaciones de ésta especie por el cambio de uso de suelo y la extracción de ejemplares de su hábitat.

ANTECEDENTES

Las cactáceas son originarias de América y se distribuyen desde Canadá hasta la Patagonia. Su distribución es muy amplia ya que se encuentran en casi todos los tipos de hábitats. En las regiones áridas y semiáridas se localizan más del 70% de las especies y la mayor diversidad se encuentra en el matorral xerófilo (Bravo-Hollis, 1978; Bravo-Hollis y Scheinvar, 1999). En México se encuentran en el norte y parte del centro, donde destacan el desierto Chihuahuense, el desierto Sonorense, el Valle de Tehuacán, Puebla y la zona árida Querétaro-Hidalguense (Hernández y Godínez, 1994).

Las cactáceas también se encuentran representadas de forma importante en las regiones tropicales y subtropicales como las selvas altas perennifolias, selvas bajas caducifolias; asimismo habitan regiones templadas y frías como en los bosques de coníferas, o bien en las regiones con nevadas durante el invierno como los bosques boreales y las estepas patagónicas (Bravo-Hollis, 1978; Bravo-Hollis y Scheinvar 1999; Nobel, 2002).

En el hemisferio norte del continente Americano, el género *Coryphantha* ocupa el cuarto lugar en riqueza de especies. Es antecedido por *Mammillaria*, *Opuntia* y *Echinocereus* (Rojas-Arechiga y Vázquez-Yanes, 1999). El estudio más reciente sobre este género señala que existen 43 especies y 11 subespecies (Dicht y Luthy, 2005). Todas las especies de *Coryphantha* reconocidas hasta ahora se encuentran distribuidas en México.

A pesar de que *Coryphantha* es uno de los géneros más diversos de cactáceas, solamente se han producido dos monografías relacionadas con él. La primera corresponde a Zimmerman (1985) y la segunda de Dicht y Luthy (2005). De igual forma, los estudios relacionados con la biología de la reproducción, incluyendo aspectos sobre la germinación son escasos. Existen numerosos coleccionistas y aficionados a especies de cactáceas que han experimentado con procedimientos de propagación; sin embargo, sus resultados no han sido sistematizados y no cuentan con el rigor científico que sustente la confiabilidad de sus experimentos.

Existen estudios relacionados con el tema de este proyecto y el género *Coryphantha*, entre los cuales se encuentran: Propagación in vitro de *C. retusa* (Britton & Rose,) un cactus endémico y amenazado (Ruvalcaba-Ruiz *et al.*, 2010), Asociaciones nodriza-protégida y germinación de cactáceas en Durango y Tamaulipas (germinación de

C. durangensis) (Muro, 2011), Germination and early seedling growth of Tehuacán Valley cacti species: the role of soils and seed ingestion by dispersers on seedling growth (Godínez-Álvarez y Valiente-Banuet, 1998), Seed size and photoblastism in species belonging to tribe Cactaeae (Cactaceae) (Rojas-Aréchiga *et al.*, 2012), Seed germination in Cactaceae (Bregman y Bouman, 1983) y Descripción morfológica desde la germinación hasta su trasplante de tres especies de cactáceas amenazadas (*Astrophytum ornatum*, *Cephalocereus senilis* y *C. elephantidens*) (Gelista, 2008).

Las especies de *Coryphantha* se caracterizan por ser plantas globosas con formas aplanadas, ovoides o cortamente cilíndricas. La mayoría de ellas presenta floración en el ápice del tallo. Los tubérculos de los organismos reproductores están surcados en la cara adaxial. Las semillas son de forma reticulada, de color pardo claro a pardo oscuro. *C. elephantidens* forma parte de un complejo taxonómico integrado por *C. bumamma*, *C. greenwoodii* y *C. retusa* (Bravo-Hollis y Sánchez Mejorada, 1991). La variación de algunos rasgos vegetativos en la etapa juvenil se traslapan entre especies y esta situación ha dificultado la delimitación de estos taxones (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1999).

Descripción de *Coryphantha elephantidens*

Coryphantha elephantidens es una especie que se encuentra en el estatus de amenazada de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT, 2010). Es una planta de tallo simple, globosa, de 5 a 15cm de altura por 10 a 20cm de diámetro, de color verde oscuro; ápice y axilas lanosos; tubérculos grandes y gibosos, dispuestos en cinco y ocho series espiraladas a veces aplanados, obtusos y de cuatro a cinco centímetros de longitud; aréolas elípticas, lanosas cuando es joven; espinas de seis a ocho, todas radiales, casi todas iguales, las más largas de dos centímetros de longitud, extendidas y encorvadas, al principio amarillentas, después de color más o menos pardo con las puntas oscuras; flores de ocho a once centímetros de diámetro, de color rosa, con una estría más oscura en el centro; lóbulos del estigma cerca de seis, amarillentos (Figura 1). Fruto oblongo de dos a tres cm de longitud (Cullmann *et al.*, 1986). Semillas de 4mm de longitud de color castaño claro (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).



Figura 1. Planta adulta de *Coryphantha elephantidens*.

El epíteto *elephantidens* alude a la forma de las espinas con parecido a los dientes de los elefantes. Esta especie se distribuye en los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Veracruz y Zacatecas (Figura 2), (Guzmán *et al.*, 2003).



Figura 2. Distribución en México de *C. elephantidens* (Guzmán *et al.*, 2003).

HIPÓTESIS

El conocimiento de la morfo-fisiología de *Coryphantha elephantidens* permitirá conocer sus patrones de crecimiento y desarrollo plantular. Su caracterización hará posible sustentar prácticas masivas de propagación y cultivo, las cuales serán básicas para su conservación y manejo sustentable

OBJETIVOS

General:

Evaluar la germinación y crecimiento plantular de *Coryphantha elephantidens* (Lem.) Lem.

Particular:

Caracterizar la morfología seminal de *C. elephantidens*.

Evaluar la viabilidad de semillas de *C. elephantidens*

Determinar el porcentaje de germinación en *C. elephantidens*

Determinar presencia y tipo de latencia seminal en *C. elephantidens*.

Evaluar el crecimiento plantular en cuatro diferentes sustratos.

Caracterizar el desarrollo plantular.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los frutos de *Coryphantha elephantidens* (Figura 3), fueron recolectados de la localidad de Peñón de Amayuca, perteneciente al municipio de Jantetelco, estado de Morelos en 2009. Posteriormente fueron incorporados a la Colección accesoria de frutos de la Colección viva de Cactáceas y otras Suculentas del Invernadero de la FES Zaragoza, UNAM.

Caracterización seminal

Se fotografiaron 10 frutos seleccionados al azar con una referencia de escala. A cada uno de los frutos se les midió largo y ancho con el programa *Foto ImageJ* (versión 2.1.4). Así mismo se registró el color de los frutos secos y la persistencia o no de los restos florales. Se cuantificó el número total de semillas por fruto. Se formó una muestra de 20 semillas provenientes de diferentes frutos (Figura 4). A cada semilla se le midió el largo y ancho, las cuales se hicieron con *Foto ImageJ*. Se obtuvieron los promedios para cada variable cuantificada.

Con un microscopio estereoscopio se realizó la caracterización seminal y se registró forma, lustre, relieve de la testa, características de la región hilo-micropilar de acuerdo a la propuesta de Barthlott y Hunt (2000). Todos los valores obtenidos se concentraron en una base de datos.



Figura 3. Fruto de *C. elephantidens*



Figura 4. Semillas de *C. elephantidens*

Evaluación de la Viabilidad con TTC

Se formaron dos muestras de 20 semillas cada una fue seleccionadas al azar. Las semillas se colocaron en agua durante 24h. Una vez transcurrido el tiempo se escurrieron y se dejaron secar. Posteriormente se cortaron longitudinalmente y se expusieron en una solución de cloruro 2, 3, 5-trifenil tetrazolio (TTC), a una concentración de 1% por un periodo de 4h en obscuridad. Al cabo de este tiempo se examinaron con ayuda de un microscopio estereoscópico. Cada una de las semillas bi-seccionadas se dibujaron y registraron los distintos patrones de coloración observados. Se catalogaron a las semillas

conforme a los patrones de tinción, ya sea total del 100%, con un 75% ó el 50%. A todas las semillas con este patrón de tinción se considerarían como viables, porque el embrión solo está en espera de activación metabólica, por lo que menos del 50% se consideraron inviables (Rojas-Arechiga y Vásquez-Yanes, 1999). De acuerdo a los patrones de coloración y a una prueba de germinación se registraron las semillas en vanas (con ausencia de embrión), inviables (sin tinción o tinción débil) y viables. Esta prueba se hizo por duplicado.

Germinación

Se extrajeron y contaron las semillas de 15 frutos. Una vez extraídas se mezclaron de forma homogénea y se procedió a formar cuatro lotes de 50 semillas. Estas mismas fueron desinfectadas con una solución de cloro al 0.5% y unas gotas de jabón líquido durante 20 minutos, posteriormente fueron enjuagadas con agua corriente, para remover trazas de cloro que pudiera dañar a la germinación. En cajas Petri debidamente desinfectadas con una solución de cloro al 2% durante 10 minutos, se colocó una capa de algodón esterilizado, después una lámina de papel filtro absorbente, posteriormente un lote de semillas desinfectado y encima de las semillas otra hoja de papel filtro. De esta forma las semillas quedaron en medio de dos hojas de papel filtro (Figura 5), con la finalidad de que haya y se mantenga la humedad requerida para su germinación. La prueba de germinación consto de un control y tres repeticiones, de acuerdo a los protocolos de ISTA (2009).

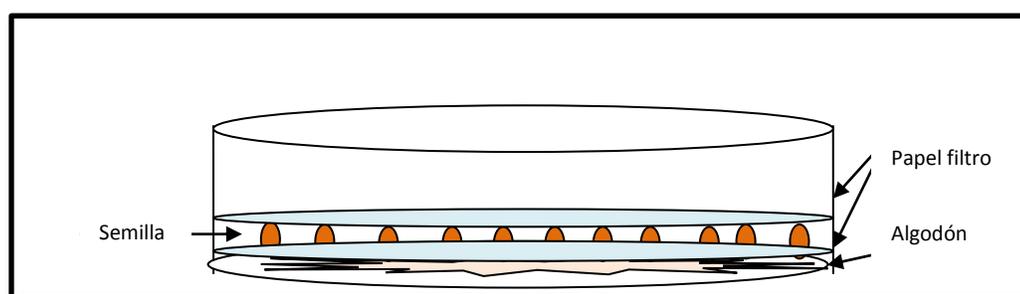


Figura 5. Esquema de las semillas en la caja Petri.

Las cajas Petri se mantuvieron en condiciones de invernadero, controlando la humedad a capacidad de campo en el recipiente con riego cada tercer día. La germinación se evaluó con la emergencia de la radícula. El porcentaje de germinación se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Germinación} = \frac{\text{No. de semillas germinadas}}{\text{No. de semillas totales de la muestra}} \times 100$$

Cada tercer día se anotó el número de semillas germinadas. Con los datos de semillas germinadas se realizó una gráfica de germinación acumulada. La prueba de germinación tuvo una duración de 30 días. Las semillas germinadas fueron trasplantadas en charolas plásticas con diferentes mezclas de sustratos para evaluar el desarrollo plantular. Las charolas se taparon con una cubierta plástica transparente que permitió un ambiente iluminado que favoreciera el desarrollo plantular.

Latencia

Debido a que las semillas que proceden de ambientes con restricciones hídricas con frecuencia desarrollan latencia, se ensayaron dos tratamientos para detectar la presencia de éste fenómeno.

Los tratamientos para evaluar la latencia fueron:

- 1) Remojo en agua por 4 horas.
- 2) Remojo en agua por 24 horas.

Se formaron dos lotes con 50 semillas cada uno. Un lote para cada tratamiento. Al igual que en las pruebas de germinación, se anotaron cada tercer día el número de semillas germinadas y se mantuvieron en condiciones de invernadero. Se realizaron los mismos riegos en términos de calidad y cantidad de agua que en la prueba de germinación hasta la aparición de la radícula. La respuesta y velocidad germinativa se comparó con la obtenida en la prueba de germinación.

Desarrollo

Se hizo una relación del desarrollo de las estructuras plantulares con respecto al tiempo. Así, se registraron a través de una secuencia fotográfica el desarrollo y crecimiento de los cotiledones, hipocótilo, aréolas, espinas radiales y tubérculos. Se describieron las características morfológicas cualitativas de cada una de las estructuras que conforman la plántula.

Crecimiento

Una vez que las semillas germinaron se trasplantaron en charolas de plástico de 14 x 14 cm, debidamente desinfectadas con una solución de cloro al 2% durante 10 minutos, las cuales contenían mezclas de diferentes sustratos. Se ensayaron cuatro tipos de mezclas (humedecidos a capacidad de campo):

- 1) Arena-Lombricomposta (1:1).
- 2) Arena-Organodel (1:1).
- 3) Tepojal-Lombricomposta (1:1).
- 4) Tepojal-Organodel (1:1).

