



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**Evaluación del efecto de dos técnicas de escarificación
para la inducción de la germinación de semillas de
Ferocactus glaucescens (De Candolle, 1828)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

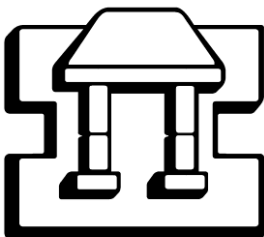
BIÓLOGO

PRESENTA

FRANCISCO JOSÉ OCHOA UGALDE

DIRECTOR DE TESIS:

BIOL. MARCIAL GARCÍA PINEDA



TLALNEPANTLA, EDO. DE MÉXICO, NOVIEMBRE 2016



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.

Dedicatoria

*A Samuel y María Elena,
pilares de mi vida, quienes hicieron
de mí la persona que soy.*

*A Moni, Azul, Paty, Gaby, Martín,
Lavinia, Sebastián y Martín Alonso,
que sin su apoyo y cariño, no podría
haber logrado esta meta. Gracias.*

“En aquel momento descubrí algo sobre la biología: era muy fácil encontrar una pregunta que fuera muy interesante y que nadie supiera contestar”.

-Richard Phillips Feynman

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y especialmente a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, por permitirme estudiar en esta gran institución, sintiéndome dichoso cada día de la formación que recibí.

Al Biol. Marcial García Pineda por aceptar dirigir esta tesis, por sus buenos consejos, sus múltiples atenciones y su amistad, gracias por permitirme conocer y adentrarme en el mundo de las plantas suculentas.

A la M. en C. Antonia Trujillo Hernández por su enorme paciencia, su valioso apoyo y observaciones, gracias por compartir su experiencia y ayudarme a encontrar la solución a cada incertidumbre que creía insalvable. De verdad siempre le estaré agradecido.

A mis sinodales M. en C. Luis Antonio Hernández González, Biol. Diana Herrera Rojas y Biol. Antonio Edmundo Cisneros Cisneros, arquitectos de este trabajo, con sus constantes y valiosos comentarios que me impulsaron a concluir esta tesis, siempre dispuestos a apoyarme a cada paso, aconsejándome y permitiéndome alcanzar esta meta, creyendo en mí para lograrlo, no solo como profesores, sino como verdaderos amigos.

Al Biol. Héctor Barrera Escorcía (Q.E.P.D.), que se nos adelantó en el camino, siempre tuvo fe en mí, escuchando mis inquietudes, con su paciencia y experiencia me ayudó a creer que el éxito de este trabajo era posible.

Al M. en C. Nicolás Rodríguez Hernández, por su valiosa amistad, que me brindó siempre y sus valiosas observaciones durante gran parte de mi formación, que me permiten contemplar con otra perspectiva mi desarrollo tanto personal como académico.

Al Biol. Víctor Esparza Martínez (Q.E.P.D.), también se adelantó, siempre me aconsejó con su manera tan franca, jalándome las orejas cuando era necesario, brindándome su amistad y confianza, gracias por siempre decirme lo que pensaba.

A cada uno de mis profesores quienes me compartieron sus invaluable conocimientos, logrando generar en mí el gusto por el conocimiento y el amor por esta hermosa ciencia llamada Biología.

Al Laboratorio de Microscopía de la F.E.S. Iztacala por el apoyo para realizar este trabajo, a la M. en C. María del Pilar Villeda Callejas y a la M. en C. Guadalupe Eugenia Daleth Guedea Fernández por sus atenciones, comentarios y ayuda a lo largo de mi formación. Al Biol. Osvaldo Cervantes Zamudio por su apoyo en la obtención de las fotografías en microscopio y sobre todo por su amistad durante tanto tiempo, gracias Oso.

Al Taller de Equipo para Laboratorios de Enseñanza de la F.E.S. Iztacala por la asesoría y realización de los prototipos de la cámara de germinación y el baño caliente que permitieron realizar este trabajo, al Ing. Armando Pineda Santamaría, al Tec. Mec. Daniel Candarabe Camacho y al Tec. Enrique González Yáñez quienes me enseñaron a emplear el equipo del taller y auxiliando en el diseño y elaboración de los prototipos, pero por encima de ello, con su amistad.

Índice

Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Índice de Figuras	6
Índice de Cuadros	6
Resumen.....	7
1.0 Introducción.....	8
1.1 Historia del conocimiento de la familia Cactaceae	8
1.2 Etnobotánica de la familia Cactaceae	8
1.3 Problemática de las cactáceas	9
1.4 Semillas	10
1.4.1 Tamaño y formas de las semillas	10
1.4.2 Dispersión de semillas	10
1.4.3 Bancos de semillas.....	10
1.5 Viabilidad de las semillas	11
1.6 Germinación de semillas en cactáceas	11
1.6.1 Condiciones	12
1.6.2 Agua.....	12
1.6.3 Temperatura	13
1.6.4 Luz	13
1.7 Latencia en semillas.....	14
1.8 Importancia de <i>Ferocactus glaucescens</i>	15
2.0 Antecedentes	17
2.1 Características taxonómicas y botánicas de <i>Ferocactus glaucescens</i>	17
2.2 Antecedentes de germinación de <i>Ferocactus glaucescens</i> y otras plantas	19
3.0 Objetivos	21
3.1 Objetivo general.....	21
3.2 Objetivos particulares.....	21

4.0 Procedimiento.....	22
4.1 Material biológico	22
4.2 Tamaño y forma de las semillas	22
4.3 Viabilidad	22
4.4 Imbibición	22
4.5 Diseño experimental.....	22
4.6 Aplicación de tratamientos.....	23
4.6.1 Escarificación química	23
4.6.2 Escarificación térmica	23
4.6.3 Testigo.....	23
4.6.4 Tratamientos	23
4.7 Preparación de sustrato y siembra	24
4.8 Velocidad de germinación	24
4.9 Análisis estadístico	24
5.0 Resultados	25
5.1 Tamaño y forma de las semillas	25
5.2 Viabilidad	26
5.3 Imbibición	26
5.4 Germinación	27
5.5 Velocidad de germinación	28
5.6 Porcentajes finales de germinación.....	28
6.0 Discusión.....	29
7.0 Conclusiones	32
8.0 Bibliografía.....	33
9.0 Anexos.....	40

Índice de Figuras

Figura 1 Distribución de <i>Ferocactus glaucescens</i> en la República Mexicana; a) Hidalgo, b) San Luis Potosí, c) Guanajuato y d) Querétaro	18
Figura 2 <i>Ferocactus glaucescens</i> en el Jardín Botánico de la F.E.S. Iztacala. a) Ejemplar completo b) Zona apical de la planta c) Detalle de las espinas.....	18
Figura 3 Semilla de <i>Ferocactus glaucescens</i> vista en microscopio óptico (40x) mostrando el color oscuro y el lustre brillante característico de la semilla.	25
Figura 4 Micrópilo de la semilla vista en microscopio óptico mostrando el hilo a diferentes aumentos a) 40x y b) 100x.	25
Figura 5 Reticulación de la cubierta de la semilla de <i>Ferocactus glaucescens</i> vista en un microscopio óptico (100x). a) Iluminación cenital y basal b) Iluminación cenital c) Concavidad en la reticulación de la testa.....	26
Figura 6 Hidratación de las semillas hasta alcanzar peso constante. Las barras indican \pm error estándar.....	27
Figura 7 Porcentaje de germinación acumulativa en <i>Ferocactus glaucescens</i> para cada tratamiento a lo largo de la evaluación.	27
Figura 8 Porcentaje final de germinación de los diferentes tratamientos a los 30 días. Las barras indican \pm error estándar.	28
Figura 9 Baño con termostato incorporado donde se llevó a cabo la escarificación térmica.....	40
Figura 10 Cámara de germinación con fotoperiodo y temperatura controlados.	40
Figura 11 Unidades experimentales en la cámara de germinación dispuestas completamente al azar.	41
Figura 12 Plántulas de <i>Ferocactus glauscecens</i>	41

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Aplicación de tratamientos a semillas de <i>Ferocactus glaucescens</i>	23
Cuadro 2 Velocidad de germinación mediante el índice de Maguire \pm error estándar para cada tratamiento.	28
Cuadro 3 Análisis de varianza (ANOVA) con una confiabilidad del 95% para la germinación de semillas de <i>Ferocactus glauscecens</i>	42
Cuadro 4 Comparación de medias (Tukey) con una confiabilidad del 95% para la germinación de semillas de <i>Ferocactus glauscecens</i>	42

Resumen

México posee 63 géneros, 669 especies y 244 subespecies de cactáceas, muchas de ellas endémicas, considerándolo el más rico del mundo, sin embargo la belleza de estas plantas ha provocado su sobreexplotación llevando a muchas especies al borde de la extinción, por lo que la propagación *ex situ* es de vital importancia para mitigar este riesgo. Los estudios de germinación constituyen una buena herramienta para su conservación. A pesar de que *Ferocactus glaucescens* no es una especie amenazada, la demanda comercial por su vistosidad y la perturbación de su hábitat por actividades humanas puede causar el deterioro de sus poblaciones rápidamente. Sus semillas poco especializadas la convierten en una alternativa viable para los estudios de germinación. Los objetivos del presente trabajo fueron evaluar la respuesta germinativa al someter a las semillas a tratamientos de escarificación química con HCl (0.01 M) y agua a tres temperaturas (35°C, 50°C y 65°C) teniendo como variable de respuesta el porcentaje final de germinación, además de determinar las características morfométricas de las semillas, obtener la curva de imbibición y determinar la velocidad de germinación mediante el índice de Maguire. Tras la aplicación de los tratamientos las semillas se sembraron en cajas de aluminio con tapa de cristal en un sustrato de tezontle y arena de río (1:1). Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar en una cámara de germinación y se evaluó la germinación por 30 días considerando a las semillas germinadas al observar la emergencia de la radícula. Las mediciones de las semillas mostraron un largo promedio de 1.393 mm y un ancho de 1.057 mm, teniendo una relación largo/ancho de 1.321 mm; la imbibición se completó a las tres horas; no se aprecian diferencias significativas para el porcentaje de germinación entre los tratamientos excepto con el de 65°C y las velocidades de germinación son semejantes entre los tratamientos excepto con el de 65°C. Se concluye que las semillas de *Ferocactus glaucescens* son de talla media, forma oval y presentan una testa reticular, poseen una viabilidad del 83% tras cuatro años de almacenamiento; su imbibición es rápida presentando una testa permeable; encontrando el mayor porcentaje de germinación (81%) en el tratamiento testigo mientras que el más bajo se encontró en el tratamiento de 65°C (31%); la mayor velocidad se observó en el tratamiento de 35°C mientras que la menor velocidad fue observada en el tratamiento de 65°C.

Palabras clave: *Ferocactus glaucescens*, imbibición, germinación, escarificación, velocidad de germinación.

