

Estudio de germinación y crecimiento en semillas de *Ferocactus histrix* (De Candolle)

Louсталot Laclette Eugenia¹, Malda Barrera Guadalupe Xochitl^{1*}, Suzán Azpiri Humberto¹, Hernández Sandoval Luis Gerardo¹ & Guevara Escobar Aurelio¹

Resumen

Se evaluó la germinación y crecimiento de plántulas en *Ferocactus histrix* en semillas sometidas a escarificación y a inmersión en ácido giberélico (5% y 10%). La escarificación produjo la mayor germinación (90%), mientras que la menor fue con giberelina al 10% (62%). El tiempo para el 50% de germinación, calculado como índice de velocidad de germinación (IVG), presentó también diferencias significativas ($P < 0.05$); así como el posterior crecimiento de las plántulas, registrado como incremento en volumen y número de areolas durante cuatro meses. Las plántulas derivadas de semillas escarificadas presentaron más areolas ($\bar{x}=8.5$); mientras que las semillas tratadas con giberelina al 5% derivaron plántulas con menos areolas ($\bar{x}=7.2$), aunque de mayor volumen. Aun aunque con las semillas no tratadas se obtuvieron resultados similares, la escarificación y la inmersión en giberelina al 5% favorece el vigor de las plántulas en su fase inicial.

Palabras clave: crecimiento de plántulas, *Ferocactus histrix*, germinación, giberelina.

Abstract

We evaluated seed germination and further seedling growth from *Ferocactus histrix* seeds treated with mechanical scarification and gibberellin immersions (5% and 10%). Scarified seeds presented higher germination rates (90%), whereas 10% gibberellin produced 62% germination. There were also statistical differences in time for 50% germination ($P < 0.05$), as well as in the further seedling growth, which was evaluated in terms of volume and number of areoles during a four months period. Seedlings from scarification treatments had more areoles ($\bar{x}=8.5$), and seedlings from 5% gibberellin germination treatments were larger in volume but with fewer areoles ($\bar{x}=7.2$). Although non-treated seeds resulted in slightly lower, similar results, it seems that seed scarification as well as immersions with 5% gibberellin favors seedling robustness in their earlier months of life.

Keywords: *Ferocactus histrix*, germination, gibberellin, seedling growth.

Introducción

La problemática de la protección y conservación de las cactáceas es compleja, siendo aún mayor cuando las especies se

ven afectadas por la sobreexplotación de sus poblaciones naturales. Tal es el caso de *Ferocactus histrix* (De Candolle), un cactus globoso de gran tamaño que se encuentra en peligro de extinción debido a la gran

¹ Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas s/n, c.p. 76010, Querétaro, Oro.

* Autor de correspondencia: gmalda@uaq.mx



Israel Carrillo

FOTO 1. Planta adulta de *Ferocactus histrix*.

Salvador Arias



FOTO 2. Dos individuos de *Ferocactus histrix*, la diferencia de talla posiblemente pueda deberse a momentos diferentes de reclutamiento en la población.

Salvador Arias



FOTO 3. Individuo de *Ferocactus histrix* con flores y botones florales.

cantidad de ejemplares extraídos para la elaboración de dulces o para formar parte de jardines y colecciones privadas en todo el mundo (Chávez-Martínez *et al.* 2007; Harker *et al.* 2008); y aunque esta especie es ampliamente aprovechada, no existe un plan de manejo de sus poblaciones, y es escasa la información básica sobre su crecimiento y desarrollo. Desde hace más de 20 años la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010) ha determinado a *F. histrix* como especie en riesgo, sujeta a protección especial (Pr).

A pesar de que muchas cactáceas, incluyendo a esta especie, presentan numerosos frutos con un gran número de semillas, la presencia de plántulas y juveniles en campo es muy escasa (Nobel 1998; Nolasco *et al.* 1996); y la habilidad para reestablecerse demográficamente después de un evento de perturbación local es muy limitada (Hernández & Godínez-Álvarez 1994). El estudio de las fases iniciales del ciclo de vida en este tipo de especies es de vital importancia para revelar aspectos de su viabilidad de propagación y reclutamiento (Meiners & Handel 2000). El conocimiento acerca de las etapas críticas en la germinación y el crecimiento de plántulas, permitirá planear con mayor facilidad programas de manejo, reforestación y conservación.