El crecimiento se evaluó en condiciones de invernadero. Se reportó el número de plántulas sobrevivientes para cada charola. El crecimiento de la plántula se registró cada 15 días, durante seis meses, a través de la cuantificación de altura y diámetro de las plantas con el programa de medición *Foto ImageJ*. Los datos obtenidos de las mediciones de altura y diámetro fueron sometidos a un análisis de varianza para cada tipo de sustrato. Con los datos se elaboraron gráficas de caja y bigote con el programa *Stat-graphics* (Centurión XV), con la finalidad de observar las diferencias significativas así como el comportamiento de los resultados de cada uno de los sustratos.

A las diferentes mezclas formadas se les analizaron las siguientes propiedades físico-químicas: pH, capacidad de intercambio catiónico, densidad real y densidad aparente, para así poder inferir una relación entre el desarrollo de los ejemplares y los diferentes sustratos.

El crecimiento se evaluó con la fórmula $TCR = [\log L_2 - \log L_1] / t$

TCR = tasa de crecimiento relativo L_2 = altura final

L_1 = altura inicial t = tiempo en semanas

Análisis de sustratos

Para la determinación de la densidad aparente se utilizó el método de probeta. Se registró el peso en una balanza granataria de una probeta de 10 mililitros (mL) vacía y después debidamente llena con el sustrato. Se calculó la densidad aparente con la siguiente fórmula:

$$DA = \frac{\text{Peso de la probeta con suelo} - \text{peso de la probeta}}{\text{volumen total}}$$

Se determinó la densidad real con el método de picnómetro. Se registró el peso de un picnómetro vacío, después se agregó 5 gramos (g) de sustrato, se adicionaron 10mL de agua destilada y se agitó durante 10 minutos. Posteriormente se llenó de agua hasta su aforo y se anotó el peso del picnómetro con agua y suelo. De igual forma se anotó el peso del picnómetro solo con agua.

Se calculó la densidad real con la siguiente fórmula:

$$DR = \frac{C - A}{[(C - A) + B - A] - (D - A)}$$

Dónde:

A= peso del picnómetro

B= peso del picnómetro más agua

C= peso del picnómetro más suelo

D= peso del picnómetro más suelo más agua

El cálculo del espacio poroso de los sustratos según Jackson (1970), se determinó con la siguiente fórmula:

$$\%EP = 100 \left(1 - \frac{DA}{DR} \right)$$

Donde DA= densidad aparente y DR= densidad real.

Para la determinación del pH real se utilizó el método electrométrico, realizándose con un potenciómetro marca *conductronic modelo 10*. Pesándose 10g de suelo y colocándolo en un vaso de precipitado de 25mL. Se agregó 10mL de agua destilada. Agitándolo y dejándolo reposar por 30 minutos. Se ajustó previamente el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras de pH 7 y 4. Pasado el reposo, se midió el pH. Para el pH potencial se sustituyó el agua destilada por una solución de KCl a 1N, posteriormente dejándolo reposar por 30 minutos se midió el pH siguiendo las mismas recomendaciones del pH real. Con las muestras del sustrato para el análisis de pH real, la conductividad eléctrica se midió con un conductivímetro digital marca *altronix modelo ct-2*, según Jackson (1970), esperando por cinco minutos o a que de una lectura estable.

Para el análisis de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) método de EDTA, se pesaron 2.5g de sustrato, colocándose en un embudo con un papel filtro. Se agregaron 50mL de CaCl₂ 1N (aplicándole 10mL por 5 ocasiones), desechando el filtrado posteriormente, se adicionó de la misma forma 50mL alcohol etílico al 96%, desechándose el filtrado. Se hizo de nuevo la operación pero ahora con NaCl a 1N, se recogió el filtrado. A este filtrado se integraron 10mL de solución buffer adicionando posteriormente 5 gotas de Cianuro de potasio KCN al 2%, incorporándose 5 gotas de clorhidroxido de hidroxilamina. Agregando después 5 gotas de negro de eriocromo T, hasta obtener un color purpura. Titulándose con solución de EDTA al 0.02N hasta que se registró un color azul, anotando los ml gastados de EDTA. Se calculó la CIC con base a la siguiente fórmula:

$$\text{meq /100g de suelo CIC T} = \frac{\text{mL de EDTA} \times \text{N} \times \text{F.C} \times 100}{\text{g de suelo}}$$

RESULTADOS

Caracterización de los frutos y semillas

Se extrajeron 465 semillas de 11 frutos de *Coryphantha elephantidens*. El número de semillas por fruto osciló entre 21 y 68 (Cuadro 1). Se registró un promedio de 2.489mm de largo y 0.916mm de ancho, con una relación entre ambas variables de 2.795 (Cuadro 2).

Cuadro 1. Tamaño de frutos y número de semillas por fruto en *C. elephantidens*. Los datos con asterisco al final de las columnas representan valores promedio.

Largo de frutos (cm)	Ancho de frutos (cm)	Núm. de semillas por fruto
2.34	0.95	39
2.85	0.50	38
3.13	0.59	37
2.71	1.13	68
2.85	0.66	46
3.01	1.03	66
2.95	0.62	38
3.13	0.81	43
3.71	0.64	36
2.76	0.53	21
2.71	0.57	31
2.92*	0.73*	42.09*

Cuadro 2. Medidas de largo y ancho de semillas de *C. elephantidens* Los datos con asterisco al final de las columnas representan valores promedio

Número de semillas	Largo de la semilla (mm)	Ancho de la semilla (mm)	Relación Largo/Ancho
1	2.86	1.12	2.5
2	1.78	0.46	3.8
3	3.05	0.86	3.5
4	2.87	0.95	3
5	2.22	0.46	4.8
6	2.71	1.11	2.6
7	3.21	1.21	3.2
8	3.11	0.96	3.3
9	2.34	0.69	2.8
10	2.45	0.87	3
11	2.75	0.89	3.1
12	2.86	0.92	3
13	2.56	1.23	2
14	3.11	1.21	2.5
15	2.19	1.09	2
16	1.23	0.67	1.8
17	1.96	0.79	2.4
18	1.11	0.87	1.2
19	3.17	1.02	3.1
20	2.24	0.94	2.3
Promedio	2.489	0.916	2.795

En el cuadro 3 se muestran las características morfológicas que se obtuvieron de las semillas de *Coryphantha elephantidens*, asimismo en la figura 6, se registró fotográficamente la vista dorsal y lateral del micrópilo e hilo.

Cuadro 3. Caracterización seminal de *C. elephantidens*.

Longitud	Forma	Relación Largo-Ancho	Color	Textura	Lustre	Forma del hilo-micrópilo	Posición del hilo
Larga	Simétrica	Ligeramente oval	Castaño claro	Lisa con micro-relieve reticulado	Mate	Conjunto pero separado por una banda de esclereidas.	Basal

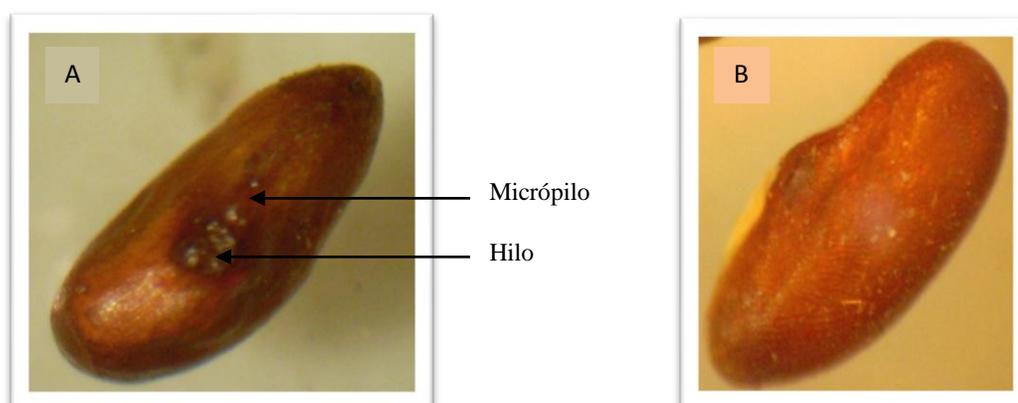


Figura 6. Semilla de *C. elephantidens*. A. Vista dorsal del micrópilo e hilo. B. Vista lateral.

El coeficiente de correlación entre el largo del fruto con el número de semillas fue de 0.033, lo que indica que no se encuentra una relación entre estas variables (Figura 7). Sin embargo, existe una ligera correlación positiva entre el ancho del fruto, lo que implica que pueda existir una relación entre el número de semillas y el tamaño del fruto (Figura 8). Los frutos secos de color pardo claro con tonalidades grises, no presentaron restos florales.

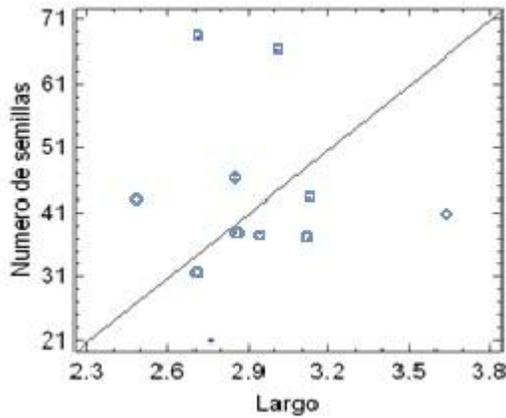


Figura 7. Gráfico de dispersión entre el número de semillas y largo del fruto.
Coeficiente de Correlación = 0.0333

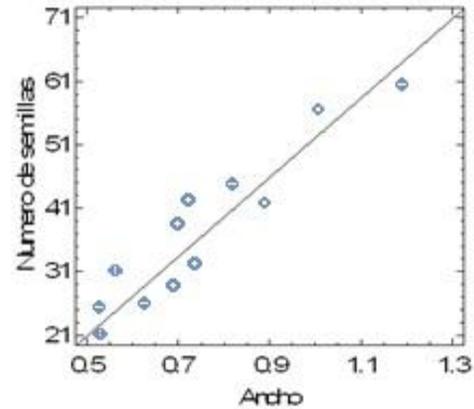


Figura 8. Gráfico de dispersión entre el número de semillas y ancho del fruto.
Coeficiente de Correlación = 0.8421

Evaluación de la viabilidad con TTC

Se encontraron cuatro patrones de tinción con la prueba bioquímica y empleo de cloruro trifenil-tetrazolio (TTC). El 38% de las semillas mostraron una tinción del 100% del embrión. Encontrándose un 27% de semillas teñidas entre el 50 al 75% del área. Se obtuvo un 24% de semillas con un 50% de tinción. Por lo tanto, 89% de las semillas se registraron con al menos un 50% de tinción de su embrión. Y por último se obtuvo 11% de embriones inviables equivalente a la ausencia de tinción (Cuadro 4).

Cuadro 4. Patrones de coloración de las semillas de *Coryphantha elephantidens* con cloruro de trifenil-tetrazolio (TTC).

Coloración con el método bioquímico del TTC	Descripción de la coloración de los embriones	% de semillas teñidas
	Total	38
	Más del 50 % del embrión	27
	Alrededor del 50% del embrión	24
	Menos del 20%	11

Germinación

La germinación se lleva a cabo a los nueve días después de la siembra. Las semillas de *Coryphantha elephantidens* tiene un comportamiento exponencial hasta el día 14, momento en el que se tiene el máximo de germinación por unidad de tiempo. A partir del día 15 empieza un descenso en la germinación para terminar a los 29 días. Se obtuvo un máximo de 92% de germinación (Figura 9) (Cuadro 5).

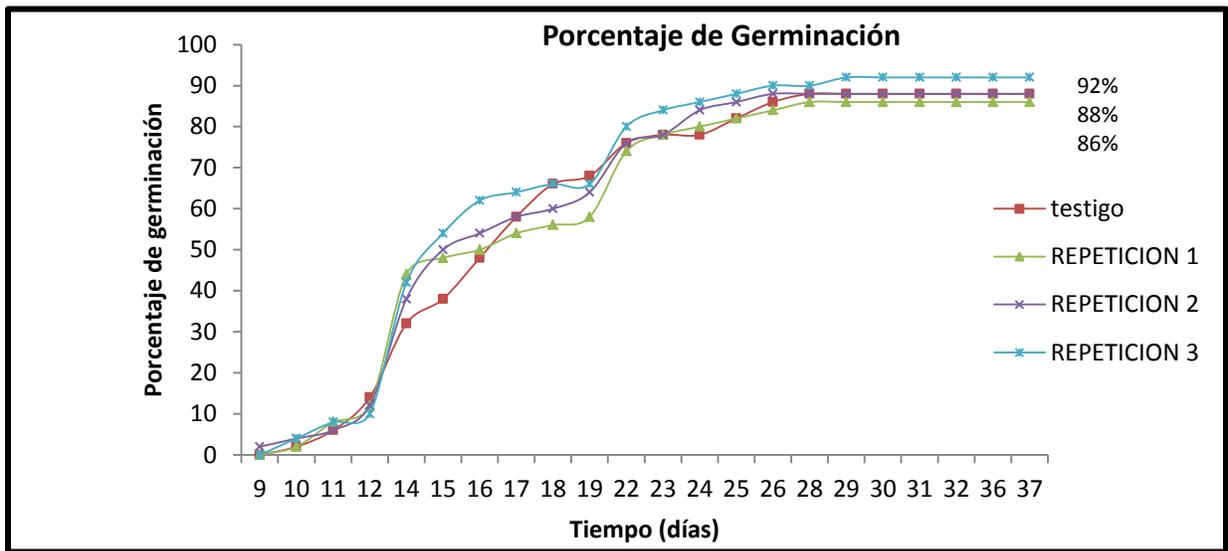


Figura 9. Germinación de *Coryphantha elephantidens*.