1.0 Introducción

1.1 Historia del conocimiento de la familia Cactaceae

El descubrimiento de las cactáceas por parte de los europeos se da al llegar Colón a América (Mandujano *et al.*, 2002^b), siendo referidas por primera vez en el “Sumario de la Historia Natural de las Indias” de Gonzalo Fernández de Oviedo y Valdez en 1526 (Lindsay, 1996) y su importancia va más allá de las cuestiones de diversidad y taxonomía ya que hay reportes del uso y aprovechamiento de las cactáceas desde la época prehispánica (Bravo-Hollis, 1978), pero este conocimiento sólo está documentado por pocas ilustraciones en códices (Kiesling, 2006).

La Familia Cactaceae comprende tres tribus: Pereskioideae, Opuntioideae y Cactoideae (Britton y Rose, 1919; Bravo-Hollis, 1978) que se distribuyen desde Canadá hasta Argentina (59° Latitud Norte y 52° Latitud Sur respectivamente) y desde el nivel del mar en las dunas costeras del continente hasta los picos elevados de Perú a los 5,100 metros de altitud, donde se desarrollan principalmente en las zonas áridas y semiáridas, pero incursionan también en las zonas subtropicales y tropicales húmedas (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1999).

En México esta familia ocupa el quinto lugar en diversidad (Rzedowski, 1983) con 63 géneros, 669 especies y 244 subespecies (Guzmán *et al.*, 2003), convirtiéndolo en el país más rico en cactáceas a nivel mundial (Bravo-Hollis, 1978). Un género que destaca por su vistosidad es *Ferocactus* (*Ferus*, salvaje, feroz y *Cactus*, espina, por la apariencia de la planta, Pilbeam y Bowdery, 2005), que ha interesado por muchos años a los botánicos y coleccionistas. Se reporta que la primera colecta del género fue realizada por William Houston antes de 1733 y el género es mencionado en tratados de botánica desde 1768 en la obra de Philip Miller “Gardener’s Dictionary”. El género consta de 29 especies de plantas globosas a cilíndricas (Anderson, 2001; Lindsay, 1996).

1.2 Etnobotánica de la familia Cactaceae

El principal uso de la Familia Cactaceae es para el consumo humano, como el género *Opuntia*, cuyos tallos se consumen como verdura y los frutos son muy apetecibles, mientras que las biznagas de los géneros *Echinocactus* y *Ferocactus* se emplean en la elaboración del tradicional dulce de acitrón (Alanís y Velasco, 2008).

Ciertos géneros como *Lophophora*, *Ariocarpus* y *Epithelanta* poseen un significado divino y se emplean en las ceremonias de diversos grupos étnicos como los Huicholes,

Tarahumaras, Coras y Tepehuanes (Batis y Rojas, 2002), las especies columnares de los géneros *Stenocereus* y *Neobuxbaumia* se aprovechan como cercos vivos y las toneliformes como *Ferocactus* y *Echinocactus* son usadas como fijadoras de suelo y forraje (Casas, 2001). Además 85 especies de esta familia son empleadas en remedios medicinales tradicionales (Gioanetto, 2010).

Otro uso de las cactáceas es como plantas ornamentales debido a su vistosidad y variedad, donde el criterio más empleado para medir la demanda en el mercado de las mismas es el "Species Availability Index" (SAI). Desafortunadamente estas plantas son extraídas de manera ilegal del medio para satisfacer su amplia demanda propiciando un deterioro elevado del ecosistema y particularmente de este recurso (Alanís y Velazco, 2008).

1.3 Problemática de las cactáceas

La mayoría de las cactáceas están amenazadas o en peligro de extinción ya que sufren presiones directas e indirectas, donde las directas son la agricultura, la ganadería y el desarrollo industrial, mientras que las indirectas se engloban en la colecta ilegal para el comercio (Mandujano *et al.*, 2002^a). Las especies más codiciadas y por lo tanto más amenazadas están incluidas dentro de tres géneros presentes en México: *Mammillaria*, *Turbincarpus* y *Ferocactus* (Santos, 2005), de los cuales, las especies más raras en el ecosistema poseen más valor que las más comunes, así mismo un organismo colectado en su hábitat es más valioso que uno propagado en un invernadero aumentando la colecta ilegal de ejemplares cada vez más escasos (Hernández, 2006).

Entre 1996 y 2000 las autoridades mexicanas decomisaron cerca de 5000 especímenes extraídos ilegalmente del desierto Chihuahuense (Santos, 2005), lugar donde se ha reportado que la mayoría de las especies son raras geográficamente y aproximadamente el 47% de sus especies se encuentran ubicadas dentro de alguna de las categorías de riesgo descritas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, UICN (Hernández *et al.*, 2010).

Una manera de mitigar los daños ocasionados al extraer especímenes del medio es la propagación de estas mediante la germinación de semillas.

1.4 Semillas

Las semillas son la unidad de reproducción sexual de las plantas, cuya función es multiplicar y perpetuar la especie. Para que cumpla con su objetivo es necesario que el embrión se transforme en plántula, la cual tendrá que valerse por sí misma para convertirse en una planta adulta (García *et al.*, 2006).

1.4.1 Tamaño y formas de las semillas

Las semillas de las cactáceas varían no solo en tamaño, sino en forma, color, estructura epidérmica y posición de la región hilio-micropilar (Bregman y Bouman, 1983). El tamaño de las semillas influye en la germinación y supervivencia debido a la cantidad de nutrientes almacenados y el pronto desarrollo de raíces (Kigel y Galili, 1995). Barthlott y Hunt (2000) reportan seis categorías de tamaño para las semillas de cactáceas, extremadamente grandes (4.0 a 4.8 mm), muy grandes (3.0 a 3.9 mm), grandes (2.0 a 2.9 mm), medias (1.2 a 1.9 mm), pequeñas (0.9 a 1.1 mm) y muy pequeñas (0.3 a 0.8 mm), la mayoría de las semillas se encuentra en la categoría media. Así mismo señalan que la forma de las semillas se puede dividir en cuatro categorías de acuerdo a la relación largo/ancho: “circular” (<1.09), “ovoide” (1.10 a 1.49), “oval” (1.50 a 1.99) y “ligeramente oval” (2.00 a 3.00).

1.4.2 Dispersión de semillas

La dispersión de las semillas es un factor muy importante para la restauración ecológica (Csontos y Tamás, 2003). De acuerdo a Rojas y Vázquez (2000) las semillas son dispersadas mediante tres mecanismos diferentes: anemocoria (mediante el viento) siendo la menos frecuente entre las cactáceas (Bregman, 1988), hidrocoria (mediante el agua) y zoocoria, la cual es la más común y consiste en la dispersión de semillas mediante animales, dividiéndose a su vez en tres tipos: epizoocoria (fuera del animal), synzoocoria (insectos) y endozoocoria (dispersión por regurgitación o deyección).

1.4.3 Bancos de semillas

En los desiertos mexicanos la cantidad de semillas por metro cuadrado oscila entre las 8,000 y 30,000 semillas (Kigel y Galili, 1995) y las semillas de cactáceas pueden formar bancos en el suelo (Rojas y Batis, 2001). Un banco de semillas puede definirse, en cualquier comunidad vegetal, como la reserva de semillas maduras y viables, las cuales representan un componente importante en la dinámica del ecosistema y conforma una estrategia de supervivencia de las especies a lo largo del tiempo (De Souza *et al.*, 2006). Las semillas que conforman al banco constituyen una población con “memoria” de las

condiciones selectivas predominantes en el pasado, pero también del presente, manteniendo así la variabilidad genética (Cano *et al.*, 2012) permitiendo predecir la dinámica de las comunidades vegetales y la dirección de la sucesión ecológica (Zukowski *et al.*, 2010).

La formación de un banco de semillas inicia con la dispersión y finaliza con la germinación o muerte de las semillas; la dispersión puede ser tanto horizontal como vertical en el suelo por acción de animales, viento o agua (De Souza *et al.*, 2006). De acuerdo a Sánchez *et al.* (2005) los bancos de semillas pueden dividirse en dos: transitorios cuando las semillas tienen durabilidad menor a un año con un solo evento de germinación y persistentes si las semillas permanecen viables por años o incluso siglos con varios eventos de germinación; sin embargo para De Souza *et al.* (2006) los persistentes pueden subdividirse en persistentes de corto plazo durando más de un año pero menos de cinco y persistentes de largo plazo comprendiendo un periodo de cinco años o más; pero todos los autores concuerdan en la distinción entre transitorios y persistentes (Csontos y Tamás, 2003).

1.5 Viabilidad de las semillas

Viabilidad es la capacidad de una semilla de completar el proceso de germinación mientras que a la capacidad de retener la viabilidad durante un tiempo dado bajo ciertas condiciones ambientales se le denomina longevidad (Flores *et al.*, 2008^a). En cactáceas la mayoría de las semillas se considera ortodoxas, sin embargo, existen especies que pierden paulatinamente su viabilidad al paso del tiempo y otras que la aumentan debido a la maduración post-cosecha que rompe la latencia fisiológica e incrementa la sensibilidad de las semillas a tratamientos pregerminativos con hormonas o escarificación (Karimmojeni *et al.*, 2014). Existen reportes de semillas de *Ferocactus emoryi* y *F. herrerae* donde conservan su viabilidad con altos porcentajes de germinación (90% y 80% respectivamente) por más de diez años de almacenamiento en contenedores de cristal a 20±2°C temperatura (Rojas y Vázquez, 2000).

1.6 Germinación de semillas en cactáceas

La germinación se define como la reanudación del crecimiento del embrión de una semilla madura, que depende de las mismas condiciones ambientales que la planta madre (Taiz y Zeiger, 2006). Se considera que la germinación y el establecimiento de la plántula son las etapas más críticas para la supervivencia durante el ciclo de vida de una planta, pues es una transición riesgosa entre el estadio más tolerante a las sequías y temperaturas

extremas (semilla) al estadio más vulnerable y débil del desarrollo de la planta (plántula) y en contraste con otros procesos vegetales, la germinación es irreversible (Kigel y Galili, 1995; Mihalte *et al.*, 2011). Muchos procesos vegetales son regulados por fitohormonas, entre las que destacan el ácido abscísico, el etileno, las giberelinas, las auxinas, los brasinoesteroides y las citoquininas (Azcón y Talón, 2013; Vázquez *et al.*, 1997; Miransari y Smith, 2014), particularmente el ácido abscísico induce el estado de latencia inhibiendo la germinación (Finkelstein *et al.*, 2002; Kucera *et al.*, 2005) mientras que las giberelinas rompen dicho estado y por lo tanto estimulan la germinación mediante síntesis de hidrolasas como la α -amilasa, β -glucanasa y proteasa (Miransari y Smith, 2014).

Para la Familia Cactaceae el tiempo de germinación ha sido reportado en diversos estudios con una duración de siete a diez días, pero en algunas especies puede variar desde un día hasta semanas o meses (Lone *et al.*, 2009). Para que la germinación se lleve a cabo existen ciertos requerimientos indispensables.

1.6.1 Condiciones

Las condiciones favorables para la germinación de semillas en ambientes áridos y semiáridos (agua, temperatura estable y luz) ocurren en sitios escasos y específicos durante periodos cortos de tiempo, por lo que las plantas se han tenido que adaptar a este ambiente mediante cambios bioquímicos, fisiológicos, demográficos y genéticos (Kigel y Galili, 1995), sin embargo su supervivencia al iniciar el proceso de germinación es bastante improbable, pues se ha estimado que sólo una semilla en 13 millones puede llegar a establecerse y reproducirse (Mandujano *et al.*, 2002^b).