La propagación por semillas es crucial para mantener la diversidad genética, y aunque existen una buena cantidad de estudios sobre germinación en cactáceas, aún faltan varios aspectos por conocer sobre la viabilidad y requerimientos particulares para la germinación. Se han probado métodos de escarificación mecánica y métodos químicos para incrementar la respuesta germinativa de las semillas; y los diversos trabajos de germinación hechos en cactá-

ceas indican que la mayoría de las especies presentan una germinación muy rápida (Rojas-Aréchiga & Vázquez-Yanes 2000). Un estudio evaluando el efecto de factores bióticos y abióticos sobre la respuesta germinativa y el crecimiento de plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Ruedas *et al.* 2000) encontró que la variación de la temperatura afectó la velocidad de germinación y los pretratamientos de escarificación con ácido no tuvieron un efecto significativo sobre la germinación.

Un tratamiento químico frecuentemente utilizado para una gran diversidad de semillas para promover la germinación es la aplicación exógena de un fitorregulador como el ácido giberélico (AG) para promover la germinación, como se ha demostrado para semillas de *Trichocereus terscheckii* en distintas concentraciones de AG bajo condiciones diferentes de temperatura y luz. Las semillas expuestas a esta hormona germinaron aun en condiciones de oscuridad (Ortega-Baes & Rojas-Aréchiga 2007). En contraste, la aplicación de diferentes concentraciones de AG en semillas de *Cereus peruvianus* sembradas *in vitro* no produjo ningún efecto en la respuesta germinativa (Carvalho *et al.* 2008). Por otro lado, Rojas-Aréchiga *et al.* (2011) estudiaron el fotoblastismo y la aplicación de AG en diferentes especies de opuntias, demostrando que la respuesta fotoblástica es más determinante para la germinación y que el efecto del AG es dependiente de la especie; ya que las giberelinas aplicadas a semillas de cactáceas de difícil germinación dan resultados muy contrastantes.

La participación de las giberelinas en el control de la germinación ocurre induciendo rompimiento de la latencia después de la hidratación de las semillas, y de esta

manera permitiendo el crecimiento del embrión (Kozłowski & Pallardy 1997; Hartman *et al.* 2002); de tal manera que la aplicación de estas sustancias en semillas que no hayan sido previamente tratadas para reblandecer o debilitar la testa (como escarificación o imbibición) no presenten resultados positivos.

Por otro lado, las giberelinas son importantes también para la inducción del crecimiento del tallo debido al estímulo de la elongación celular; y aunque este es el efecto más evidente al aplicar giberelinas exógenas en plantas (Shrivastava 2001), están muy poco documentados los efectos en el posterior crecimiento de las plántulas que pudieran ocasionar las giberelinas aplicadas a las semillas. La mayoría de los estudios donde se aplican estimuladores de germinación en semillas de cactáceas registran la respuesta germinativa; ya sea como la emergencia de la radícula o bien como la emergencia del epicótilo. Sólo algunos estudios siguen el crecimiento de las plántulas pero en relación a otras condiciones incidiendo en las plántulas, como el de Ruedas *et al.* (2000) donde mencionan que el crecimiento de las plántulas, en condiciones de invernadero, presentaron crecimiento lento pero respondiendo positivamente a la adición de nutrimentos y a los niveles elevados de exposición lumínica. Otros trabajos también han demostrado que las plántulas de cactáceas tienen un crecimiento lento (Steenbergh & Lowe 1969; Godínez-Álvarez & Valiente Banuet 1998).

No obstante que se ha descrito el crecimiento de las plántulas de cactáceas como lento, se tienen observaciones que indican que al menos durante los primeros días siguientes a la germinación, las cactáceas

presentan ritmos más rápidos de crecimiento, asociados inclusive con un cambio en su metabolismo fotosintético, de ser CAM a comportarse como plantas tipo C3 (Altesor *et al.* 1992). En condiciones naturales la germinación de cactáceas ocurre durante la época del año en que el suelo mantiene su mayor humedad, lo cual favorece este crecimiento más acelerado de manera eventual; por lo que la disponibilidad estacional de agua en el suelo resulta ser un factor crucial durante las primeras etapas de vida de las plántulas.