Tratamientos pregerminativos (Latencia)

La figura 10 muestra los resultados obtenidos en la germinación para los diferentes tratamientos pregerminativos. En ambos tratamientos (remojo por 4h y remojo por 24h) el comportamiento fue similar. La germinación inicio a los 8 días después de la siembra. A partir del noveno día las semillas de *C. elephantidens* presentaron un crecimiento exponencial hasta el día 14, momento marcado como la máxima germinación, por lo cual empieza un descenso de germinación para terminar a los 30 días. Se obtuvo un máximo de 94% de germinación para el tratamiento de remojo por 4h y un 92% para las semillas remojadas por 24h (Cuadro 5).

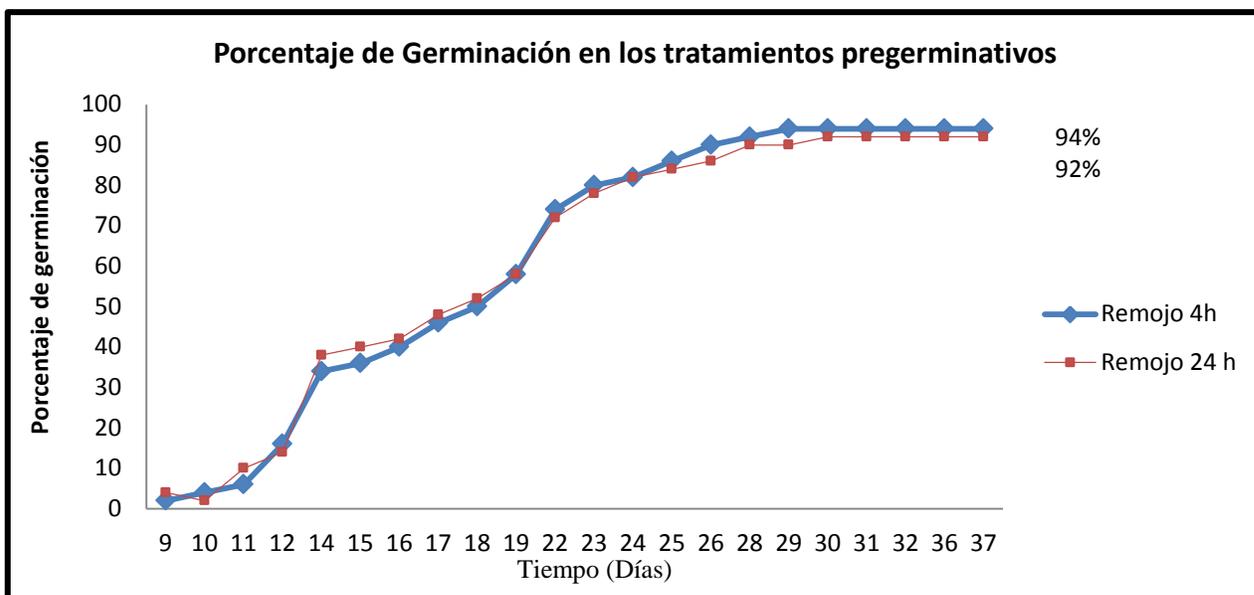


Figura 10. Porcentaje de germinación de *C. elephantidens* sometida a dos diferentes tratamientos germinativos, Tratamiento 1(T1): remojo en agua por 4h, Tratamiento 2 (T2): remojo en agua por 24h.

Cuadro 5. Resultados de la prueba de viabilidad, germinación y tratamientos pregerminativos.

Parámetro	Semillas de <i>Coryphantha elephantidens</i>
Evaluación de la viabilidad.	89%
Germinación.	86,88,88 y 92%
Tratamientos 1. Remojo en agua 4h.	94%
Tratamiento 2. Remojo en agua 24 h.	92%

Desarrollo

A través de una secuencia fotográfica se registraron los cambios en las características morfológicas de las plántulas de *Coryphantha elephantidens* (Figuras 11,12 y 13).

Durante los primeros nueve días se presentó el rompimiento de la testa figura 11.b). En el día 10 inicia la emergencia de la radícula (germinación). Al día 11 se observó la emergencia de hipocótilo (Figura 11.c, d y e). Para el día 15 se notó hidratación y elongación del hipocótilo (Figura 11.f). El hipocótilo ha constituido un tallo marcadamente succulento y erecto. A partir del día 16 se pudieron distinguir hojas cotiledonares apenas perceptibles y los dos primeros podarios fueron conformados (Figura 11.g). En el día 17 y 18 aparecen las

primeras espinas radiales, de color blanco y flexible. Las aréolas son notables y presentan lana.

Para el caso de arena-lombricomposta, las plantas de *Coryphantha elephantidens* durante los primeros 30 días se formaron de tres a cuatro aréolas registrándose 23 como máximo en el sexto mes. Como se observa en la figura 12 el número máximo de espinas radiales fue de 7 (Cuadro 6). El color de las espinas en los primeros dos meses presentó una tonalidad blanca. En el tercer y cuarto mes las espinas adquirieron un color amarillento, hasta que en el quinto mes adquirieron la punta parda. La forma del vástago en los dos primeros meses fue alargada cilíndrica. A partir del tercer mes adquirió una forma globosa (Figura 14c). En la figura 12 puede observarse la forma del ápice del tubérculo de forma cónica o agudo, sin embargo fue tomando forma redonda u obtusa. El desarrollo máximo de raíces secundarias se llevó a cabo durante los primeros cuatro meses. Registrándose en el sexto mes, 13 raíces en promedio (Cuadro 6).

Cuadro 6. Características morfológicas del desarrollo plantular de *Coryphantha elephantidens* en sustrato arena- lombricomposta.

Mes	Número de aréolas	Número de espinas radiales	Color de las espinas	Forma del vástago	Forma del ápice del tubérculo	Número de raíces secundarias
1	4	3-4	Blancas	Alargada	Cónico	2
2	8	4-5	Blancas	Alargada cilíndrica	Cónico	4
3	12	5	Amarillentas	Globosa	Cónico	7
4	18	5	Amarillentas	Globosa	Redondo	10
5	20	5	Amarillentas con la punta pardo	Globosa	Redondo	12
6	23	6-7	Amarillentas con la punta pardo	Globosa	Redondo	13

En el sustrato compuesto por tepojal-lombricomposta existió un incremento notable en el número de aréolas después de 90 días. Posteriormente estas estructuras continuaron incrementándose. El desarrollo de las espinas formó un máximo de seis (Cuadro 7). El

color de espinas durante los primeros dos meses fue blanco, pero en los meses posteriores se tornaron amarillentas con la punta parda (Figura 13). Por su parte la forma del vástago fue alargada cilíndrica hasta los primeros cuatro meses. Posteriormente adquirió forma globosa a partir del tercer mes (Figura 15). La forma cónica del ápice en los tubérculos durante los primeros 120 días, cambio a forma redonda partir del quinto mes (Cuadro 7). El número de raíces secundarias registró un incremento de apariciones de forma constante, mostrando un desarrollo mayor en el sexto mes.

Cuadro 7. Características morfológicas del desarrollo plantular de *Coryphantha elephantidens* en sustrato tepojal- lombricomposta.

Mes	Número de areolas	Número de espinas radiales	Color de espinas	Forma del vástago	Forma del ápice del tubérculo	Numero de raíces secundarias
1	3	4	Blancas	Alargada cilíndrica	Cónico	2
2	8	4-5	Blancas	Alargada cilíndrica	Cónico	3
3	11	5	Amarillentas con la punta pardo	Globosa	Cónico	4
4	16	5-6	Amarillentas con la punta pardo	Globosa	Cónico	5
5	22	6	Amarillentas con la punta pardo	Globosa	Redondo	7
6	27	6	Amarillentas con la punta pardo	Globosa	Redondo	10

En la figura 11 se muestran la secuencia morfológica del desarrollo plantular de *Coryphantha elephantidens*.



Figura 11. Desarrollo plantular de *C. elephantidens* a: semilla al día cero; b: rompimiento de la testa al día 9; c, d y e: emergencia del hipocótilo (día 10-12); f: hidratación del hipocótilo, día 15; g: tallo plantular formado, día 16.

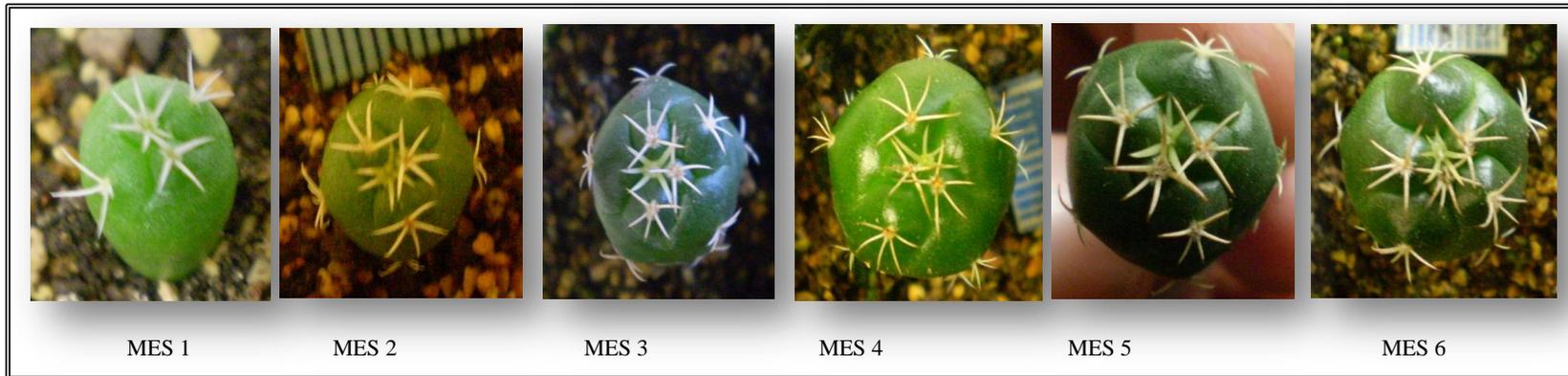


Figura 12. Desarrollo de los cotiledones, aréolas, espinas radiales y tubérculos en *Coryphantha elephantidens* en sustrato arena-lombricomposta.

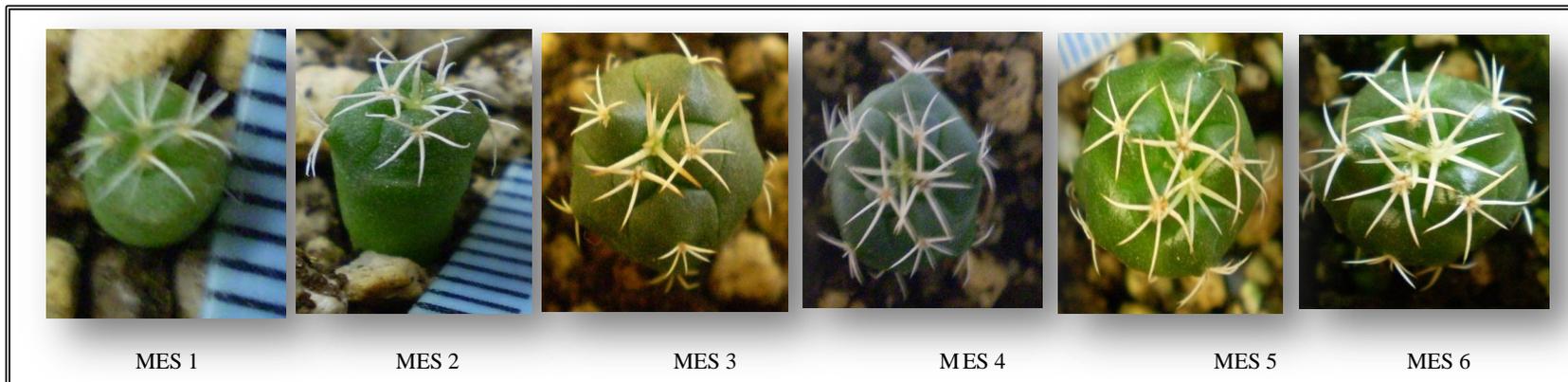


Figura 13. Desarrollo de los cotiledones, aréolas, espinas radiales y tubérculos en *C. elephantidens* en sustrato tepojal-lombricomposta

Crecimiento

El registro fotográfico del crecimiento plantular de *Coryphantha elephantidens*, en arena-lombricomposta se puede observar en la figura 14. La raíz primaria en arena-lombricomposta creció 1.324cm durante el primer mes. Posteriormente al segundo mes fueron visibles cuatro areolas con tres espinas que midieron 1.41mm en arena-lombricomposta (a-l) y 1.478mm en tepojal-lombricomposta (t-l) (Cuadro 8). El crecimiento de las plántulas en tepojal-lombricomposta se observa en la figura 15. En el segundo mes se delinearon los tubérculos con la presencia de ocho aréolas y cinco espinas (Figura 14b). La raíz primaria midió al término del tercer mes 2.846cm en a-l y 3.346cm en t-l, fecha en la cual empezó las diferencias significativas para ambas variables (Cuadro 8 y Figura 17). Durante el sexto mes en la mezcla de a-l se registró 4.959cm de longitud la raíz primaria y 5.472 cm para el caso de t-l. El tamaño de las espinas radiales fue mayor en tepojal-lombricomposta con 3.652mm al cabo del sexto mes, mientras que en arena-lombricomposta fueron de 3.22mm (Cuadro 8). Se presentaron diferencias a partir de segundo mes (Figura 16). Se contabilizaron 23 aréolas con seis espinas radiales en el sexto mes en el sustrato de arena-lombricomposta (Cuadro 6), y para la mezcla de tepojal-lombricomposta se desarrollaron 27 aréolas y de cinco a seis espinas durante el mismo tiempo (Cuadro 7).