1.6.2 Agua

La condición determinante para germinar en cualquier semilla es el agua y la imbibición resultante. La imbibición es un tipo especial de difusión y para llevarse a cabo es necesaria la presencia de un gradiente de potencial hídrico entre el medio circundante con un mayor potencial y los tejidos de la semilla (Taiz y Zeiger, 2006), tras la cual la semilla inactiva retoma rápidamente su actividad metabólica (Contreras *et al.*, 2015). Se caracteriza por presentar tres fases muy bien diferenciadas: fase I, con una rápida absorción y cambio de forma y tamaño donde la permeabilidad de la testa es determinante; fase II, representada como una pausa o estabilización en la curva de imbibición donde generalmente se rompe la testa y fase III, donde se absorbe

nuevamente agua y se manifiesta la emergencia de la radícula y el posterior desarrollo de la plántula (Kucera, 2005; Finch y Leubner, 2006; Weitbrecht *et al.*, 2011).

La tasa de imbibición se ve afectada por diversos factores como son la permeabilidad de la cubierta seminal que impide absorber agua, la composición química de las semillas pues las ricas en proteínas absorben gran cantidad de agua mientras que las oleaginosas o con gran cantidad de almidón absorben menos agua y por último, la concentración de sales en el agua, que también puede alterar la imbibición al modificar la presión de difusión (Curtis, 2013).

En ambientes áridos, una respuesta rápida a la humedad puede ser ventajosa siempre y cuando la cantidad de agua disponible sea suficiente para permitir que las plántulas crezcan a un tamaño que les permita soportar el periodo seco posterior (Contreras *et al.*, 2015). Dubrovsky (1998; 1996) demostró que el efecto de la imbibición en las cactáceas no se pierde cuando el sustrato se deshidrata, sino que los cambios fisiológicos desencadenados por la imbibición son acumulativos, permitiéndole a las semillas germinar después de una temporada corta de lluvias; denominando “memoria de hidratación” a este fenómeno.

1.6.3 Temperatura

Otro factor que afecta a la germinación es la temperatura (Rojas *et al.*, 1998). Para cactáceas la temperatura óptima de germinación se encuentra entre los 17°C y los 34°C, siendo los 25°C la temperatura ideal. Las temperaturas mayores no favorecen la germinación, influyendo la edad de las semillas, pues las semillas jóvenes germinan a menor temperatura que las viejas (Rojas y Vázquez, 2000).

Cuando se calienta el agua que está en contacto con la semilla, parte de la energía suministrada se invierte en aumentar la difusión de agua, por lo tanto, aumenta la tasa de absorción de agua. Se ha encontrado experimentalmente que un aumento de 10°C en la temperatura duplica la tasa de absorción al inicio del proceso de imbibición (Curtis, 2013).

1.6.4 Luz

La luz es indispensable para la germinación de cactáceas globosas y toneliformes como *Echinocactus platyacanthus*, *Ferocactus robustus*, *F. flavovirens* y *F. recurvus* que se consideran fotoblásticas positivas, pero en especies columnares como *Pachycereus*

hollianus, *Cephalocereus chrysacanthus* y *Neobuxbaumia tetetzo* la luz no es un factor necesario, por lo que se definen como fotoblásticas indiferentes a la luz; cuando la luz inhibe la germinación de las semillas, estas se conocen como fotoblásticas negativas, sin embargo no hay evidencia de fotoblastismo negativo en cactáceas (Rojas *et al.*, 1997; Rojas *et al.*, 2008).

1.7 Latencia en semillas

Aun así, en muchos casos, una semilla viable no germinará a pesar de que todas las condiciones ambientales para su desarrollo estén satisfechas (Taiz y Zeiger, 2006). Este fenómeno se conoce como “Latencia”, la cual es una estrategia adaptativa muy común en plantas de ambientes hostiles e impredecibles (Flores y Jurado, 2011).

Todas las semillas, incluyendo las de cactáceas, pueden presentar un estado de “latencia” definido como el(los) mecanismo(s) fisiológico(s) que presentan las semillas para que no germinen por condiciones desfavorables o por propiedades morfológicas o fisiológicas de las mismas. Se considera que se presenta latencia cuando el 80% de las semillas frescas no logran alcanzar su germinación sin emplear tratamientos pregerminativos (Flores *et al.*, 2008^a).

García *et al.*, (2006) han reportado tres tipos de latencia:

La latencia exógena se presenta en semillas que tienen un retraso en la germinación debido a propiedades físicas y químicas de las cubiertas seminales, por lo que también se denomina “latencia impuesta por las cubiertas seminales” y se conocen cuatro mecanismos: impermeabilidad al agua donde las cubiertas actúan como barrera de difusión del agua, impermeabilidad al intercambio de gases impidiendo la respiración, resistencia mecánica cuando la testa es dura y evita que la radícula pueda romperla y presencia de inhibidores que son sustancias adheridas a las cubiertas seminales que inhiben la germinación (García *et al.*, 2006). Ésta se puede suprimir mediante la remoción de la testa, abrasión con arena, inmersión en ácidos clorhídrico y sulfúrico, agua caliente (40-80°C por 5-10 minutos) y cambios bruscos de temperatura (Rojas y Vázquez, 2000; Hernández, 2005; Navarro y Juárez, 2006; Sánchez y Ramírez 2006; Álvarez y Montaña, 1997).

La latencia endógena está determinada por características anatómicas, morfológicas y fisiológicas del embrión y sólo puede eliminarse al provocar cambios en las características

anteriores mediante procesos de estratificación, iluminación y administración de sustancias de crecimiento (García *et al.*, 2006). Existen tres tipos de latencia endógena: morfológica (embrión no desarrollado por completo), fisiológica (disminución en la actividad de los embriones con requerimientos de luz, frío y almacenamiento seco) y morfofisiológica (combinación de las dos anteriores, inmadurez del embrión y problemas fisiológicos).

La latencia combinada se presenta cuando existe una combinación de latencia exógena y endógena, por ejemplo cuando una latencia fisiológica está asociada a la impermeabilidad al agua por las cubiertas seminales (García *et al.*, 2006).

La latencia de las semillas puede explicarse de dos formas: 1) superar el riesgo de ambientes impredecibles y/o condiciones desfavorables para las semillas y 2) evitar la competencia entre la planta madre y la progenie de la misma (Kigel y Galili, 1995).

1.8 Importancia de *Ferocactus glaucescens*

Ferocactus glaucescens es endémico del Desierto Chihuahuense, cubre un área de 1,912 km² y tiene ubicadas 15 localidades en un conglomerado y un satélite (localidad individual cuya área de distribución no se traslapa con otras localidades) evaluadas mediante el Método Cartográfico por Conglomerados (Hernández *et al.*, 2010). Aunque es una especie abundante, es amenazada por el cambio de uso de suelo y sus poblaciones están declinando por la transformación y destrucción de hábitat debida al hombre (Scheinvar, 2004; Hernández *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2013).

F. glaucescens posee una demanda moderada de acuerdo al Índice de Disponibilidad de Especies (SAI), con un valor de 0.51 (Robbins, 2003) por lo que es apreciada como planta de ornato debido a la coloración azulosa de su tallo (Santos, 2005). Se le comercializa en Alemania, Estados Unidos, Reino Unido, España y México, con una disponibilidad alta en los mercados locales (Robbins, 2003). También tiene uso alimenticio, pues sus frutos al ser dulces se consumen como golosinas (Mesa, 2011; Scheinvar, 2004).

Se le considera especie basal dentro de la filogenia del género, ubicada en el mismo grupo taxonómico que *Echinocactus grusonii* y *Ferocactus histrix* a partir del análisis del ADN del cloroplasto, lo que sugiere que el género es parafilético (Cota y Wallace, 1997). Sus semillas poseen una testa casi lisa por lo que se consideran poco especializadas,

muy similares al carácter ancestral de la familia encontrado en *Pereskia* (Taylor y Clark, 1983) y se consideran fotoblásticas positivas (Rojas y Batis, 2001).

Ferocactus glaucescens destaca en las colecciones donde está presente pues aún fuera de la época de floración son plantas muy atractivas a la vista por su coloración azulosa (Figura 2) y algunos ejemplares pueden alcanzar proporciones impresionantes bajo cuidados adecuados bajo invernadero, llegando incluso a florecer (Taylor, 1984).

Hasta este momento no existe una colección completa de los 63 géneros de cactáceas descritos para México, solo se contaba con 384 especies de cactáceas presentes en 19 colecciones en Jardines Botánicos (registrados en la Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A.C.) y menos del 15% de estas se propaga de manera artificial en los centros registrados. *Ferocactus glaucescens* no se propaga en estas colecciones y solamente está presente en pocas de ellas (Hernández y Sánchez, 2000).

2.0 Antecedentes

2.1 Características taxonómicas y botánicas de *Ferocactus glaucescens*

De acuerdo a Britton y Rose (1919), y actualizado por Guzmán *et al.*, (2003) y Guzmán *et al.*, (2007) la taxonomía de la especie *Ferocactus glaucescens* es:

Reino: Plantae (Haeckel, 1866)

División: Magnoliophyta (Cronquist, Takhtajan, y Zimmerman, 1996)

Clase: Magnoliopsida (Cronquist, Takhtajan, y Zimmermann, 1996)

Orden: Caryophyllales (Perleb, 1826)

Familia: Cactaceae (Jussieu, 1798)

Subfamilia: Cactoidae (Eaton, 1836)

Tribu: Cereeae (Buxbaum, 1958)

Subtribu: Cactineae (Bessey, 1895)

Género: *Ferocactus* (Britton y Rose, 1922)

Especie: *Ferocactus glaucescens* (De Candolle, 1828)

Descripción de *Ferocactus glaucescens* (De Candolle ex Britton *et* Rose):

Plantas solitarias o ramificadas, tallos globosos con ápice aplanado o ligeramente deprimido con coloración glauca, 45 cm de alto, 50 cm de diámetro. Costillas de 12 a 17, agudas no tuberculadas con areolas alargadas, a veces interconectadas. Espinas aciculares, amarillas de 3.5 cm de largo, no muy distinguibles en central y radiales (Figura 2). Una central, 6 a 7 radiales, a veces menos. Flores acampanadas, amarillas de 4.5 cm de largo, 2.5 a 3.5 cm de diámetro. Frutos globosos, carnosos, blanco-amarillentos, cubiertos de escamas amarillas (Anderson, 2001). Semillas oscuras, brillantes de tamaño pequeño, reticulación apenas esbozada, micrópilo pequeño y blanco (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991^a; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991^b).

Ferocactus glaucescens se distribuye en los estados de Hidalgo, Querétaro, Guanajuato y San Luis Potosí (Figura 1). Localidad tipo: no señalada, el neotipo proviene de Metztitlán (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991^a).