En particular para la especie *Ferocactus histrix*, aunque no se ha estudiado en detalle el crecimiento de plántulas, sí existen trabajos previos sobre su comportamiento germinativo. Amador-Alfárez *et al.* (2013), encuentran que el proceso de la germinación inicia a los primeros días de siembra, observando un mayor porcentaje de germinación (77%) a los 9 días, en semillas sin pretratamiento alguno. Esto coincide con lo reportado por Rojas-Aréchiga *et al.* (2011), quienes indican que además esta especie presenta valores entre 75 y 80% de germinación bajo condiciones de luz exclusivamente (0% germinación en oscuridad), con lo cual le asignan un valor alto de Germinación Relativa en Luz (RLG=1; Milberg *et al.* 2000) que corresponde a una semilla fotoblástica. En lo que respecta a la velocidad de germinación, Del Castillo (1986) encontró que semillas de *F. histrix* germinan entre el cuarto y sexto día posteriores al sembrado.

Con el presente trabajo se pretende analizar el efecto de dos tratamientos (escarificación para favorecer la hidratación y aplicación de AG como promotor de germinación y crecimiento), sobre la respuesta germinativa de semillas y sobre

el posterior desempeño de las plántulas durante los primeros meses del crecimiento de *Ferocactus histrix*.

Material y metodos

Descripción de la especie

Ferocactus histrix (De Candolle). Plantas simples de tallo globoso hasta ampliamente subovoide (Foto 1-3, 5-6), de alrededor de 50 cm de altura y diámetro, pero a veces puede alcanzar hasta más de un metro de altura; ápice algo aplanado y tomentoso. Costillas 20 a 38, rectas agudas de 2 a 3 cm de altura, poco tuberculadas. Areolas distantes entre sí 2 a 3 cm, ovales de 2 cm de longitud, cuando jóvenes con tomento amarillento, después grisáceo. Espinas gruesa, amarillas en su totalidad o con tinte rojizo hacia la base, a veces con el tiempo de color castaño. Espinas radiales 8 o más, ligeramente curvas, espina central 1, hasta de 9 cm de longitud, recta o ligeramente curva, anulada, a veces aplanada lateralmente. Flores campanuladas amarillas, pericarpelo con escamas amarillas ciliadas, filamentos de color verde amarillento, anteras pequeñas, amarillas, fruto cortamente elipsoide de 2 cm de diámetro, blanco de paredes delgadas, delicuescente, comestible. Semillas pequeñas de 1 mm de longitud de color castaño oscuro (Bravo & Sánchez-Mejorada 1991) (Foto 4).

Ferocactus histrix tiene una amplia distribución que va desde los cerros de la altiplanicie central, en los estados de Puebla, Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, Aguascalientes, Durango y Zacatecas, extendiéndose hasta Jalisco. Ha sido colectada, entre otros lugares al Noreste de Troncoso, Zacatecas y al oeste de Ojuelos, Aguascalientes, México.

Colecta y manejo de semillas

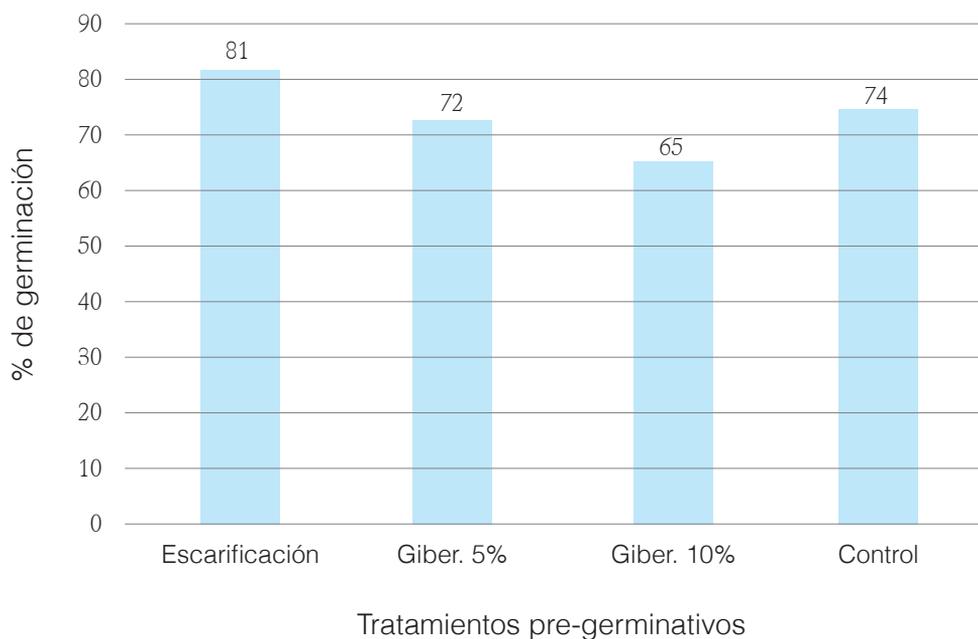
En la localidad de Cadereyta, Querétaro, se recolectaron frutos de *F. histrix*. Se extrajeron