La altura del vástago mostró diferencias significativas durante el primer mes de desarrollo en relación con el sustrato de tepojal-organodel (Cuadro 9). Posteriormente durante el cuarto mes, hubo diferencias significativas con respecto a la mezcla de arena-organodel (Figura 18). No existieron diferencias significativas para los meses posteriores con las mezclas de lombricomposta. El menor promedio en la altura del vástago se manifestó en arena-organodel con 0.468cm. Al cabo del sexto mes, el promedio mayor de la altura del vástago se presentó en arena-lombricomposta con 2.681cm y para tepojal-lombricomposta fue de 2.599cm. El promedio menor del diámetro del vástago de *C. elephantidens*, fue de 0.201cm en arena-organodel y 0.235cm en tepojal-organodel y el promedio máximo fue de 1.695cm en arena-lombricomposta y 1.454cm en tepojal-lombricomposta (Cuadro 9) Existieron diferencias significativas con respecto a las mezclas que contenían organodel. Esta condición se notó a partir del primer mes de estudio (Figura 19).

Cuadro 8. Promedio del tamaño de la espina radial y del tamaño de la raíz primaria de *Coryphantha elephantidens* por mes en arena-lombricomposta (a-l) y tepojal -lombricomposta (t-l). Los * indican diferencias significativas.

Mes	Promedio del tamaño de la espina radial de <i>C. elephantidens</i>			Promedio del tamaño de la raíz primaria de <i>C. elephantidens</i>		
	a-l	t-l	<i>P</i>	a-l	t-l	<i>P</i>
1	0.721mm	0.776mm	0.3199	1.324cm	1.383cm	0.6724
2	1.141mm	1.478mm	0.0000*	2.413cm	2.507cm	0.3752
3	1.749mm	2.033mm	0.0000*	2.846cm	3.346cm	0.0001*
4	2.295mm	2.561mm	0.0001*	3.41cm	3.852cm	0.0001*
5	2.555mm	3.458mm	0.0001*	4.265cm	4.578cm	0.0322*
6	3.222mm	3.652mm	0.0001*	4.959cm	5.472cm	0.0321*

Cuadro 9. Promedio de altura y de diámetro (cm) del vástago de *C. elephantidens* en arena-lombricomposta (a-l) y tepojal-lombricomposta (t-l), arena-organodel (a-o) y tepojal-organodel (t-o). Los * indican diferencias significativas.

Mes	Promedio de altura (cm) del vástago de <i>C. elephantidens</i> por sustrato.					Promedio de diámetro (cm) del vástago de <i>C. elephantidens</i> por sustrato.				
	a-l	a-o	t-l	t-o	<i>P</i>	a-l	a-o	t-l	t-o	<i>P</i>
1	0.72	0.468	0.761	0.571	0.0005*	0.412	0.201	0.323	0.235	0.0001*
2	1.026	0.765	0.971	0	0.4938	0.544	0.304	0.504	0	0.001*
3	1.319	0.776	1.212	0	0.2164	0.735	0.307	0.709	0	0.0163*
4	1.816	0.824	1.7	0	0.045*	0.981	0.34	0.946	0	0.003*
5	2.186	0	2.063	0	0.4445	1.243	0	1.211	0	0.6346
6	2.681	0	2.599	0	0.6148	1.695	0	1.454	0	0.7506

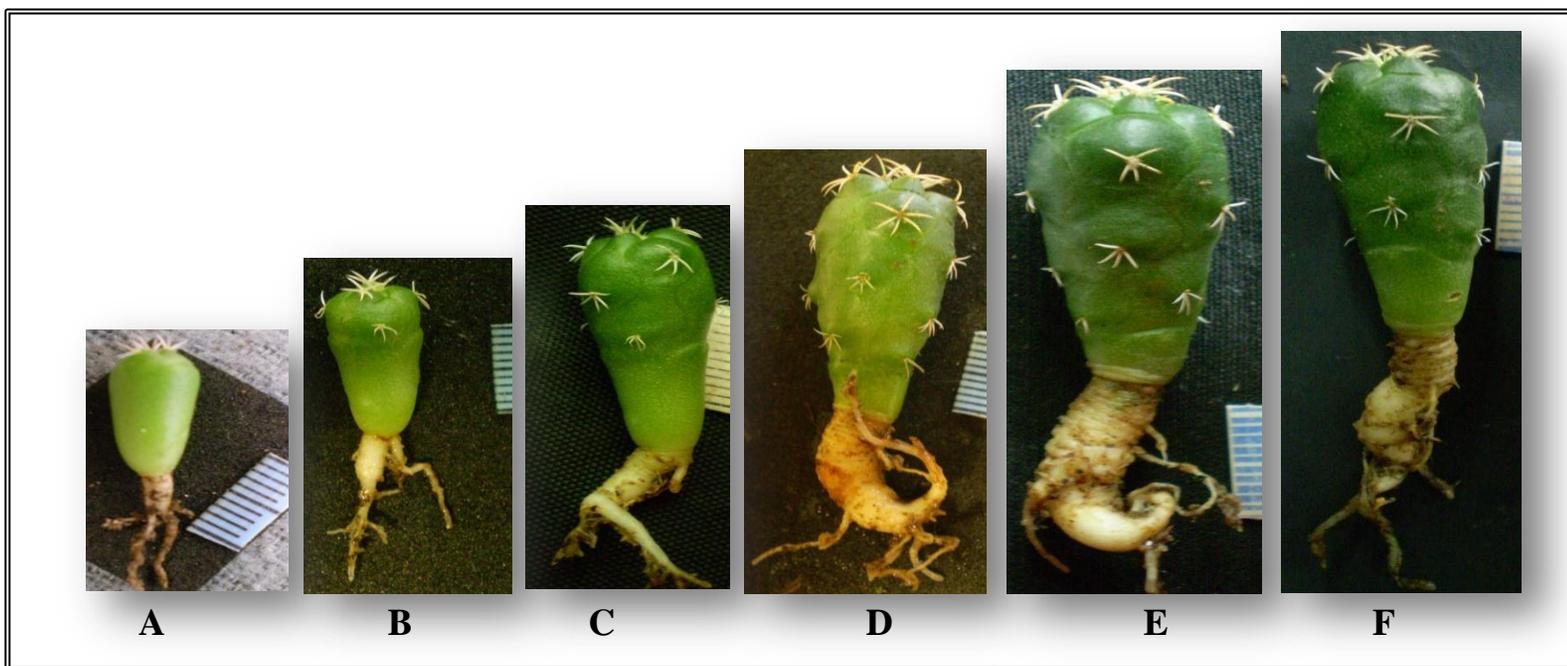


Figura 14. Crecimiento de *Coryphantha elephantidens* en sustrato arena-lombricomposta. A: primer mes. B: segundo mes. C: tercer mes. D: cuarto mes. E: quinto mes. F: sexto mes.

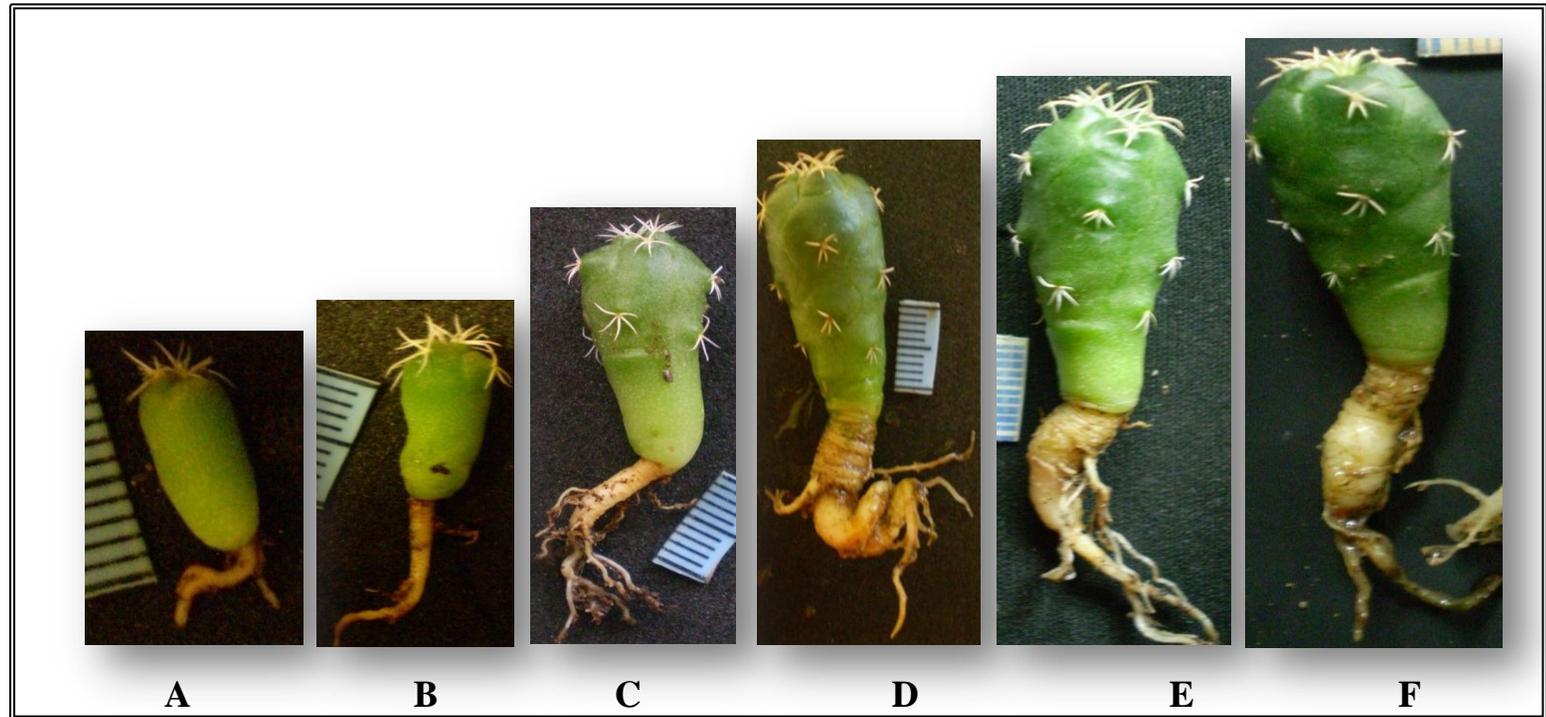


Figura 15. Crecimiento de plántulas de *Coryphantha elephantidens* en sustrato tepojal-lombricomposta. A: primer mes. B: segundo mes. C: tercer mes. D: cuarto mes. E: quinto mes. F: sexto mes.