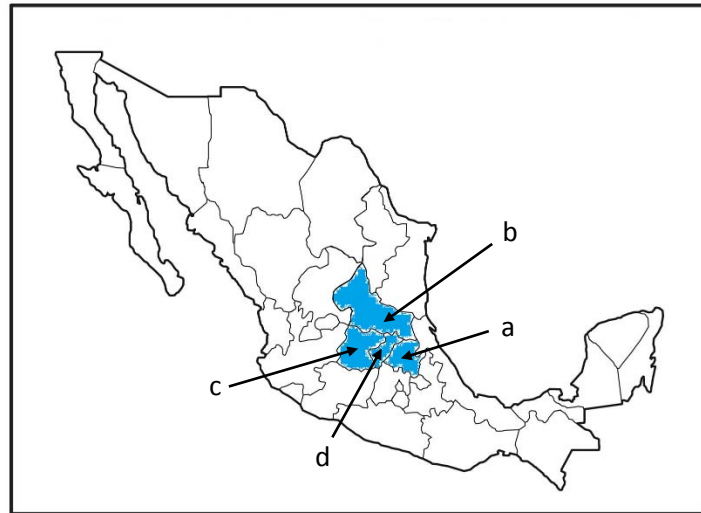


Figura 1 Distribución de *Ferocactus glaucescens* en la República Mexicana; a) Hidalgo, b) San Luis Potosí, c) Guanajuato y d) Querétaro

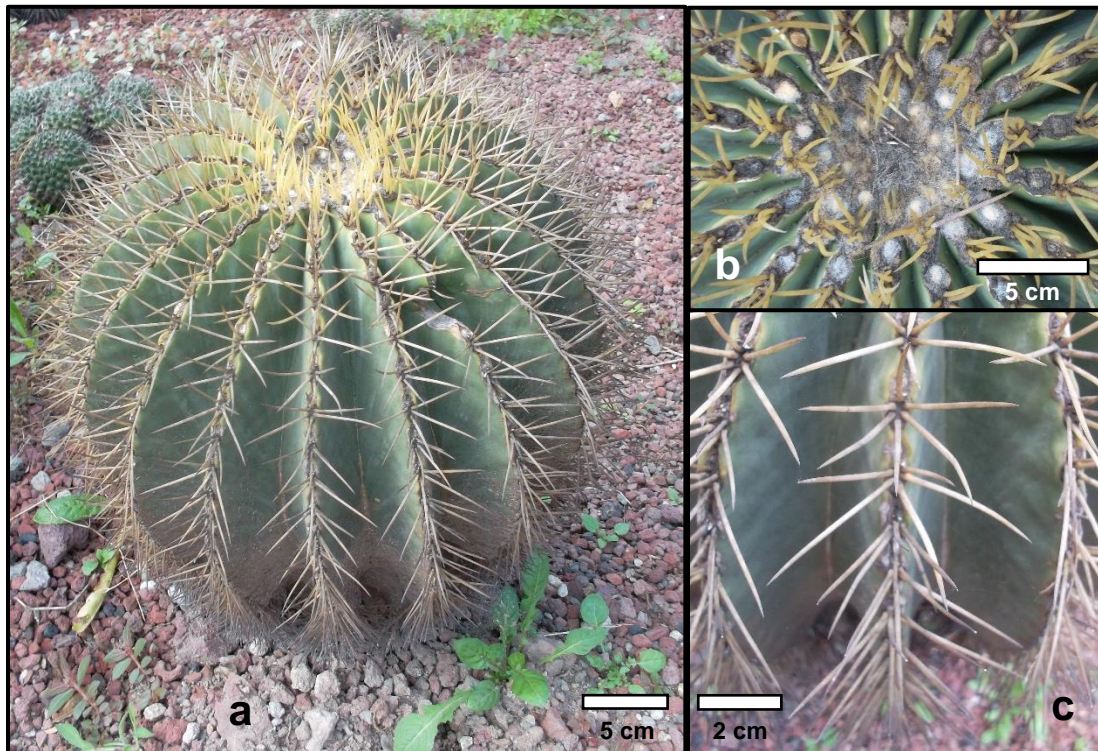


Figura 2 *Ferocactus glaucescens* en el Jardín Botánico de la F.E.S. Iztacala. a) Ejemplar completo b) Zona apical de la planta c) Detalle de las espinas.

2.2 Antecedentes de germinación de *Ferocactus glaucescens* y otras plantas

Del Castillo (1986) estudió la germinación y establecimiento de *Ferocactus histrix* comparando el efecto de la luz sobre la germinación, determinando que las semillas poseen una testa permeable y no requieren escarificación para germinar, así mismo reporta que las semillas poseen una tasa de imbibición alta debida a su pequeño tamaño.

Álvarez y Montaña (1997) evaluaron la germinación de *Ferocactus latispinus*, mediante tres tratamientos de escarificación química con HCl a tres concentraciones 1N, 2N y 3N, obteniendo porcentajes de germinación mayores al 77%, sin embargo no encontraron diferencias significativas entre la escarificación química y el tratamiento testigo.

Hernández (2005) realizó un estudio de germinación de *Echinocactus platyacanthus* empleando la escarificación térmica (agua caliente a 40°C, 50°C y 60°C) seguida de un tratamiento sanitario; consistente en el lavado de semillas con hipoclorito de sodio al 30% por cinco minutos. El mayor porcentaje de germinación se obtuvo en los grupos testigo con el 73.3%, seguida de la escarificación térmica a 40°C 63.3%, a 60°C obtuvo 55% y a 50°C no mostró germinación durante los treinta días de duración del estudio.

Santos (2005) evaluó la diferencia en el porcentaje de germinación de *Ferocactus glaucescens* en medio de cultivo Murashige-Skoog y su posterior trasplante a suelo preparado (suelo de jardín, tierra negra y arena 1:1:1). Obtuvo una germinación del 48%, concluyendo que la desinfección de las semillas pudo ocasionar daños al embrión.

Navarro y Juárez (2006) realizaron un estudio sobre la germinación de *Mammillaria zephyranthoides* mediante tratamientos germinativos de agua caliente a 50°C por cinco y diez minutos, H₂SO₄ concentrado por un minuto, temperatura de 4°C por siete días y dispersante Tween, obteniendo los mayores porcentajes de germinación (52%) mediante el uso de H₂SO₄ con respecto a los demás tratamientos.

Sánchez y Ramírez (2006) probaron la escarificación térmica con agua a 80°C por cinco minutos en semillas de leguminosas, donde reportaron un porcentaje de germinación de 91.5%.

Navarro y González (2007) evaluaron la germinación de *Ferocactus robustus* sometiendo a las semillas a escarificación térmica con agua caliente a 50°C por cinco y 10 minutos, química mediante H₂SO₄ concentrado por un minuto, minuto y medio y tres minutos, tratamiento hormonal con ácido giberélico y almacenamiento a baja temperatura a 4°C por

siete días obteniendo un promedio máximo de 93% para el tratamiento de H₂SO₄ por un minuto y medio y un promedio mínimo de 82% en el tratamiento de 50°C por cinco minutos. No encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Gelista (2008) evaluó la morfología, germinación y velocidad de germinación mediante el Índice de Germinación de Maguire de tres especies de cactáceas amenazadas; *Astrophytum myriostigma*, *Cephalocereus senilis* y *Coryphanta elephantidens*.

Paz (2013) evaluó el efecto de la escarificación química (NaClO al 30% por 15 minutos), inmersión en agua por 24 horas a temperatura ambiente y tratamiento testigo sobre semillas almacenadas por 18 meses de cinco especies del género *Ferocactus* incluyendo a *Ferocactus glaucescens*, observando el mayor promedio de germinación mediante la inmersión en hipoclorito de sodio con un 27%, seguido por la inmersión en agua con un 20% y por último el testigo con 11%.

3.0 Objetivos

3.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de dos técnicas de escarificación sobre la germinación de semillas de *Ferocactus glaucescens*.

3.2 Objetivos particulares

- Determinar el tamaño y la forma de las semillas de *Ferocactus glaucescens* mediante su relación largo/ancho.
- Obtener la curva de imbibición para semillas de *F. glaucescens*.
- Comparar el efecto de la escarificación sobre la germinación de semillas de *F. glaucescens* con agua caliente a tres diferentes temperaturas (35°C, 50°C y 65°C) por 10 minutos y escarificación con HCl a 0.01 M por diez minutos.
- Determinar la velocidad de germinación mediante el Índice de Maguire de semillas de *F. glaucescens*.

4.0 Procedimiento

4.1 Material biológico

Se utilizaron semillas de 10 frutos de *Ferocactus glaucescens* colectadas en el Jardín Botánico de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala en el mes de Marzo de 2010, por lo que al momento de realizar el presente estudio contaban con 4 años de almacenamiento.

4.2 Tamaño y forma de las semillas

Se seleccionaron 100 semillas de *Ferocactus glaucescens* de manera aleatoria y se colocaron en la base de una caja Petri con cinta adhesiva para evitar su movimiento y fueron llevadas al laboratorio de microscopía de la F.E.S. Iztacala. Se procedió a medirlas en microscopios óptico (100x) y estereoscópico (40x) mediante el programa computacional de medición "Motic" y se obtuvieron las medidas de largo y ancho de las semillas, así como las medidas para el micrópilo de las mismas.

4.3 Viabilidad

Se seleccionaron 500 semillas intactas de *Ferocactus glaucescens* de manera aleatoria para evaluar su viabilidad mediante la germinación. Se empleó el criterio de la emergencia de la radícula para considerar una semilla germinada (Hernández, 2005).

4.4 Imbibición

Se seleccionaron 500 semillas intactas de *Ferocactus glaucescens* de manera aleatoria divididas en 5 grupos de 100 semillas cada uno, posteriormente cada grupo se colocó en un frasco ámbar con una capacidad de 50 mililitros que se llenó con agua destilada a temperatura ambiente y se dejaron reposar una hora, posteriormente se extrajeron del frasco, se retiró el exceso de agua con papel secante sin ejercer presión a las semillas y fueron pesadas en una balanza de precisión (0.01 g), repitiendo el proceso las veces necesarias hasta alcanzar peso constante y así obtener la curva de imbibición para semillas de *Ferocactus glaucescens* (Bregman y Graven, 1997).

4.5 Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar con un factor (escarificación) para la distribución de los tratamientos en la cámara de germinación (Figura 13).

4.6 Aplicación de tratamientos

4.6.1 Escarificación química

La técnica de escarificación química consistió en la inmersión de 100 semillas de *Ferocactus glaucescens* en una solución de HCl con una concentración 0.01 M en un vaso de precipitados de 250 mililitros por 10 minutos para posteriormente extraerlas mediante un colador de malla fina y se les aplicó un lavado de las semillas en agua destilada por tres minutos.

4.6.2 Escarificación térmica

La técnica de escarificación térmica consistió en la inmersión de 100 semillas de *Ferocactus glaucescens* contenidas en sacos de tul (previamente elaborados) en agua a tres temperaturas diferentes (Cuadro 1) por 10 minutos en un baño con termostato incorporado para control de la temperatura elaborada en el Taller de Equipo de Laboratorios de Enseñanza de la F.E.S. Iztacala (Figura 11).