las semillas, que fueron lavadas y desinfectadas por inmersión en una solución de cloro (10%) comercial durante 5 min (Vega-Villasante *et al.* 1996), y se enjuagaron varias veces con agua destilada. Se dejaron secar y se envasaron en frascos de vidrio debidamente tapados que se mantuvieron en refrigeración durante quince días para posteriormente dar inicio a los ensayos de germinación.

Tratamientos pre-germinativos

A las semillas de *F. histrix* se les aplicaron tres tratamientos: a) Escarificación mecánica, consistiendo en un raspado muy leve de la superficie de la semilla b) Inmersión en una solución de giberelina al 5% durante una hora c) Inmersión en solución de giberelina al 10% durante una hora; y d) un control al cual no se le hizo ningún tipo de tratamiento. En cada tratamiento se utilizaron un total de 90 semillas repartidas en tres réplicas de 30 semillas, las cuales se sembraron en contenedores de 30 x 20 cm con una mezcla de vivero comercial recomendado para germinación (Sunshine Mix No. 3) que contiene peat moss fino, vermiculita, cal dolomítica, carga de fertilizante y agente humectante. Las semillas se mantuvieron dentro de una cámara ambiental a una temperatura de 26-27 °C con luz fluorescente durante el día y 8 horas de oscuridad. Se tomaron registros de germinación diariamente por un mes, registrándose como "semilla germinada" cuando se observaba la emergencia del epicótilo. La respuesta germinativa se calculó mediante los siguientes criterios:

1. Germinabilidad: calculado como el porcentaje de semillas germinadas en el tiempo, en un periodo de 15 días. El examen de germinación se concluyó después de dos semanas ya que la mayoría de las semillas germinó antes de los 10 días. Como la germinación se mide en porcentaje, los datos fueron transformados con el arcoseno con el fin de cumplir los supuestos



Tratamiento	Escarificación	Giber. 5%	Giber. 10%	Control
Tukey $\alpha=0.05$	A	B	C	B

FIGURA 1. Porcentajes de germinación observados bajo diferentes tratamientos pre-germinativos aplicados a semillas de *F. histrix*. Diferentes letras significan diferencias significativas a alfa = 0.05 (Tukey).

estadísticos (Flores & Jurado 1998). Así, los datos fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza para ver si había diferencia significativa de germinación entre los tratamientos. Cuando la probabilidad de F fue menor a ($P < 0.05$), se utilizó la prueba Duncan para determinar en cuáles tratamientos se mostraban las diferencias.

2. Tiempo de germinación. Determinado como el día en que la primera germinación ocurre.

3. Velocidad de germinación. Se calcula como el tiempo (en días) en donde el 50% de

las semillas germinaron, mediante el índice de velocidad de germinación (IVG) (Flores & Jurado 1998; Flores *et al.* 2011).

Evaluación del crecimiento de las plántulas en sus primeras etapas

Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo posterior de las plántulas, se midió su crecimiento evaluando el incremento en volumen. Sin embargo, considerando que el volumen acumulado en estas plantas suculentas puede ser simplemente consecuencia de su contenido de agua y no necesariamente refleja crecimiento,