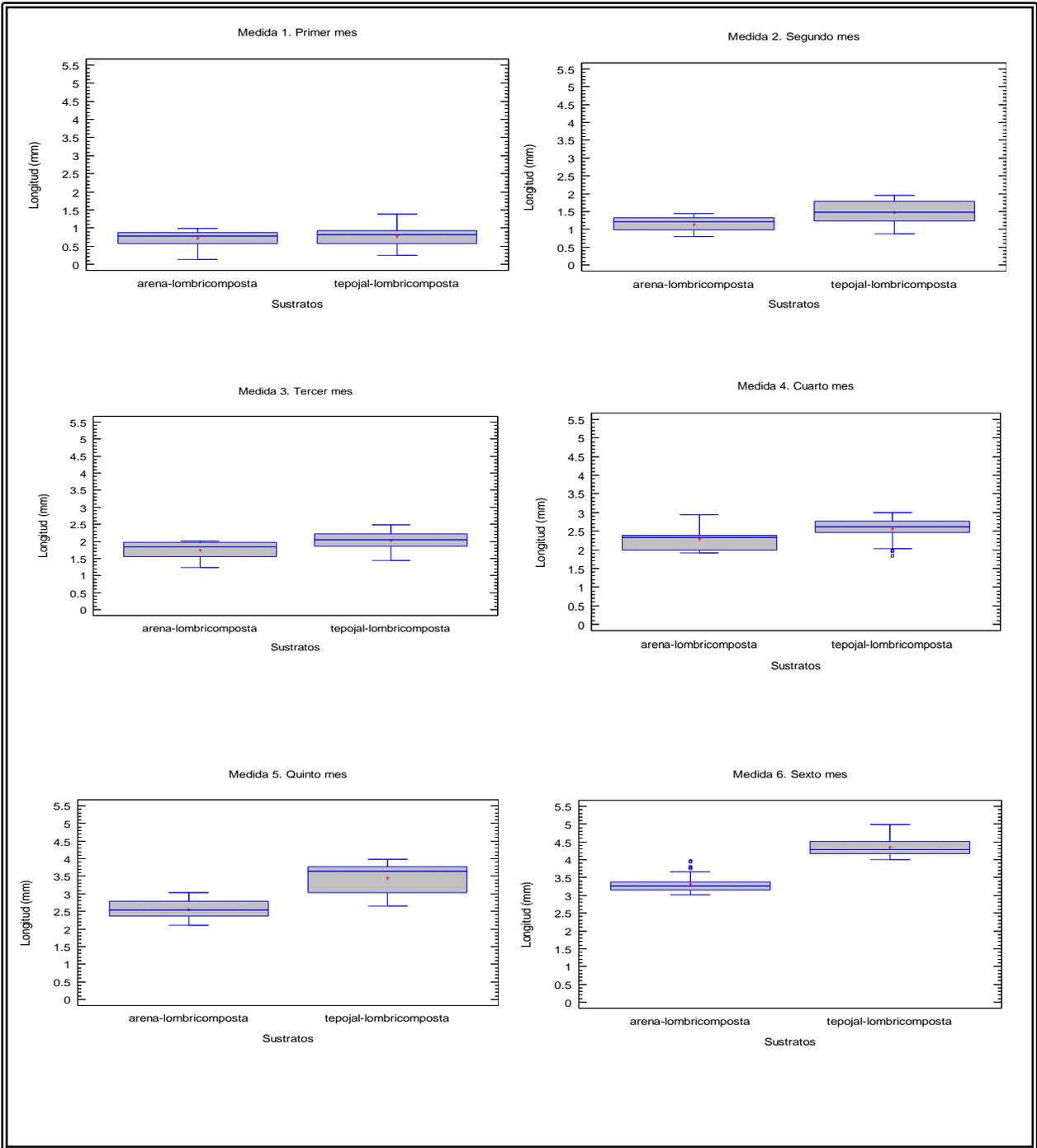


Figura 16. Diagrama de caja y bigote para la longitud de la espina radial de *Coryphantha elephantidens* en arena-lombricomposta y tepojal-lombricomposta durante seis meses de desarrollo.

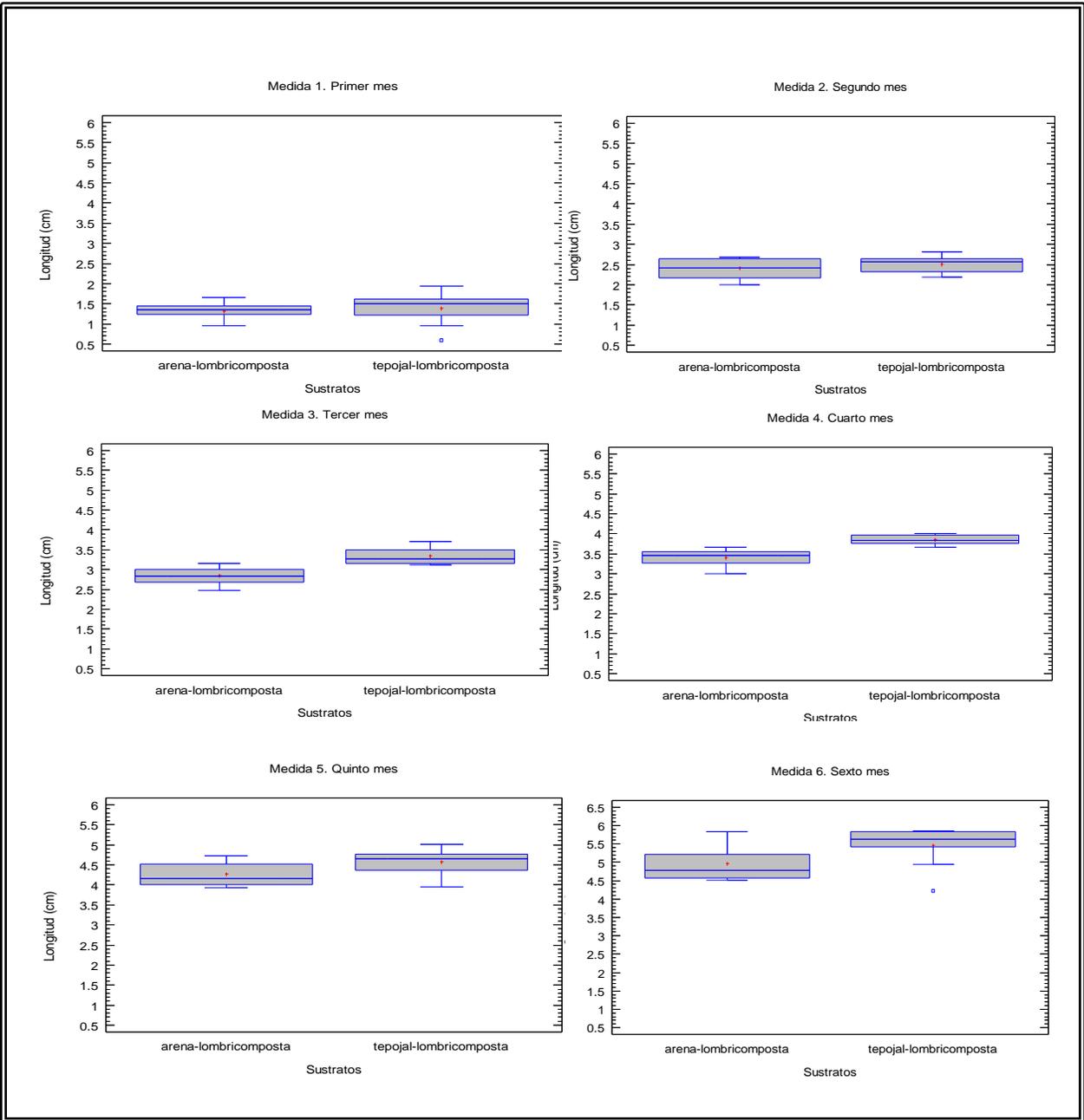


Figura 17. Diagrama de caja y bigote para la longitud de la raíz primaria de *Coryphantha elephantidens* en arena-lombricomposta y tepojal-lombricomposta durante seis meses de desarrollo

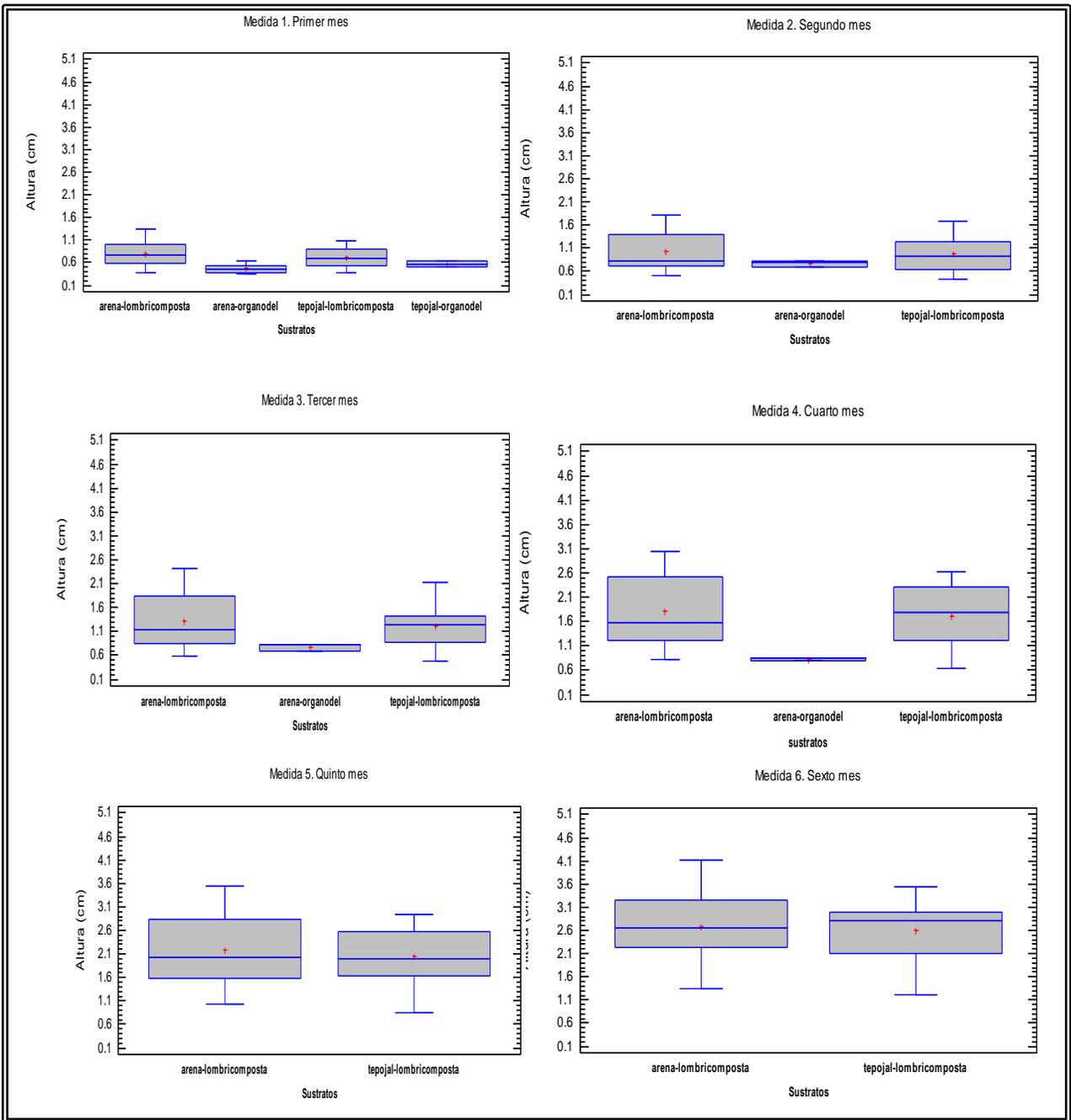


Figura 18. Diagrama de caja y bigote para la altura del vástago de *Coryphantha elephantidens* en arena-lombricomposta y tepojal-lombricomposta durante seis meses de desarrollo