4.6.3 Testigo

El tratamiento testigo comprendió la inmersión de 100 semillas de *Ferocactus glaucescens* en agua destilada a temperatura ambiente ($22\pm 1^\circ\text{C}$) por 10 minutos en un vaso de precipitados de 250 mililitros, seguido de su extracción mediante un colador de malla fina.

4.6.4 Tratamientos

Las 100 semillas por tratamiento comprenden 10 semillas como unidad experimental con 10 réplicas cada una. Los tratamientos fueron:

Cuadro 1 Aplicación de tratamientos a semillas de *Ferocactus glaucescens*.

Tratamiento	Nombre	Descripción	Tiempo
1	Escarificación Térmica con H ₂ O	35°C	10 Minutos
2		50°C	
3		65°C	
4	Escarificación Química	HCl 0.01 M	
5	Testigo	H ₂ O a Temperatura Ambiente	

4.7 Preparación de sustrato y siembra

Se empleó una mezcla de arena de río y tezontle rojo finamente molido y cernido en un tamiz de malla del número 10 en una proporción 1:1.

Las semillas se sembraron en contenedores de aluminio con tapa de cristal donde se depositó el sustrato previamente esterilizado que se encontraba hidratado a capacidad de campo para su germinación sobre una cámara de germinación (elaborada en el Taller de Equipo de Laboratorios de Enseñanza de la F.E.S. Iztacala) a temperatura constante a $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ controlada mediante un termostato eléctrico y con fotoperiodo de 24 horas luz (Figura 12).

Las semillas se evaluaron cada 48 horas y se continuó con su conteo por 30 días (Gelista, 2008), obteniendo así su porcentaje de germinación. El criterio empleado para determinar la germinación fue la emergencia de la radícula.

4.8 Velocidad de germinación

La velocidad de germinación se evaluó mediante la ecuación del Índice de Maguire (Maguire, 1962), la cual es una de las medidas más ampliamente utilizadas, al ser una medida adimensional, es decir, sin unidades (Santana y Ranal, 2000). Consiste en la relación del número de semillas germinadas en el tiempo de germinación (González y Orozco, 1996). La ecuación es la siguiente:

$$MG = \sum \frac{Gi}{Ti}$$

Donde:

MG: Valor germinativo o Índice de Maguire.

Gi: Germinación sencilla desde la siembra hasta el día 30.

Ti: Tiempo transcurrido desde la siembra hasta el día 30.

4.9 Análisis estadístico

Los valores de germinación fueron convertidos a valores de arcoseno (Scheffler, 1981) para su evaluación estadística. Se realizaron análisis de varianza (ANOVA unifactorial, $p=0.05$, Durán *et al.*, 2003) seguido de una comparación de medias (Tukey, $\alpha=0.05$, Sokal y Rohlf, 1995).

5.0 Resultados

5.1 Tamaño y forma de las semillas

Las mediciones en microscopio estereoscópico (40x) y fotografiadas en un microscopio óptico (40x) de las semillas de *Ferocactus glaucescens* muestran un largo promedio \pm Error Standar de $1.393 \text{ mm} \pm 0.014$ y un ancho promedio de $1.057 \text{ mm} \pm 0.011$ (Figura 3). Su relación largo/ancho mostró un valor de 1.321 ± 0.027 .

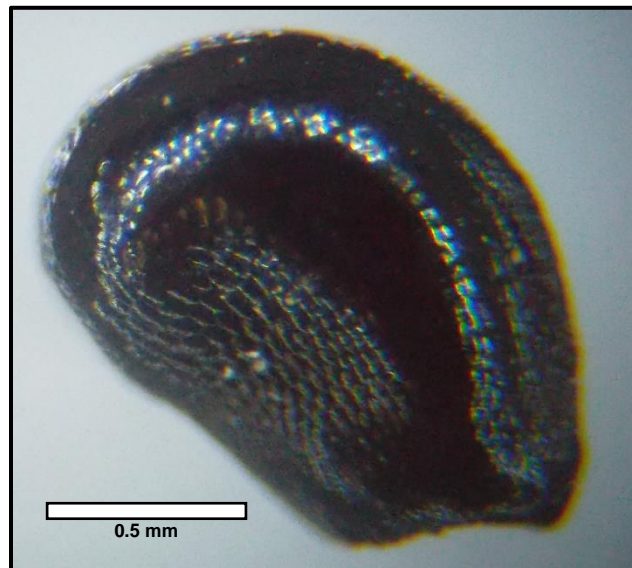


Figura 3 Semilla de *Ferocactus glaucescens* vista en microscopio óptico (40x) mostrando el color oscuro y el lustre brillante característico de la semilla.

Así mismo las medidas del micrópilo de las mismas resultaron en un largo promedio de $0.233 \text{ mm} \pm 0.006$ y un ancho promedio de $0.173 \text{ mm} \pm 0.004$ (Figura 4).

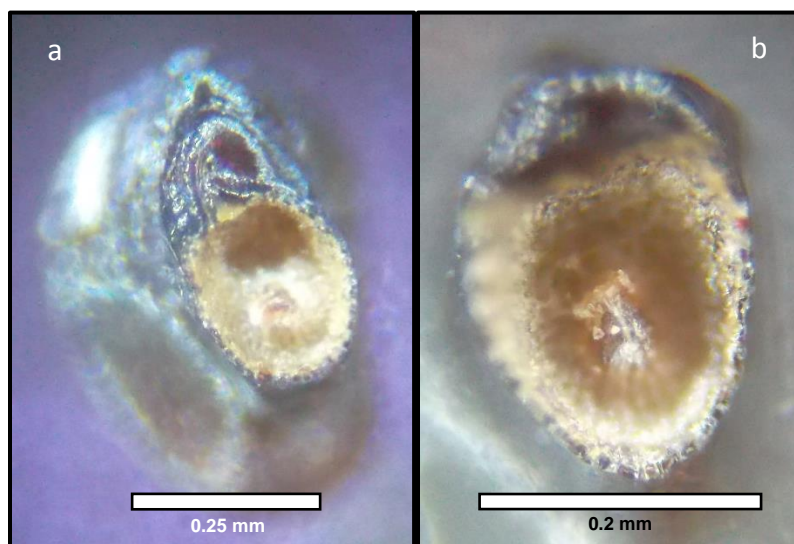


Figura 4 Micrópilo de la semilla vista en microscopio óptico mostrando el hilo a diferentes aumentos a) 40x y b) 100x.

Las observaciones de las semillas bajo microscopio óptico (100x aumentos totales) mostraron la ornamentación reticulada, la cual presenta concavidades contiguas separadas por muros bien definidos (Taylor y Clark, 1983) de la testa de la semilla (Figura

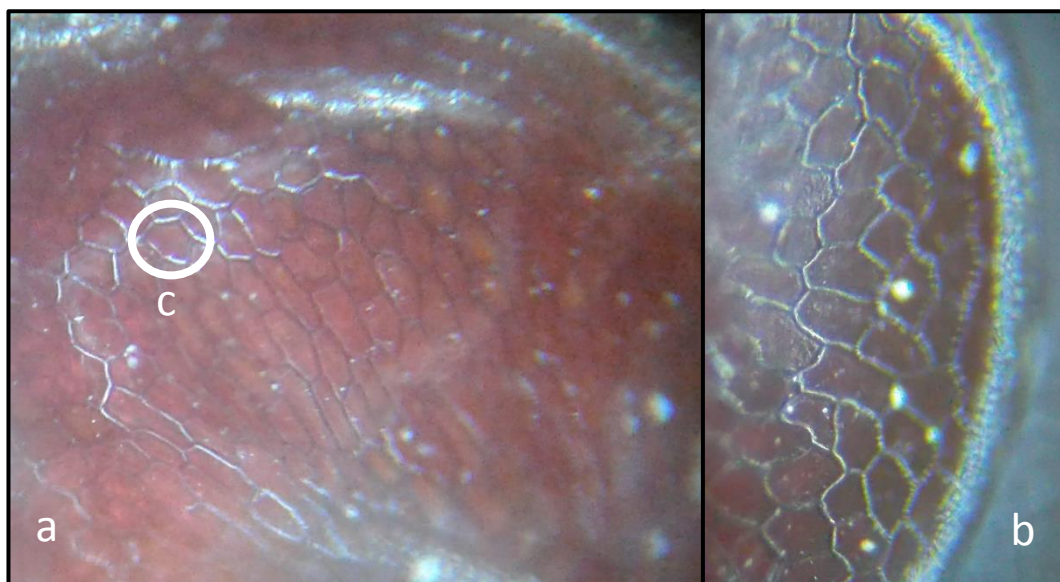


Figura 5 Reticulación de la cubierta de la semilla de *Ferocactus glaucescens* vista en un microscopio óptico (100x). a) Iluminación cenital y basal b) Iluminación cenital c) Concavidad en la reticulación de la testa.

5).

5.2 Viabilidad

La viabilidad de las semillas de *Ferocactus glaucescens* fue de 83% tras treinta días de evaluación posteriores a su siembra.

5.3 Imbibición

La imbibición ocurrió rápidamente en un periodo de tres horas, tiempo en el que las semillas alcanzaron un peso constante mostrando un incremento del 15.4% con respecto a su peso inicial (Figura 6). En la Figura 6 se puede observar la fase I de la curva de absorción de agua, donde se aprecia un incremento paulatino durante las dos primeras horas con un aumento pronunciado en la tercera hora; así mismo se distingue la fase II donde la imbibición se detiene al reactivarse el metabolismo celular (Azcon y Talón, 2013; Courtis, 2013).

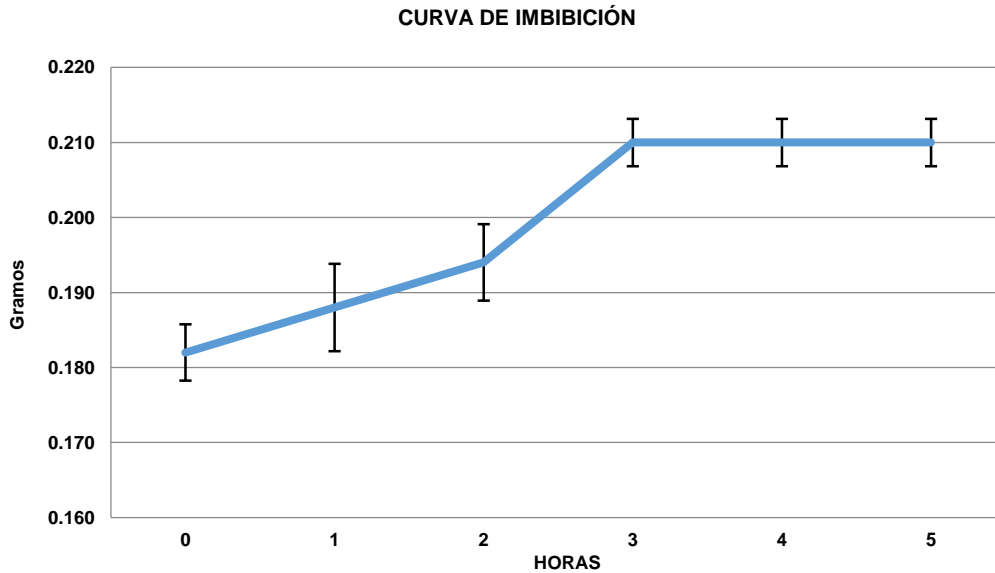


Figura 6 Hidratación de las semillas hasta alcanzar peso constante. Las barras indican \pm error estándar.