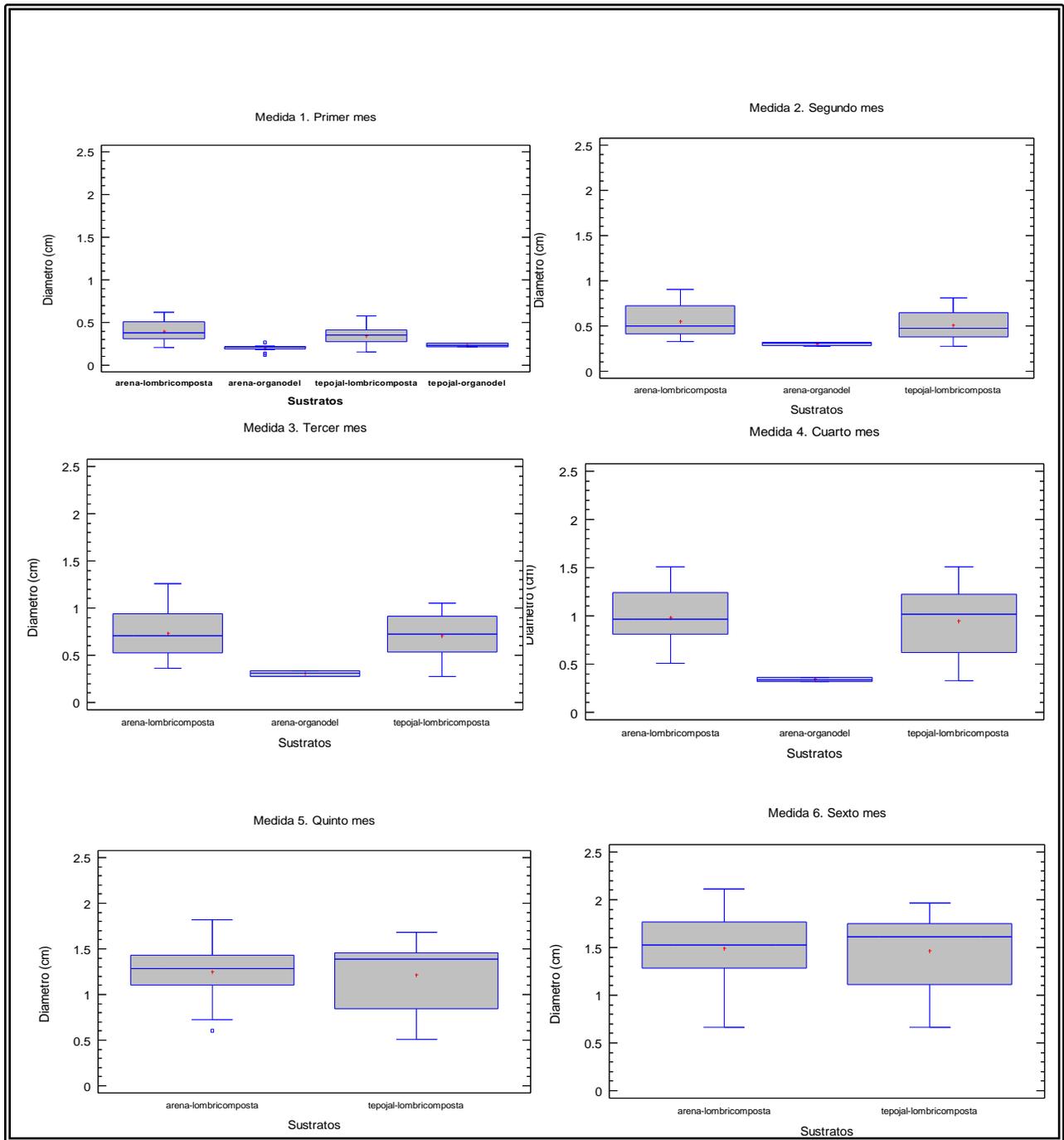


Figura 19. Diagrama de caja y bigote para el diámetro del vástago de *Coryphantha elephantidens* en arena-lombricomposta y tepojal-lombricomposta durante seis meses de desarrollo

La tasa de crecimiento relativo (TCR), registrada a través de la altura, fue ligeramente mayor para el sustrato con arena-lombricomposta. Sin embargo en las longitudes de diámetro, espina radial y raíz primaria fue ligeramente mayor en tepojal-lombricomposta (Cuadro 10), de igual forma no existe diferencia significativa para todas las variables.

Cuadro 10. Tasa de crecimiento relativo (TCR) medido en altura y diámetro y longitudes de las espinas radiales y de la raíz primaria en *Coryphantha elephantidens* en arena lombricomposta (a-l), tepojal-lombricomposta (t-l).

TCR	arena-lombricomposta	tepojal-lombricomposta	P
Altura	0.0525	0.0491	0.5249
Diámetro	0.0565	0.0600	0.4983
Espina radial	0.0598	0.0619	0.5023
Raíz primaria	0.0528	0.0550	0.5425

Las plantas de *C. elephantidens* supervivieron en los sustratos que contenían lombricomposta. En el sustrato tepojal-organodel solo supervivieron cinco plantas para el primer mes (Cuadro 11). En el sustrato tepojal-lombricomposta se presentó el mayor porcentaje de supervivencia con 82.85% (Figura 20).

Cuadro 11. Número de plantas supervivientes de *C. elephantidens* en los sustratos estudiados

MES	arena-lombricomposta	tepojal-lombricomposta	arena-organodel	tepojal-organodel
1	35	34	14	5
2	30	31	3	0
3	29	30	3	0
4	27	29	1	0
5	26	29	0	0
6	26	29	0	0

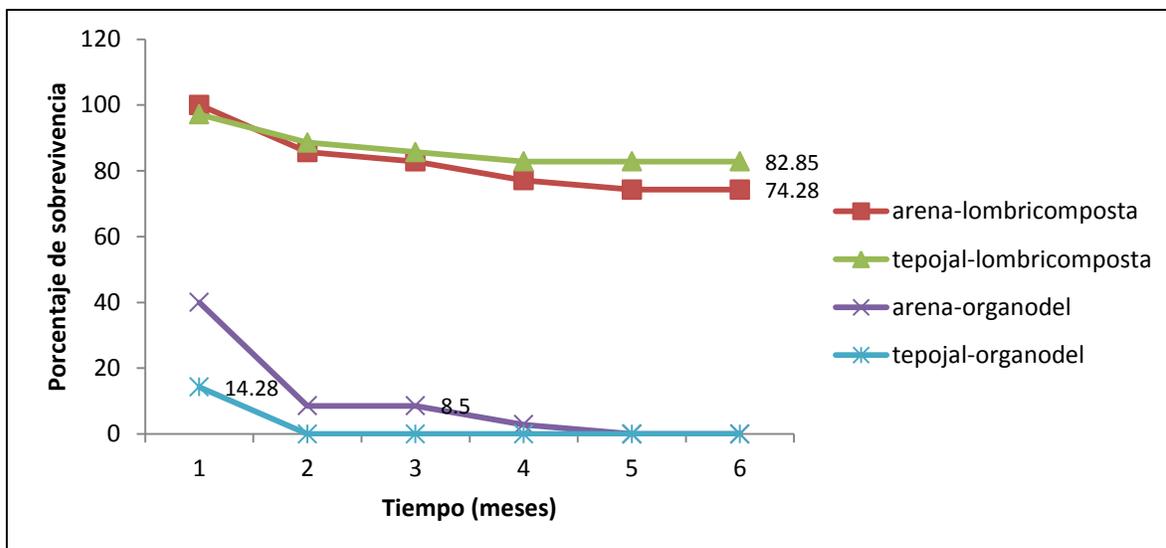


Figura 20. Porcentaje de supervivencia de *Coryphantha elephantidens* en los diferentes sustratos

Propiedades de los sustratos

Los valores de materia orgánica y capacidad para contener humedad fueron más altos en organodel. Las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio fueron mayores en el sustrato de organodel (Cuadro 12). El espacio poroso fue mayor en la lombricomposta.

Cuadro 12. Composición físico-química en lombricomposta y organodel

Sustratos	MATERIA ORGANICA (M.O.)	HUMEDA D	ESPACIO POROSO	NITRÓGENO (N)	FÓSFORO (P)	POTASIO (K)	CALCIO (Ca)	MAGNESIO (Mg)
lombricomposta	19%	15%	24%	2-3%	1-1.5%	1.5-1.8%	0.9%	0.67%
organodel	80%	52%	16%	3-4%	2-3%	3-4%	5%	0.81%

La densidad aparente fue mayor en arena-lombricomposta con 1.55g/cm^3 y el valor menor se obtuvo en tepojal-organodel. La mayor densidad real se registró en arena-lombricomposta con 1.88g/cm^3 . En espacio poroso (E.P.) fue mayor en tepojal-lombricomposta con 24.11%, mientras que en arena-Organodel presentó el valor menor con 14.28%. El intervalo de pH real encontrado en los sustratos fluctuó entre los 6.8 a 7.1, que corresponden a pH neutros. En capacidad de intercambio catiónico destacaron los mayores

valores en los sustratos que contenían organodel con concentraciones arriba de los 22 meq/100 g de suelo. El mayor registro de conductividad eléctrica se presentó en arena-organodel (2.43dS m^{-1}) (Cuadro 13).

Cuadro 13. Composición físico-químico de los diferentes sustratos antes de su empleo.

MEZCLA DE SUSTRATOS	Densidad Aparente (g/cc)	Densidad Real (g/cc)	Espacio poroso (%)	pH Real	pH Potencial	C.I.C. meq/100g	C.E. dS m^{-1}
Arena-lombricomposta	1.55	1.88	21.29	6.9	7.1	15	0.97
Arena-organodel	1.26	1.44	14.28	7.05	7.7	27.3	2.43
Tepojal-lombricomposta	1.41	1.75	24.11	6.8	7	9.5	1.11
Tepojal-organodel	1.22	1.43	17.21	7.1	7.5	22.8	2.37

En el cuadro 14 se muestran las propiedades físico-químicas de los sustratos empleados, los cuales fueron menores con respecto a los sustratos sin empleo en el estudio. El valor más alto en densidad aparente se registró en las mezclas que contienen lombricomposta. De igual forma se presentó este comportamiento con los valores de densidad real con respecto a los sustratos mencionados. La variable de espacio poroso (EP) fue mayor en tepojal-lombricomposta con respecto al análisis de los sustratos antes de usarse. Por otra parte el rango de pH real fluctuó entre los 7.3 a 8.6, donde el pH medianamente neutro se registró en arena-lombricomposta. El más alcalino fue en tepojal-organodel. Asimismo el valor de pH potencial fue mayor en arena-organodel. La capacidad de intercambio catiónico, fue mayor principalmente en las mezclas de organodel, en contraste con los sustratos que contenían lombricomposta.

Cuadro 14. Composición físico-química en arena-lombricomposta, arena-organodel, tepojal-lombricomposta y tepojal-organodel con uso

MEZCLA DE SUSTRATOS	Densidad Aparente (g/cc)	Densidad Real (g/cc)	Espacio poroso (%)	pH Real	pH Potencial	C.I.C. meq/100g	C.E. dS m^{-1}
Arena-lombricomposta	1.21	1.45	19.83	7.3	7.5	21.8	1.64
Arena-organodel	0.88	1.02	15.90	8.2	8.8	32.7	3.86
Tepojal-lombricomposta	1.5	2	33.33	7.4	7.6	17.4	2.75
Tepojal-organodel	0.86	1.01	17.44	8.6	8.7	31.6	5.41

DISCUSIÓN

Caracterización de frutos y semillas

Son escasos los estudios que documentan sobre la variación del número de semillas de cactáceas por fruto para especies endémicas de México (Álvarez- Godínez *et al.*, 2004). Sin embargo, Rojas-Aréchiga (1995), documenta que la mayoría de las cactáceas producen de 1 a 1000 semillas como un mecanismo de defensa, debido a que algunos animales silvestres las utilizan en su alimentación. De acuerdo con Barthlott y Hunt (2000), el tamaño de las semillas de *C. elephantidens* se catalogan como grandes. Con base en la relación largo/ancho de *C. elephantidens* son ligeramente ovals, lisas con micro-relieve reticulado. Presentan hilo basal el cual se encuentra separado del micrópilo por una banda de esclereidas.

Cuando el tamaño de las semillas es grande, se obtienen porcentajes de germinación mayores. Se espera una respuesta contraria con las semillas pequeñas que posiblemente requieren de más tiempo para alcanzar su madurez fisiológica (Rojas-Aréchiga y Vásquez-Yanes, 1999). El tamaño de las semillas está relacionado con la cantidad de nutrimentos reservados que serán utilizados en etapas posteriores del desarrollo (Baskin y Baskin, 2001). Asimismo las semillas grandes tienen mayor capacidad que las pequeñas de germinar cuando están enterradas y posteriormente emerger del suelo al tener mayor reserva de nutrimentos (Leishman *et al.*, 2000). Así, Sánchez-Salas *et al.*, (2006) reportaron para *Astrophytum myriostigma*, niveles de germinación más altos en semillas más grandes, probablemente debido a la mayor concentración de nutrimentos en las mismas. También Ayala-Cordero y colaboradores, 1994, indicaron que semillas de menor tamaño de *Stenocereus beneckeie* respondieron diferencialmente a la germinación. Se registraron niveles adecuados en las pruebas de germinación para las semillas de *Coryphantha elephantidens*.

En este estudio se encontró una relación entre el ancho del fruto y la cantidad de semillas *C. elephantidens*. Asimismo se registró entre 21 y 68 semillas por fruto de *C. elephantidens*. Dalling (2004), indica que el número de semillas está relacionado con la formación de banco de semillas, ya que induce la sobrevivencia de la planta ante las condiciones de campo con las que se enfrenta. Posiblemente los frutos más anchos de *C.*

elephantidens sean preferidos por los dispersores al consumirlos y favorezcan de esta manera una dispersión eficiente de las semillas.

Prueba de viabilidad con TTC

Los valores obtenidos muestran que el 89% de las semillas de *C. elephantidens* son viables. En plantas silvestres se presentan viabilidades que pueden ser desde menos de 10% hasta más del 90%, en respuesta a las condiciones ambientales y al tiempo de recolección de la semilla (Jiménez y Flores, 2010).

Las semillas con menos del 50% no coloreada del embrión, indicaron pérdida de la viabilidad (Cuadro 4). Este análisis indican que solo un 11% de las semillas de *C. elephantidens* no son viables desde un principio causada por una inmadurez o muerte del embrión (Rojas-Arechiga y Vásquez-Yanes, 1999). La prueba de viabilidad conjuntamente con las pruebas de germinación y la determinación de la latencia por medio de los tratamientos pregerminativos nos permite establecer categorías de semillas viables, inviables, vanas y semillas latentes y quiescentes.