5.4 Germinación

El comportamiento germinativo de las semillas de *Ferocactus glaucescens* mostró un patrón similar en todos los tratamientos excepto en el de agua caliente a 65°C, donde se observa una disminución considerable de la germinación durante la evaluación (Figura 7). Se puede apreciar un aumento rápido de la germinación entre los días cuatro y ocho, momento donde se estabiliza la respuesta con cambios mínimos en los valores promedio a partir de dicho momento para todos los tratamientos, excepto nuevamente en el de agua caliente a 65°C.

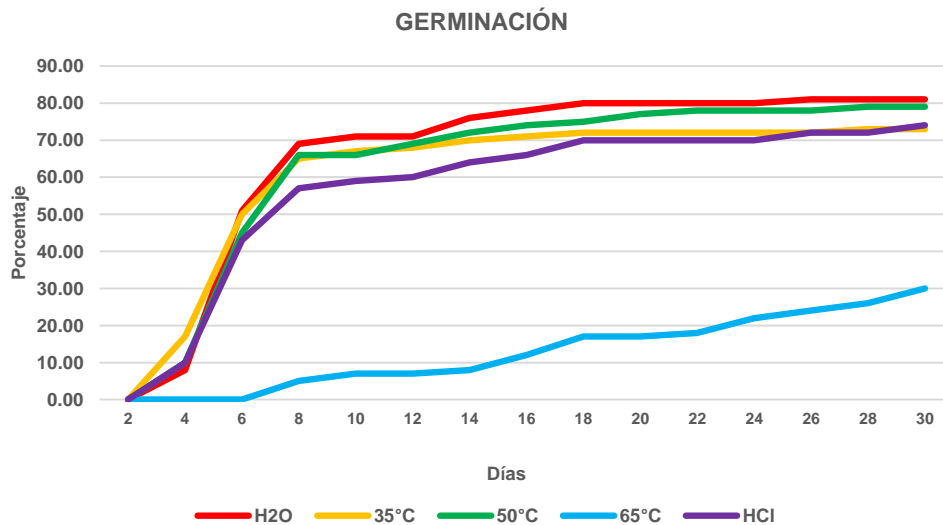


Figura 7 Porcentaje de germinación acumulativa en *Ferocactus glaucescens* para cada tratamiento a lo largo de la evaluación.

5.5 Velocidad de germinación

La velocidad de germinación evaluada mediante el índice de Maguire para semillas de *Ferocactus glaucescens* presentó los siguientes valores: la velocidad más alta se registró para el tratamiento de escarificación térmica a 35°C de 19.939 ± 0.293 , seguido por testigo con 18.726 ± 0.290 , escarificación térmica a 50°C con 18.205 ± 0.256 y HCl 0.01 M con 16.814 ± 0.239 ; mientras que la velocidad más baja la obtuvo la escarificación térmica a 65°C con 2.333 ± 0.022 (Cuadro 2).

Cuadro 2 Velocidad de germinación mediante el índice de Maguire \pm error estándar para cada tratamiento.

Tratamientos		Velocidad de Germinación	Error Estándar
Testigo		18.726	0.290
Escarificación	35°C	19.939	0.293
	50°C	18.205	0.256
	65°C	2.333	0.022
	HCl 0.01 M	16.814	0.239

5.6 Porcentajes finales de germinación

Los porcentajes finales de germinación de las semillas de *Ferocactus glaucescens* fueron para el tratamiento testigo 81%, escarificación térmica a 50°C de 79%, HCl 0.01 M de 74%, 35°C de 73%, 65°C de 31% (Figura 8).

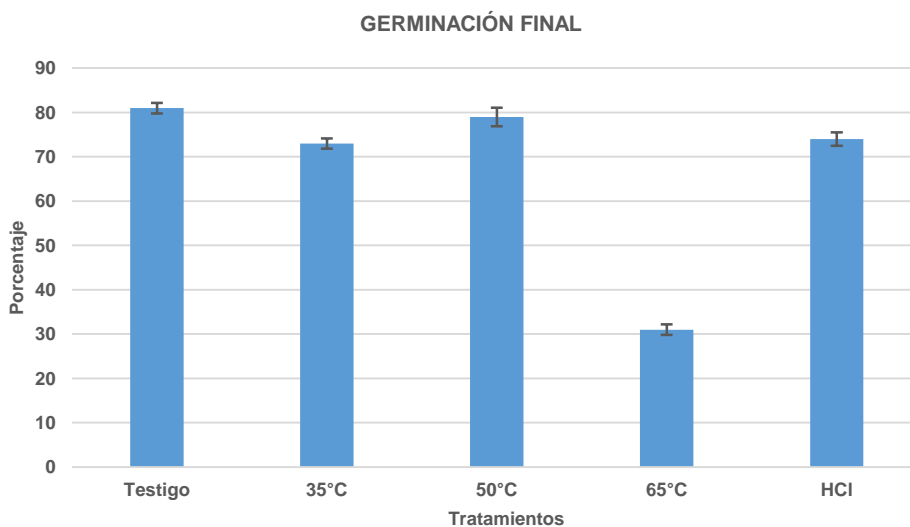


Figura 8 Porcentaje final de germinación de los diferentes tratamientos a los 30 días. Las barras indican \pm error estándar.

6.0 Discusión

El tamaño de las semillas de *Ferocactus glaucescens* (Figura 3) es medio al obtener $1.3923 \text{ mm} \pm 0.0143$ de largo y $1.0576 \text{ mm} \pm 0.0106$ de ancho y su forma es oval, ya que su relación largo/ancho es de $1.3209 \text{ mm} \pm 0.0274$, datos que coinciden con lo encontrado por Barthlott y Hunt (2000). Su micrópilo (Figura 4) se considera pequeño al mostrar $0.2327 \text{ mm} \pm 0.0056$ de largo por $0.1734 \text{ mm} \pm 0.0039$ de ancho. La coloración es casi negra y poseen un lustre brillante en la testa, con una ornamentación reticular la cual consiste en una arquitectura similar a una red (Figura 5) concordando con lo reportado por Taylor y Clark (1983), mostrando paredes bien definidas, la cual puede favorecer el flujo de agua y con ello la hidratación de la semilla maximizando la superficie de contacto (Courtis, 2013). La testa de las semillas de *Ferocactus glaucescens* es similar a la de especies basales dentro de la familia y se considera poco especializada, por lo que es un modelo útil para estudios de germinación (Taylor y Clark, 1983).

El análisis morfométrico de las semillas resulta muy útil en estudios taxonómicos y filogenéticos al observar y comparar estructuras externas como la escultura primaria y el arreglo de las células presentes en la testa, permitiendo identificar taxonómicamente a nivel de subtribu (Barthlott y Hunt, 2000) e incluso delimitar a nivel de género y especie (Rojas, 2012) pues se ha demostrado una correlación positiva entre la micromorfología de semillas de cactáceas y las delimitaciones genéricas y evolutivas dentro de la familia (Elizondo *et al.*, 1994). De igual manera el tamaño de las semillas puede indicar el tiempo requerido para la germinación, ya que nos indica la cantidad de reservas que han sido proporcionadas a la semilla por la planta madre (Trujillo, 2002).

La curva de imbibición (Figura 6) presenta las dos primeras fases características para este fenómeno, mostrando que las semillas de *Ferocactus glaucescens* alcanzaron la imbibición rápidamente, después de tres horas de ser sumergidas en agua, concordando con el estudio de Orozco *et al.* (2007) para *Opuntia tomentosa*, cuyas semillas se imbibieron a las tres horas, lo que puede interpretarse como una adaptación a las condiciones de escasa humedad constituyendo una ventaja en ambientes áridos donde la humedad es escasa (Del Castillo, 1986; Loza *et al.*, 2008), ya que el aprovechamiento rápido y eficiente de la poca agua disponible es esencial en estos ambientes para que las semillas puedan alcanzar la germinación (Bregman y Graven 1997). Dubrovsky (1996) ha reportado que el agua es el factor crucial en la germinación en plantas de desierto y señala que una imbibición discontinua puede acelerar la germinación en semillas de

Ferocactus cuando se completa la imbibición, denominando a este fenómeno como “memoria de hidratación”. Después de completar su imbibición, el embrión aumenta de tamaño, lo que causa fracturas de la testa favoreciendo la emergencia de la radícula (Bregman y Bouman, 1983).

Se observó que las semillas de *Ferocactus glaucescens* alcanzaron un porcentaje de germinación del 83%, lo cual coincide con lo reportado por Rojas y Vázquez (2000), quienes mencionan que el género *Ferocactus* muestra altos promedios de germinación en *Ferocactus herrerae* (80%) y *F. emoryi* (90%) incluso después de diez años de almacenamiento en frascos de cristal.

La respuesta de la germinación (Figura 7) de las semillas mostró un patrón similar en todos los tratamientos y según lo reportado por Del Castillo (1986) la permeabilidad de la testa de las semillas al imbibirse demuestra que los tratamientos de escarificación son innecesarios. De acuerdo a Godínez y Valiente (1998) la escarificación mediante inmersión en ácido clorhídrico (pH de 1, 2, 3 y 6 por una hora) puede disminuir en un 50% la germinación de semillas de *Ferocactus*.

Al evaluar la velocidad de germinación (Cuadro 2) no se encontraron diferencias entre los tratamientos escarificación térmica a 35°C (19.939 ± 0.232), testigo (18.726 ± 0.223), escarificación térmica a 50°C (18.205 ± 0.203) y química con HCl 0.01 M (16.814 ± 0.189), sin embargo si se encontraron diferencias con el tratamiento de escarificación térmica a 65°C (2.333 ± 0.017), el cual mostró la velocidad más baja en los 30 días de evaluación (Cuadro 2).

La velocidad de germinación puede relacionarse con la velocidad de imbibición, pues la germinación se inicia una vez completada la rehidratación reactivando las funciones celulares (Méndez *et al.*, 2008), así mismo se ha reportado que la velocidad de germinación aumenta con la temperatura, reduciendo el tiempo de germinación al exponer a las semillas a agua caliente (Sánchez *et al.*, 2010, Alexander y Sánchez, 2002) o bien, a temperaturas de 40°C-70°C mostrando una germinación rápida a pocos días después de la siembra (Pérez *et al.*, 2011). El tamaño de las semillas también afecta la velocidad de germinación (Ayala *et al.*, 2004), ya que semillas pequeñas se imbiben más rápido (Sánchez *et al.*, 2010) y como se mencionó antes, una rápida imbibición resulta en una rápida germinación.