Germinación

El porcentaje de germinación de *Coryphantha elephantidens* obtenido en este estudio fue de 92%. Gelista (2008), obtuvo 43% en condiciones de invernadero. Buxbaum y Kurtz (1950), mencionan algunos aspectos morfológicos acerca de las semillas de este género, entre ellos, la delgada testa que presenta, lo cual facilita la absorción de agua para su activación metabólica y la emergencia de la radícula. La testa delgada en las semillas representa un indicio de la quiescencia de las mismas. Contrariamente las cubiertas duras, gruesas e impermeables son signos de presencia de latencia (Baskin y Baskin, 2001).

Ruedas *et al.*, (1999), obtuvo para *Mammillaria magnimamma* un porcentaje de germinación superior a 90% bajo condiciones de luz y temperaturas fluctuantes y constantes. Valverde-Valdés (1988), reportó que los porcentajes de germinación de cinco especies de cactáceas, no se vieron afectados con la inmersión en HCl durante una hora. Estos resultados son similares a los obtenidos en este estudio, lo que indican que no es necesario aplicar métodos que induzcan la germinación en semillas con características similares. Al respecto Rojas-Arechiga y Vásquez-Yanes (1999), sugirieron que algunas semillas de cactáceas no requieren escarificación debido a que son capaces de absorber

humedad por sí mismas ya que tienen un embrión medianamente maduro capaz de germinar una vez que haya la suficiente humedad y la temperatura adecuada.

Cabe mencionar que durante la germinación, 20% de semillas murieron momentos después de germinar. Baskin y Baskin (2001), mencionan que algunas semillas son sembradas antes de que el embrión madure, lo que nos dice que está puede expandirse y crecer como si fuera a germinar; sin embargo muere, debido a que el embrión inmaduro es susceptible al ataque por hongos. Esta condición explicaría probablemente la muerte prematura de la semilla germinada.

Se considera que una manera de realizar conservación es a través de la propagación por semillas. Así, en este estudio se realizaron pruebas de germinación de semillas de *Coryphantha elephantidens*, almacenadas durante un año con el fin de promover la conservación *ex situ* de la población. Se han encontrado que algunas especies de cactáceas presentan mayor germinación en semillas de 1 año o más que en semillas recién colectadas (Sánchez-Salas *et al.*, 2006), así como especies que tienen la capacidad de germinar de manera similar con semillas recién colectadas y con semillas de 1 o 2 años de edad, lo cual sugiere que estas especies pueden formar bancos de semillas en el suelo, lo cual ayudaría a su supervivencia.

Tratamientos pregerminativos (Latencia)

Los 94% de germinación obtenidos con tratamientos pre-germinativos indican que las semillas solo necesitan de la presencia de agua para activar la germinación (Vásquez-Yanes, *et al.*, 1997). La hidratación sensibiliza a las semillas para que puedan responder a otros factores ambientales y la entrada de agua desencadena los procesos de germinación que conduce al desarrollo del embrión y a la posterior emergencia de la radícula a través de la testa (Dalling, 2004).

En conjunto con el 89% de viabilidad presente en las semillas de *C. elephantidens* evaluadas con la prueba bioquímica del TTC, muestra que estas semillas no presentan latencia. Al proporcionarle a las semillas las condiciones de humedad y temperatura apropiadas, estas germinaron sin la necesidad de tratamientos para romper la latencia, dejando ver que la semilla no presentaba una testa dura, impermeable, embrión rudimentario o la presencia de inhibidores (Dalling, 2004).

Desarrollo

Se observó que las estructuras morfológicas de *Coryphantha elephantidens* se desarrollaron satisfactoriamente en los sustratos que contenían lombricomposta. Sin embargo las propiedades físicas y químicas de los componentes de los sustratos influyen en el desarrollo específico de determinadas estructuras. La lombricomposta posee nutrientes suficientes para un desarrollo óptimo (Scherer, 2013). Cabe mencionar que en la mezcla de tepojal-lombricomposta después de su uso se observó un 33.3% de espacio poroso (Cuadro 14). Esta condición ayudo a mejorar la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrimentos hacia las plantas.

De igual manera se estableció una adecuada infiltración e intercambio catiónico, lo que favoreció absorber los nutrimentos. Por otra parte la lombricomposta contiene 19% de materia orgánica (Cuadro 12), característica que influye en una buena aireación y un control neutro de pH, para ambas mezclas. Como ya se había mencionado, un pH adecuado favorece a una administración y asimilación favorable de los nutrientes, los cuales a su vez repercuten en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Enríquez *et al.*, 2005). Las características de los sustratos de lombricomposta posibilitan a las plántulas alcanzar mayor desarrollo y crecimiento, lo cual es un indicador del estado vigoroso de las mismas.

Crecimiento

Las plántulas que crecieron en arena-lombricomposta presentaron mayor promedio en altura y diámetro. Tuvieron una supervivencia de 74.28%. En contraste, las plántulas cuyo sustrato fue tepojal-lombricomposta, crecieron ligeramente menos pero con mayor capacidad de establecimiento, es decir, tuvieron mayor supervivencia (82.85%). El mayor crecimiento de las espinas en tepojal tiene un efecto positivo sobre la supervivencia y establecimiento de las plántulas (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991), debido a que el factor luz está estrechamente relacionado con la temperatura y por consecuencia con la evaporación de agua. En este sentido después de las primeras semanas de crecimiento de las plántulas, se desarrollan pubescencias y espinas, las cuales producen auto-sombra, ayudando a generar medios pasivos para el control de la temperatura. Cornejo *et al.*, (2003) sugirieron que para que el establecimiento de las plántulas se lleve a cabo, se requiere una serie de condiciones ambientales como temperatura, luz, humedad y nutrimentos, que les

asegure un sitio seguro para establecerse y crecer. Así el crecimiento de *Coryphantha elephantidens* se favoreció en los sustratos que contenían lombricomposta.

Cabe decir que los experimentos se realizaron en condiciones de invernadero, donde la intensidad de luz puede ser controlada al igual que la humedad. Estas circunstancias combinadas permitieron un buen crecimiento para las mezclas de lombricomposta. La forma esférica de las plantas maximiza el volumen por unidad de área de superficie y por lo tanto favorece la supervivencia cuando la humedad del suelo es baja. Sin embargo, la proporción pequeña de volumen y superficie de las plántulas, así como la transición de una nutrición heterótrofa a una autótrofa hace que esta etapa sea la más vulnerable (Jordan y Nobel, 1982). De manera que la baja disponibilidad de humedad puede afectar solo a las plántulas expuestas totalmente a la radiación solar. Los resultados de supervivencia indican que durante los tres primeros meses se presenta el desarrollo más vulnerable para las plántulas de *C. elephantidens*. Se observó que la mortalidad de las plántulas que se encontraban en las mezclas de organodel fue alta para los primeros meses, sin embargo no afectó su supervivencia en los sustratos con lombricomposta. En el cuarto mes, en los sustratos que contenían tepojal-lombricomposta se obtuvo un 82.85% de supervivencia. Esto indica una adecuada funcionalidad de la especie bajo las condiciones de este sustrato.

Asimismo, Gelista (2008), evaluó el crecimiento de varias cactáceas entre ellas *C. elephantidens* durante cuatro meses. Obtuvo un crecimiento 2.69cm de altura y 0.72cm de diámetro. Estos resultados son comparables con los que se obtuvieron en esta investigación durante los primeros cuatro meses de estudio. La altura fue de 1.816cm y 0.981cm de diámetro. Estas diferencias quizás se deban al uso de un sustrato cuyas propiedades favorecieron más el desarrollo plantular, como la mezcla conformada por tierra de hoja cernida, tierra lama y tezontle fino.

De igual forma es posible comparar su patrón de desarrollo con especies de la tribu Cactaeae que cuentan con datos de desarrollo temprano como *Ferocactus acanthodes*, que crecen cerca de 1.5cm de altura en un año en condiciones de invernadero (Jordan y Nobel, 1981). *Mammillaria magnimama* crece 0.6cm de diámetro en cinco meses de vida (Ruedas et al., 2000). Esta última especie es similar morfológicamente en estado juvenil y comparten la forma globosa de sus tallos. Las variaciones en crecimiento de las plantas de

C. elephantidens indican que la combinación de factores como temperatura y humedad, fueron favorecidos o no por propiedades de los sustratos.

De igual forma la tasa de crecimiento de las plántulas de *C. elephantidens* fue mayor en los sustratos que contuvieron lombricomposta quizás por la concentración y disponibilidad de nutrimentos que contiene. El nitrógeno y el fósforo debieron tener un impacto positivo en virtud de que están asociados con el crecimiento vegetativo rápido y con el desarrollo radical lo que a su vez facilita la asimilación de los nutrimentos al disponer de mayor área para su absorción. El potasio tiene efectos sobre el desarrollo de tallos fuertes y vigorosos que contribuyen a aumentar la resistencia a la sequía (Cerón y Aristizabal, 2012). El crecimiento de las especies de *Coryphantha* en general es lento ya que requieren de tiempo para alcanzar la edad reproductiva (Dicht y Lüthy, 2005). Esto se debe a su metabolismo CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas), que implica el desarrollo de estrategias fisiológicas que evitan la pérdida de agua durante el día través de los estomas, para obtener CO₂, durante la noche, cuando baja la temperatura y se incrementa la humedad ambiental la transpiración no es demasiado intensa. De modo que lo que le sucede a las cactáceas durante su desarrollo temprano es importante, ya que depende de su capacidad para responder a cambios en el ambiente mediante la asignación de recursos para su crecimiento y reproducción.

Propiedades de los sustratos

La presencia de nutrimentos es el principal factor que afecta las tasas de crecimiento de *C. elephantidens*, pues este parámetro se vio favorecido en los sustratos que contenían lombricomposta. En este sentido el suelo juega un papel importante en el crecimiento de las plántulas, ya que en él se encuentran 14 de los 16 nutrimentos esenciales para su desarrollo (Thompson y Troeh, 1988).

El sustrato Organodel tiene 80% de materia orgánica. Esta característica es de esperarse ya que procede de la combinación de estiércol de aves, bovinos, residuos orgánicos y vegetales. Las mezclas de este sustrato propiciaron la muerte de los organismos, diferenciándose de manera significativa de resto de los tratamientos. Las altas temperaturas que se registraron en condiciones de invernadero (35-40C^o), ocasionó la muerte de los organismos necesarios para la descomposición de la materia orgánica. La descomposición de la materia orgánica y la liberación de CO₂ son procesos aeróbicos lo

que significa que los microorganismos necesitan de oxígeno. El riego y las condiciones de invernadero aceleraron este proceso transformándolo en un anaeróbico (ausencia de oxígeno) y por ende ocasionaron una reducción del porcentaje del espacio poroso y la putrefacción de la materia orgánica, llegando el momento en el que las plantas de *Coryphantha elephantidens* absorbieron demasiada agua a través de sus raíces y mueren por falta de oxígeno que impide que las células de la raíz respiren. Esta característica física es considerada entre las más importantes, ya que facilitan el crecimiento radical y la dinámica del aire y del agua que ayuda a su vez al crecimiento y desarrollo de un cultivo (Cabrera, 1999).

Un pH inadecuado, es una acción por la cual no se pueda desarrollar y crecer adecuadamente una planta y puede impedir la correcta absorción de los nutrientes, bien porque éstos no se encuentran disueltos en el suelo o bien porque las raíces se muestran incapaces de absorberlo. Lo que sugiere que los micro-nutrientes son menos absorbibles con suelos alcalinos (Mortvedt *et al.*, 1983). En el caso del cultivo de cactáceas, se recomienda un sustrato con pH neutro aunque podría soportar pH medianamente ácido (6.5) (Bravo-Hollis 1978). Los sustratos tuvieron un ligero cambio a medianamente alcalino después de usarse. Una posible causa fue que se haya humedecido el suelo con agua corriente (con contenido de carbonato de sodio). Se encontró un aumento de pH de hasta 8.7 y 8.8 en el caso de organodel.

El intercambio de cationes es determinante en la nutrición vegetal ya que es una medida importante de la fertilidad y de la productividad potencial de los suelos. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas: K, Mg, Ca, son importantes para el crecimiento vegetal debido a que son constituyentes de moléculas estructurales o de proteínas relacionadas con diversas reacciones metabólicas. La CIC de los sustratos evaluados está estrechamente relacionada con el pH. Mientras mayor sea el pH más elevada será la CIC. Existen valores altos de CIC, lo cual significa una elevada capacidad de almacenar nutrientes y por lo tanto un riesgo menor de la pérdida de estos por lixiviación. Sin embargo, los sustratos de Organodel tienen mayor CIC pero no mostraron una fertilidad para el desarrollo de las plántulas de *C. elephantidens*, por lo que el contenido de los cationes asimilables es demasiado bajo, debido a la rotura de la estructura de los cationes por la hidrólisis y por la acción de los

ácidos orgánicos que actúan como donadores de H^+ . Estos procesos ocasionan la aparición de arcillas, óxidos e hidróxidos de hierro o aluminio o de igual forma otros iones como Na^+ y Mg^{2+} , los cuales son liberados a la solución del suelo y que no estén disponibles para las plantas (Urbano y Rojo, 1992).

El rango de conductividad eléctrica requerido para un adecuado crecimiento del cultivo se encuentra entre 1,5 a $3dSm^{-1}$, dependiendo de la especie (Carrasco e Izquierdo, 1996). En arena-lombricomposta se presentó un valor de $1.51dSm^{-1}$ y en tepojal-lombricomposta fue de $2.97dSm^{-1}$. Warncke (1988) recomienda que la CE no deba exceder $3dSm^{-1}$. En este estudio, los sustratos evaluados se encuentran dentro de los parámetros requeridos con excepción de las mezclas que contienen organodel ya que tuvieron valores de hasta $5.41dSm^{-1}$ lo cual significa que este sustrato tiende a salinizar la mezcla. Al sobrepasar los $3dSm^{-1}$ la absorción de agua y por ende la de nutrimentos, disminuye afectando así el crecimiento de la plántula (Leopoldo *et al.*, 2006).

Las plántulas que crecieron en arena-lombricomposta presentaron mayor crecimiento en las variable de altura y diámetro, sin embargo fue mayor la mortalidad de organismos en esta mezcla, lo que indica que las plántulas de *Coryphantha elephantidens* fueron susceptibles a una mayor humedad. Esto se debió a que la arena mezclada con lombricomposta provoca la disminución del espacio poroso y por ende una menor aireación. En contraste, las plántulas cuyo sustrato fue tepojal-lombricomposta, crecieron ligeramente más lento, pero con mayor promedio en tamaño de espinas radiales y raíz primaria. Esto se deba quizás al tamaño de partículas, que provoca una mayor capacidad de aireación y filtración de agua. Para ambas mezclas conformadas por lombricomposta fue importante la obtención de nutrimentos a través de la materia orgánica (M.O). La disponibilidad de dichos nutrimentos depende de varios factores, y es el contenido y calidad de la materia orgánica presente uno de los más determinantes (Félix *et al.*, 2008).

La lombricomposta contiene 19% de M.O, característica que ayudo a una buena aireación y un control neutro de pH, para ambas mezclas. Un pH adecuado favorece a una administración y asimilación favorable de los nutrimentos, los cuales favorecerán al crecimiento y desarrollo de las plantas (Enriquez *et al.*, 2005). Resultados obtenidos por Scherer (2013), señalan que las mezclas de sustratos logran una mejoría en una o más propiedades del material original, y es muy difícil encontrar en la naturaleza un material

que, por sí solo satisfaga todas las exigencias de un sustrato ideal, sin embargo, las características de los sustratos de lombricomposta posibilita a las plántulas alcanzar mayor grosor de tallo que es un indicador del estado vigoroso de una plántula. Así, la lombricomposta posee nutrimentos suficientes que favorecen el crecimiento y desarrollo de las plántulas *Coryphantha elephantidens*. Resultados similares obtuvieron Sandó *et al.*, (2006), quienes utilizaron la lombricomposta como sustrato en especies ornamentales. La lombricomposta se recomienda para usarse sola o en mezcla con otros sustratos. Su acción es favorable, debido a que tiene la capacidad de reactivar los procesos microbiológicos, mejorando simultáneamente su estructura, aireación y capacidad de retención de humedad del suelo, además actúa como regulador de la temperatura (Scherer, 2013).

CONCLUSIONES

- ❖ La morfología de las semillas de *Coryphantha elephantidens* y el conocimiento de su biología de la germinación conjuntamente con el conocimiento de la viabilidad permitieron establecer que el lote estudiado de semillas de esta especie no desarrolló latencia.
- ❖ Se presentó 82.85% de supervivencia a partir del cuarto mes en la mezcla tepojal-lombricomposta. Los resultados de supervivencia indican que la etapa más vulnerable para las plántulas de *C. elephantidens* es en los primeros tres meses de vida.
- ❖ El crecimiento y desarrollo plantular de *C. elephantidens* se vio favorecida en los sustratos que contenían lombricomposta, probablemente sus características físico-químicas ayudaron a una adecuada disponibilidad de nutrimentos, lo cual contribuyó a su establecimiento en condiciones de invernadero.
- ❖ *Coryphantha elephantidens* se encuentra amenazada y pertenece a las poblaciones con distribución restringida por lo que se conoce poco de su biología y su descripción morfológica nos permite conocer las características más sobresalientes para su propagación, conservación y establecimiento.
- ❖ La germinación no garantiza que las plántulas sobrevivan y que se establezcan, no obstante este estudio permite sugerir técnicas de propagación para incrementar y facilitar la recuperación en especial de esta cactácea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez M. G y Montaña C. 1997. Germinación y supervivencia de cinco especies de cactáceas del Valle de Tehuacán: implicaciones para su conservación. *Acta Botánica Mexicana*. 40: 43–58.
- Álvarez R., Godínez H., Guzmán U. y Dávila P. 2004. Aspectos ecológicos de dos cactáceas mexicanas amenazadas: implicaciones para su conservación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 75: 7-16.
- Ayala-Cordero G., Terrazas T., López-Mata L., y Trejo C., 1994. Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckei*. *Interciencia*. 29: 692-697.
- Barthlott W., y D. R. Hunt. 2000. Succulent Plant. Seed-diversity in the Cactaceae subfam. Cactoideae. David Hunt (Ed.). Sherborne. Research 5
- Baskin C. C., Baskin J .M. 2001. *Seeds Ecology, Biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Edit. Academic Press. San Diego California E.U.
- Bravo-Hollis H., 1978. *Las cactáceas de México*. Vol. I. Instituto de Biología. México D.F.
- Bravo-Hollis H. y Sánchez-Mejorada, H. 1991. *Las cactáceas de México*. Vol. II. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- Bravo-Hollis H. y L. Scheinvar. 1999. *El interesante mundo de las cactáceas*. CONACYT y Fondo de Cultura Económica. México D.F.
- Bregman R. y Bouman F. 1983. Seed germination in Cactaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 86: 357-374.
- Buxbaum F. y E. Kurtz 1950. *Morphology of cacti*. Abbey Garden Press. California.
- Cabrera R., I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo-Serie Horticultura*. 5: 5-11

- Carrasco G. y Izquierdo F. 1996 Comparison of extraction methods for the rapid determination of essential oil content and composition. *Journal America Hort. Soc.* 115: 458-462
- CITES 2014. Cactaceae Checklist. Royal Botanical Gardens & International Organization for Succulent Plant Study, Kew.
- Cerón L, y Aristizábal F. 2012. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología.* 14: 285-295.
- Cornejo S, Terrazas T, Matay L y Trejo C. 2003. Características morfo-anatómicas y metabolismo fotosintético en plántulas de *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae): su significado adaptativo. *Interciencia.* 28: 83-89
- Cullmann W., Gotz E., y Groner G. 1986. *The Encyclopedia of Cacti.* Editorial Alphabooks. Alemania.
- Dalling, J.W. 2004. The fate of seed banks: factors affecting seed survival for light-demanding species in tropical forests. In *Seed Fate: Predation, dispersal and seedling establishment* Editorial CABI, Wallingford, Lóndres.
- Dicht, R. F. & A. D. Luthy. 2005. *Coryphantha.* Cacti of Mexico and Southern USA. Springer Stuttgart.
- Enríquez M., Pérez J., Gascó J. M. y Rodríguez O. 2005. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico en arena, usando acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio. *Bioagro.* 17. 59-62.
- Félix J. A., Sañudo R. R., Rojo G. E., Ruiz R. M., y Portugal V. O., 2008. Importance of organic manures. *Ra Ximhai CINVESTAV.* 4. 57-67.
- Fuentes M. V. 2003. Reintroducción de *Coryphantha elephantidens* (Lem.) Lem. a partir de plántulas propagadas in vitro. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco Edo. de México.
- Gelista G. B. 2008. Descripción morfológica desde la germinación hasta su transplante de tres especies de cactáceas amenazadas (*Astrophytum ornatum*, *Cephalocereus senilis* y *Coryphantha elephantidens*) y evaluación de la germinación. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. México D.F.

- Godínez-Álvarez H. y Valiente-Banuet A. 1998. Germination and early seedling growth of Tehuacán Valley cacti species: the role of soils and seed ingestion by dispersers on seedling growth. *Journal of Arid Environments* 39: 21–3.
- Guzmán, U., Arias S. y Dávila P. 2003. *Catálogo de Cactáceas Mexicanas*. UNAM-CONABIO. México, D.F.
- Hernández, H. y Godínez H. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana*. México. 26: 33-52.
- ISTA. 2009. *Handbook on seedling evaluation*. ISTA Germination Committee, Don Ronnie. Bassersdorf.
- Jackson L.M. 1970. *Análisis químico de suelos*. Omega. Barcelona.
- Jimenez, A. y Flores, J. 2010. Effect of light on seed germination of succulent species from the southern Chihuahua Desert: comparing germinability and relative light germination. *División de Ciencias Ambientales, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica*. San Luis Potosí. México.12: 12-19
- Jordán P. W. y Nobel P. S. 1981. Seedling establishment of *Ferocactus acanthodes* in relation to drought. *Ecology*. 62: 901-906.
- Jordán P. W. y Nobel P. S. 1982. Height distributions of cacti in relation to rainfall, seedling establishment, and growth. *Biology*. 143: 511-517.
- Leishman M., Wright I.J., Moles A.T., y Westoby M. 2000. *The Evolutionary Ecology of seed size*. 2da ed. 2: 31-57.
- Leopoldo P. R., Velázquez - Alcaraz T. de J., Acosta-Villegas B., y Angulo-Gaxiola C.E 2006. Extractos vegetales y su efecto en la conductividad eléctrica en dos suelos salinos y de soluciones. *Terra latinoamericana*. 24. 83-89.
- Mortvedt J.J., Giordano P.M. y Lindsay W.L. 1983. *Micronutrientes en la Agricultura*. Editor AGT. México.
- Muro P. Gisela. 2011. *Asociaciones nodriza-protegida y germinación de cactáceas en Durango y Tamaulipas*. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias con especialidad en Recursos Naturales. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Nobel P.S. 2002. *Cacti biology and uses*. University of California Press

- Rojas-Arechiga, M. 1995. Estudios sobre la germinación de cactáceas del valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología). UNAM México.
- Rojas-Arechiga, M. y Vázquez-Yanes C. 1999. Cactus seed germination: a review. *Journal of Arid Environments*. Instituto de Ecología, UNAM, México. 44: 85–104.
- Rojas-Arechiga M., M.C. Mandujano y Jordan K.G. 2012. Seed size and photoblastism in species belonging to tribe Cactaeae (Cactaceae). *J Plant Res* Springer p.14. Published online 2012.
- Ruedas, M., T. Valverde y S. Castillo. 2000. Respuesta germinativa y crecimiento de plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae) bajo diferentes condiciones ambientales. *Boletín de Sociedad Botánica México*. 66:25-35.
- Ruedas M. 1999. Germinación y crecimiento temprano de *Mammillaria magnimamma*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias UNAM México D.F
- Ruvalcaba-Ruiz D., Rojas-Bravo D., Valencia-Botín A.J. 2010. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 12 (2010): 139 – 143,
- Sandó N. D., Soto, R. y Casanova, A.2006. Growing media for ornamental plants. 3 UNSW Press. Lóndres.
- Sánchez-Salas J., Flores J. y Martínez-García E. 2006. Efecto del tamaño de semilla en la germinación de *Astrophytum myriostigma*. *INTERCIENCIA* 31: 331.371
- Scherer H.W. 2013 Compost as growing media component for salt-sensitive plants. *Act Horticulture*. 59: 214-220.
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana. NOM-059-ECOL-2010. Diario Oficial de la Federación. 2a Sección. México, D.F.
- Thompsom L. M. y Troeh F. R. 1988. Los suelos y su fertilidad. Editorial. Reverte.
- Urbano Terrón P. y Rojo Hernández C. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ediciones Mundi Prensa.
- Valiente-Banuet A. y Ezcurra E. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacán Valley, México. *Journal. of Ecology*.79: 961-971

- Valverde-Valdés M.T. 1988 Germinación de algunas especies pioneras de cactáceas en dunas costeras del golfo de México. Tesis de licenciatura facultad de ciencias UNAM México D.F
- Vázquez-Yanes, C., A. Orozco, M. Rojas, M. Sánchez y M. Cervantes. 1997. La reproducción de las plantas. Semillas y meristemos. SEP-FCE-CONACYT. México D.F.
- Warncke D. D. 1988. Recommended test procedure for greenhouse growth media. Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region. Bulletin 499. North Dakota Agricultural Experiment Station. 34-37.
- Zimmerman, A. D. 1985. Systematic of the genus *Coryphantha* (Cactaceae).Dissertation Univ. of Texas at Austin.