La evaluación estadística de los porcentajes de germinación (Figura 8) mostró que no existen diferencias significativas entre los tratamientos testigo ($81\% \pm 0.119$), escarificación a 50°C ($79\% \pm 0.208$), HCl 0.01 M ($74\% \pm 0.151$) y 35°C ($73\% \pm 0.116$), sin embargo estos tratamientos si mostraron diferencias significativas (cuadro 3) con el tratamiento de escarificación térmica a 65°C ; el cual mostró el porcentaje de germinación más bajo ($31\% \pm 0.119$) (Figura 7). La ausencia de diferencias en los porcentajes de germinación puede deberse a que los tratamientos pregerminativos no influyen en la germinación de semillas de *Ferocactus* según lo reportado por Navarro y González (2007) donde los tratamientos de escarificación química (H_2SO_4) y térmica (agua a 50°C) no favorecieron la germinación de *Ferocactus robustus*, a pesar de que se ha demostrado que la escarificación química de semillas de cactáceas incrementa su germinación (Navarro *et al.*, 2008).

Los estudios realizados por Flores *et al.* (2008^a) en *Mammillaria huitzilopochtli* y Flores *et al.* (2008^b) en *Mammillaria oteroi* muestran que el porcentaje de germinación puede disminuir cuando la edad de la semilla aumenta, sin embargo también reportan que el porcentaje de germinación aumenta con el tiempo en *Ferocactus wislizenii* y *Ferocactus latispinus*, donde semillas frescas no alcanzan el 50% de germinación, mientras que semillas de 4 años germinan por encima del 80% (Rojas y Vázquez, 2000) lo cual concuerda con lo encontrado en el presente trabajo. Contrario a esto, Paz (2013) señala que semillas de *Ferocactus glaucescens* con 18 meses de almacenamiento no superan el 30% de germinación a pesar de ser sometidas a tratamientos pregerminativos; por lo que se sugiere que las semillas frescas de *F. glaucescens* presentan inmadurez en el embrión como señalan Mandujano *et al.* (1997) para *Opuntia rastrera* y por lo tanto requieren una maduración post-cosecha (Rojas y Batis, 2001), ya que al momento de su dispersión, algunos embriones requieren cierto tiempo variable para alcanzar su madurez.

7.0 Conclusiones

- Las características morfológicas que presentaron las semillas de *Ferocactus glaucescens* son un tamaño medio, forma oval y un micrópilo pequeño, color oscuro y lustre brillante presentando ornamentación reticular.
- Las semillas de *Ferocactus glaucescens* se imbiben en un periodo de tres horas mostrando una cubierta seminal permeable y una rápida absorción de agua.
- Las semillas de *Ferocactus glaucescens* alcanzan un porcentaje de germinación del 83% tras cuatro años de almacenamiento.
- Los tratamientos pregerminativos de escarificación química (HCl 0.01 M) y térmica (agua a 35°C, 50°C y 65°C) no influyen en la respuesta germinativa pero sí en la velocidad de germinación de semillas de *Ferocactus glaucescens*.
- Semillas de *Ferocactus glaucescens* sometidas a escarificación térmica a 65°C sufren daño en el embrión por la alta temperatura del agua.
- La mayor velocidad de germinación de acuerdo al índice de Maguire ocurre en el tratamiento de escarificación térmica a 35°C (19.939 ± 0.232) y la más baja en la escarificación a 65°C, (2.333 ± 0.022).

8.0 Bibliografía

- Alanís, G. y Velasco, C. 2008. "Importancia de las Cactáceas como recurso natural en el Noreste de México". *Ciencia y Sociedad*. XI:5-11.
- Alexander, J. y Sánchez, G. 2002. "Efecto del tratamiento con agua caliente e imbibición sobre la germinación de semillas de *L. leucocephala*". *Revista Científica*. XII:581-583.
- Álvarez, M. 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.
- Anderson, E. 2001. "The Cactus Family". Estados Unidos. Timber Press. 776 pp.
- Ayala, G., Terrazas, T., López, L. y Trejo, C. 2004. "Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckeii*". *Interciencia*. 29(12):692-697.
- Azcón, J. y Talón, M. 2013. "Fundamentos de fisiología vegetal". España. McGraw-Hill. 651 pp.
- Barthlott, W. y Hunt, D. 2000. "Seed diversity in the Cactaceae subfamily Cactoideae". Inglaterra. David Hunt. 173 pp.
- Batis, A. y Rojas, M. 2002. "El peyote y otros cactus alucinógenos de México". *Biodiversitas*. 40:12-17.
- Bravo-Hollis, H. 1978. "Las Cactáceas de México, Volumen I". México: Universidad Nacional Autónoma de México. 775 pp.
- Bravo-Hollis, H. y Sánchez-Mejorada, H. 1991^a. "Las Cactáceas de México, Volumen II". México. Universidad Nacional Autónoma de México. 791 pp.
- Bravo-Hollis, H. y Sánchez-Mejorada, H. 1991^b. "Las Cactáceas de México, Volumen III". México. Universidad Nacional Autónoma de México. 571 pp.
- Bravo-Hollis, H. y Scheinvar, L. 1999. "El interesante mundo de las Cactáceas". México. Fondo de Cultura Económica. 233 pp.
- Bregman, R. y Bouman, F. 1983. "Seed germination in Cactaceae". *Botanical Journal of the Linnean Society*. 86:357-374.
- Bregman, R. 1988. "Forms of seed dispersal in Cactaceae". *Acta Botanica Neerlandica*. 37(3):395-402.

- Bregman, R. y Graven, P. 1997. "Subcuticular secretion by Cactus sedes improves germination by means of rapid uptake and distribution of water". *Annals of Botany*. 80:525-531.
- Britton, N. y Rose, J. 1919. "The Cactaceae". Estados Unidos. Carnegie Institute.
- Cano, A., Zavala, J., Orozco, A., Valverde, M. y Pérez, P. 2012. "Composición y abundancia del banco de semillas en una región semiárida del trópico mexicano: patrones de variación espacial y temporal". *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 83:437-446.
- Casas, A. 2002. "Uso y manejo de cactáceas columnares mesoamericanas". *Biodiversitas*. 40:18-22.
- Cota, H. y Wallace, R. 1997. "Chloroplast DNA evidence for divergence in *Ferocactus* and its relationship to North American columnar cacti (Cactaceae:Cactoideae)". *Systematic Biology*. 22(3):529-542.
- Courtis, A. 2013. "Germinación de Semillas". Guía de estudio. Argentina. Universidad Nacional del Nordeste. 22 pp.
- Contreras, M., Pando, M. y Jurado, E. 2015. "Germinación de semillas de especies de plantas de zonas semiáridas bajo tratamientos de hidratación-deshidratación". *Zonas Áridas*. 14:41-50.
- Csontos, P. y Tamás, J. 2003. "Comparisons of soil seed bank classification systems". *Seed Science Research*. 13:101-111.
- De Souza, M., Maia, F. y Pérez, M. 2006. "Bancos de semillas en el suelo". *Agriscientia*. 23(1):33-44.
- Del Castillo, R. 1986. "Semillas, la germinación y establecimiento de *Ferocactus hystrix*". *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 31(1):5-11.
- Dubrovsky, J. 1996. "Seed hydration memory in Sonoran desert cacti and its ecological implication". *American Journal of Botany*. 83(5):624-632.
- Dubrovsky, J. 1998. "Discontinuous hydration as a facultative requirement for seed germination in two cactus species of the Sonoran desert". *Journal of the Torrey Botanical Society*. 125(1):33-39.
- Durán, A., Vargas, A. y Cisneros, A. 2003. "Bioestadística". México. Universidad Nacional Autónoma de México. 222 pp.

- Elizondo, J., Valdés, J., Arias, S. y Hatch, S. 1994. "Micromorfología de las semillas de algunas especies de la tribu Cacteeae (Cactaceae). Cactáceas y Suculentas Mexicanas. 39(3):59-67.
- Finch, W. y Leubner, G. 2006. "Seed dormancy and the control of germination". New Phytologist. 171:501-523.
- Finkelstein, R., Gampala, S. y Rock, C. 2002. "Abscisic acid signaling in seeds and seedlings". The Plant Cell. 14:S15-S45.
- Flores, J. y Jurado, E. 2011. "Germinación de especies de cactáceas en categoría de riesgo de desierto chihuahuense". Revista Mexicana de Ciencia Forestal. 2(8)59-70.
- Flores, A., Manzanero, G., Rojas, M., Mandujano, M. y Golubov, J. 2008^a. "Seed age germination responses and seedling survival of an endangered cactus that inhabits cliffs". Natural Areas Journal. 28:51-57.
- Flores, A., Manzanero, G., Rojas, M., Mandujano, M. y Golubov, J. 2008^b. "Importancia de la latencia de las semillas para la conservación de una cactácea endémica de Oaxaca, México". Cactáceas y Suculentas Mexicanas. 53(4):115-122.
- García, F., Roselló, J. y Santamarina, P. 2006. "Introducción al funcionamiento de las plantas". España. Universidad Politécnica de Valencia. 182 pp.
- Gelista, K. 2008. "Descripción morfológica desde la germinación hasta el trasplante de tres especies de cactáceas amenazadas (*Astrophytum ornatum*, *Cephalocereus seniles* y *Coryphanta elephantidens*) y evaluación de la germinación". México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 57 pp.
- Gioanetto, F. 2010. "Usos medicinales de las Cactáceas de México". (En línea) www.bioagricop.mx.tripod.com (Último acceso: Febrero 2011).
- Godínez, H. y Valiente, 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. 39:21-31.
- González, L. y Orozco, A. 1996. "Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*". Boletín de la Sociedad Botánica de México. 58:15-30.
- Guzmán, U., Arias, S. y Dávila, P. 2003. "Catálogo de cactáceas mexicanas". México. Universidad Nacional Autónoma de México. 315 pp.

- Guzmán, U., Arias, S. y Dávila, P. 2007. "Catálogo de autoridades taxonómicas de las cactáceas (Cactaceae:Magnoliopsida) de México". México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Base de datos SNIB-CONABIO, proyectos Q045 y AS021. 90 pp.
- Hernández, H., Gómez, C. y Hoffmann, G. 2010. "Is geographical rarity frequent among the cacti of the Chihuahuan desert?". *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 81:163-175.
- Hernández, J., Chávez, R. y Sánchez, E. 2007. "Factores de riesgo en las Cactaceae amenazadas de una región semiárida en el sur del desierto chihuahuense, México". *Interciencia*. 32(11):728-734.
- Hernández, H. 2006. "La vida en los desiertos mexicanos". México. Fondo de Cultura Económica. México. 188 pp.
- Hernández, M. 2005. "Evaluación del proceso de germinación de *Echinocactus platyacanthus*: una especie bajo protección especial en el Valle del Mezquital, Hidalgo". México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 76 pp.
- Hernández, M. y Sánchez, E. 2000. "La conservación de la Familia Cactaceae (A. L. de Jussieu) en las colecciones de los jardines botánicos de México". *Amaranto*. 13(2):37-53.
- Karimmojeni, H., Taab, A., Rashidi, B. y Bazrafshan, A. 2014. "Dormancy breaking and seed germination of the annual weeds *Thlaspi arvense*, *Descurainia sophia* and *Malcolmia africana* (Brassicaceae)". *Journal of plant protection research*. 54(2):179-187.
- Kiesling, R. 2006. "Pasado, presente y futuro del verbo Cactus". *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas*. 3(3):1-2.
- Kigel, J. y Galili, G. 1995. "Seed Development and Germination". Israel. Weizmann Institute of Science. 853 pp.
- Kucera, B., Cohn, M. y Leubner, G. 2005. "Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination". *Seed Science Research*. 15:281-307.
- Lindsay, G. 1996. "The Genus *Ferocactus*". Estados Unidos. Tireless Termites Press. 405 pp.
- Lone, A., Molo, C., Takashi, L. y Unemoto, L. 2009. "Germinação de sementes de *Rhipsalis* em diferentes substratos". *Scientia Agraria*. 10(5):419-422.

- Loza, S., López, L. y Terrazas, T. 2008. "Morphological seed traits and germination of six species of Pachycereae (Cactaceae)". Journal of the Professional Association for Cactus Development. 10:71-84.
- Maguire, J. 1962. "Speed of Germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor". Crop Science. 2(2):176-177.
- Mandujano, C.; Golubov, J. y Montaña, C. 1997. "Dormancy and endozoochorous dispersal of *Opuntia rastrera* seeds in the southern Chihuahuan Desert". Journal of Arid Environments. 36:259-266.
- Mandujano, M.; Flores, A.; Golubov, J. y Ezcurra, E. 2002^a. "Spatial distribution of three globose cacti in relation to different nurse-plant canopies and bare áreas". The Southwestern Naturalist. 47(2):162-168.
- Mandujano, M.; Golubov, J. y Reyes, J. 2002^b. "Lo que siempre quiso saber de las cactáceas y nunca se atrevió a preguntar". Biodiversitas. 40:4-7.
- Méndez, J., Merazo, J. y Montaña, N. 2008. "Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación en semillas de maíz (*Zea mays* L.), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Mill.)". Revista UDO Agrícola. 8(1):61-66.
- Mesa, M. 2011. "Cactáceas mexicanas: Usos y amenazas", Asesoría INE/ADA-026/2011. (En línea) www.inecc.gob.mx (Último acceso: Junio 2014).
- Mihalte, L., Sestras, R. y Feszt, G. 2011. "Methods to improve seed germination of Cactaceae species" Bulgarian Journal of Agricultural Science. 17(3):288-295.
- Miransari, M. y Smith, D. 2014. "Plant hormones and seed germination". Environmental and Experimental Botany. 99:110-121.
- Navarro, M., Cervante, G. y Lázaro, J. 2008. "Efecto de la escarificación de semillas en la germinación de dos especies de *Mammillaria*". Zonas Áridas. 12:97-105.
- Navarro, M. y González, E. 2007. "Efecto de la escarificación de semillas en la germinación y crecimiento de *Ferocactus robustus* (Pfeiff.) Britton & Rose (Cactaceae)". Zonas Áridas. 11:195-205.
- Navarro, M. y Juárez, M. 2006. "Evaluación de algunos patrones demográficos de *Mammillaria zephyranthoides* en Cuautinchán, Puebla, México". Zonas Áridas. 10:74-83.
- Orozco, A., Márquez, J., Sánchez, M., Gamboa, A., Baskin, J. y Baskin, c. 2007. "Seed anatomy and water uptake in relation to seed dormancy in *Opuntia tomentosa* (Cactaceae, Opuntioideae)". Annals of Botany. 99:581-592.

- Paz, A. 2013. "Propagación por semilla de cinco especies de plantas del género *Ferocactus* (Cactaceae) sujetas a conservación en el Jardín Botánico de Iztacala". Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y Suculentas. 10:13-19.
- Pérez, R., Jurado, E., Chapa, L. y Flores, J. 2011. "Seed germination of southern Chihuahuan desert plants in response to elevated temperatures". Journal of Arid Environments. 75:978-980.
- Pilbeam, J. y Bowdery, D. 2005. "*Ferocactus*". Inglaterra. British Cactus and Succulent Society. 116 pp.
- Robbins, C. 2003. "Comercio Espinoso: Comercio y conservación de cactus del Desierto Chihuahuense". Estados Unidos. Fondo Mundial para la Naturaleza. 118 pp.
- Rojas, M. 2012. "La importancia de la semilla en Cactaceae para estudios taxonómicos y filogenéticos". Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y Suculentas. 9(3):15-18.
- Rojas, M. y Batis, A. 2001. "Las semillas de cactáceas... ¿forman bancos en el suelo?". Cactáceas y Suculentas Mexicanas. 46(4):76-82.
- Rojas, M., Golubov, J., Romero, O. y Mandujano, M. 2008. "Efecto de la luz y la temperatura en la germinación de dos especies de cactáceas en CITES I". Cactáceas y Suculentas Mexicanas. 53(2):51-57.
- Rojas, M., Orozco, A. y Vázquez, C. 1997. "Effect of light on germination of seven species of cacti from the Zapotitlán Valley in Puebla, México". Journal of Arid Environments. 36:571-578.
- Rojas, M. y Vázquez, C. 2000. "Cactus seed germination: a review". Journal of Arid Environments. 44:85-104.
- Rojas, M., Vázquez, C. y Orozco, A. 1998. "Seed response to temperatura of Mexican cacti species from two life forms: an ecophysiological interpretation". Plant Ecology. 135:207-214.
- Rzedowski, J. 1983. "Vegetación de México". México. Limusa. 432 pp.
- Sánchez, E., Guadalupe, J. y Bárcenas, R. 2013. "*Ferocactus glaucescens*. The IUCN Red List of Threatened Species". IUCN. (En línea) <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T152232A612592.en> (Último acceso: Septiembre 2016)
- Sánchez, J., Jurado, E., Pando, M., Flores, J. y Muro, G. 2010. "Estrategias germinativas de las semillas en ambientes áridos". Zonas Áridas. 9:35-38.

- Sánchez, J., Muro, G., Flores, J., Jurado, E. y Saenz, J. 2005. "Los bancos de semillas y su germinación en ambientes semiáridos". *Ciencia UANL*. 18(73):69-76.
- Sánchez, Y. y Ramírez, M. 2006. "Tratamientos pregerminativos en semillas de *Leucaena leucocephala* y *Prosopis juliflora*". *Revista de la Facultad de Agronomía*. 23:257-272.
- Santana, D. y Ranal, M. 2000. "Análise estatística na germinação". Brasil, 51° Congresso Nacional de Botânica. 33 pp.
- Santos, M. 2005. "Micropropagación de *Ferocactus glaucescens* (Britton y Rose), cactácea mexicana de valor ornamental". *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas*. 2(3):6-8.
- Scheffler, W. 1981. "Bioestadística". México. Fondo Educativo Interamericano, S. A. 269 pp.
- Scheinvar, L. 2004. "Flora cactológica del Estado de Querétaro: diversidad y riqueza". México. Fondo de Cultura Económica. 390 pp.
- Sokal, R. y Rohlf, J. 1995. "Biometry. The principles and practice of statistics in Biological Research". Estados Unidos. W. H. Freeman and Company. 887 pp.
- Taiz, L. y Zeiger, E. 2006. "Plant Physiology". Estados Unidos. Sinauer Associates. 623 pp.
- Taylor, N. 1984. "A review of *Ferocactus* (Britton & Rose)". *Bradleya*. 2:19-38.
- Taylor, N. y Clark, J. 1983. "Seed-morphology and classification in *Ferocactus* subg. *Ferocactus*". *Bradleya*. 1:3-16.
- Trujillo, A. 2002. "Ecología fisiológica de la germinación de las cactáceas del género *Lophophora*". Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 74 pp.
- Vázquez, C., Orozco, A., Rojas, M., Sánchez, M. y Cervantes, V. 1995. "La reproducción de las plantas: semillas y meristemas" México. Fondo de Cultura Económica. 170 pp.
- Weirbrecht, K., Müller, K. y Leubner, G. 2011. "First off the mark: early seed germination". *Journal of Experimental Botany*. 62(10):3289-2011.
- Zukowski, W., Bogdanowicz, A. y Lembicz, M. 2010. "Seed germination in sedges: a short review". *Biodiversity Research and Conservation*. 19:15-22.

9.0 Anexos



Figura 9 Baño con termostato incorporado donde se llevó a cabo la escarificación térmica.



Figura 10 Cámara de germinación con fotoperiodo y temperatura controlados.

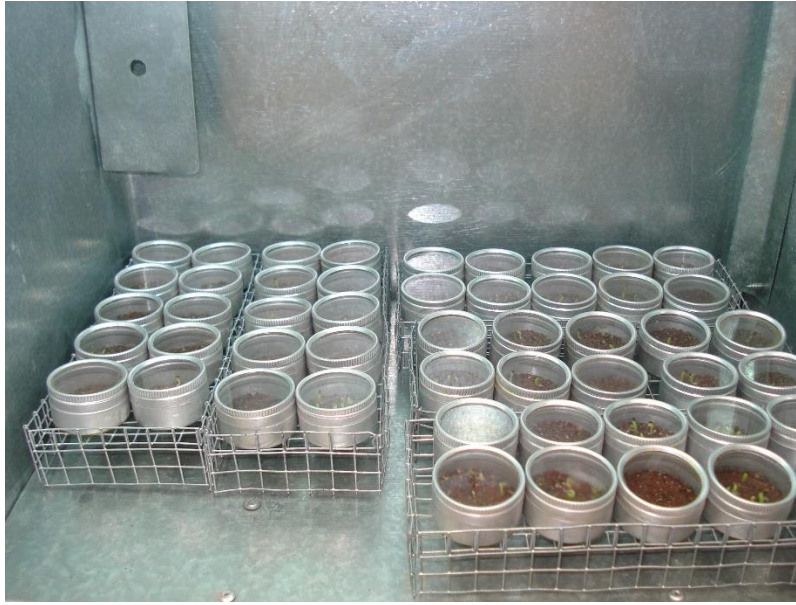


Figura 11 Unidades experimentales en la cámara de germinación dispuestas completamente al azar.



Figura 12 Plántulas de *Ferocactus glauscecens*.

Cuadros de estadísticos empleadas en el presente estudio.

Cuadro 3 Análisis de varianza (ANOVA) con una confiabilidad del 95% para la germinación de semillas de *Ferocactus glauscegens*.

Fuente	Suma Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrado Medio	f
Factor	7257.757	4	1814.4391	14.324
Error	5700.219	45	126.6715	
Total	12957.975	49		

f de tabla:	2.561
-------------	-------

Regla de decisión:

Si $f_o < f_{\text{tabla}}$ entonces **no** existen diferencias entre los tratamientos.

Si $f_o > f_{\text{tabla}}$ entonces **sí** existen diferencias entre los tratamientos.

Cuadro 4 Comparación de medias (Tukey) con una confiabilidad del 95% para la germinación de semillas de *Ferocactus glauscegens*.

	H ₂ O	35°C	50°C	65°C	HCl
H ₂ O	-	6.791	0.732	32.545*	4.859
35°C		-	6.059	25.755*	1.931
50°C			-	31.814*	4.128
65°C				-	27.686*
M5					-

	gl	
q	45	Tukey
0.95	4.02	20.234

Regla de decisión:

Si $q_o < q_{\text{tabla}}$ entonces **no** existen diferencias entre las medias.

Si $q_o > q_{\text{tabla}}$ entonces **sí** existen diferencias entre las medias.