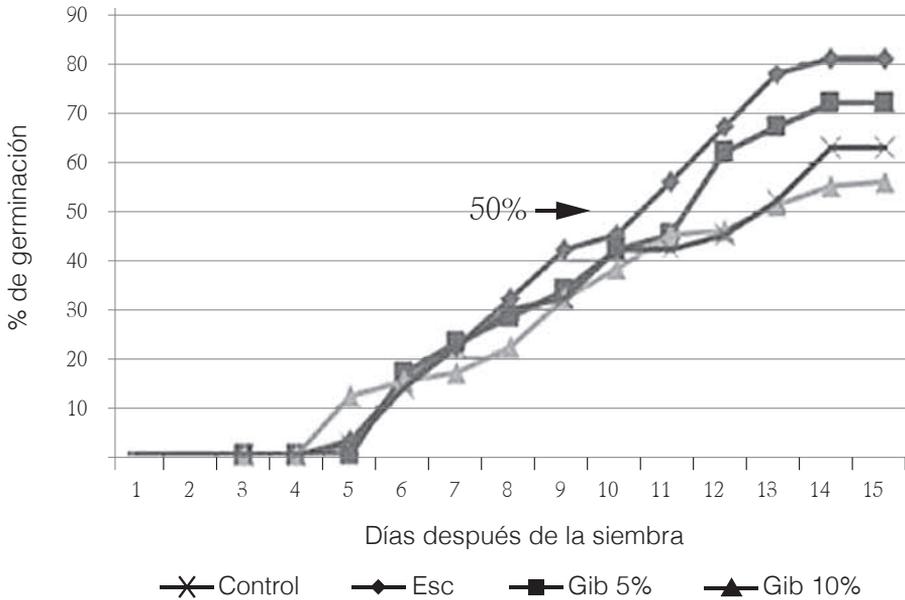


FIGURA 2. Germinación acumulada y velocidad de germinación de *Ferocactus histrix* calculada como el número de días en que se alcanzó el 50% de germinación.

se tomó como parámetro de crecimiento activo el número de areolas, que son resultado de la formación de nuevas estructuras y se consideran como el equivalente a una nueva rama en cualquier otro tipo de planta (Nobel 2002).

Para determinar el volumen se tomaron medidas de grosor y altura; y suponiendo que las plántulas de *F. histrix* se asemejan a un cilindro, se hizo una aproximación geométrica mediante la fórmula $\pi \cdot r^2 \cdot h$, donde $\pi = 3.1416$, $r^2 =$ radio al cuadrado y $h =$ altura (Malda 1999). Al mismo tiempo se contó el número de areolas en cada individuo por tratamiento y se analizó la relación entre volumen y el número de areolas mediante una prueba de regresión lineal simple para verificar la relación entre estos dos parámetros.

El crecimiento de las plántulas se inició a los quince días de germinación y continuó hasta cuatro meses después. Las condiciones ambien-

tales se mantuvieron de la misma manera que durante las pruebas de germinación.

Resultados

Germinación

Los tratamientos aplicados a las semillas presentaron diferencias ($F = 130.0$, $P < 0.0001$), siendo los tratamientos de escarificación y la giberelina al 5% los que promovieron ligeramente la germinación de semillas (Fig. 1).

De igual manera, la respuesta germinativa con respecto al tiempo es más rápida cuando se escarifican las semillas. A los diez días de siembra se alcanzó el 50% de germinación con las semillas escarificadas, siendo éste el menor tiempo en comparación con el resto de los tratamientos. En

CUADRO 1. Análisis de regresión lineal (modelo: $Y = a + bX + e$) entre volumen y número de areolas observados hasta el cuarto mes de edad de las plántulas de *F. histrix*. ($F=148.14$; $P<0.00001$)

Parámetro	Estimado	Error	Estadística	P-Valor
a= (ordenada al origen)	0.03097	0.0503232	0.615618	0.5397
b= pendiente	0.06876	0.0056499	12.1713	0.0000

menor grado, pero con sólo un día de diferencia, fue estimulada también la velocidad de germinación con la aplicación de ácido giberélico al 5% (Fig.2).

Crecimiento de plántulas

Mediante la regresión lineal simple entre los parámetros de volumen y número de areolas observados hasta el cuarto mes de edad de las plántulas, se observó una variabilidad de datos del 62.7% y se obtuvo una correlación positiva significativa ($r=0.792049$), lo cual sugiere que sí existe relación entre el volumen de las plantas y su número de areolas (Cuadro 1). Con base en esto, las mediciones tanto de volumen como número de areolas se verificaron para considerarse como parámetros adecuados de evaluación del crecimiento de plántulas de *Ferocactus histrix*.

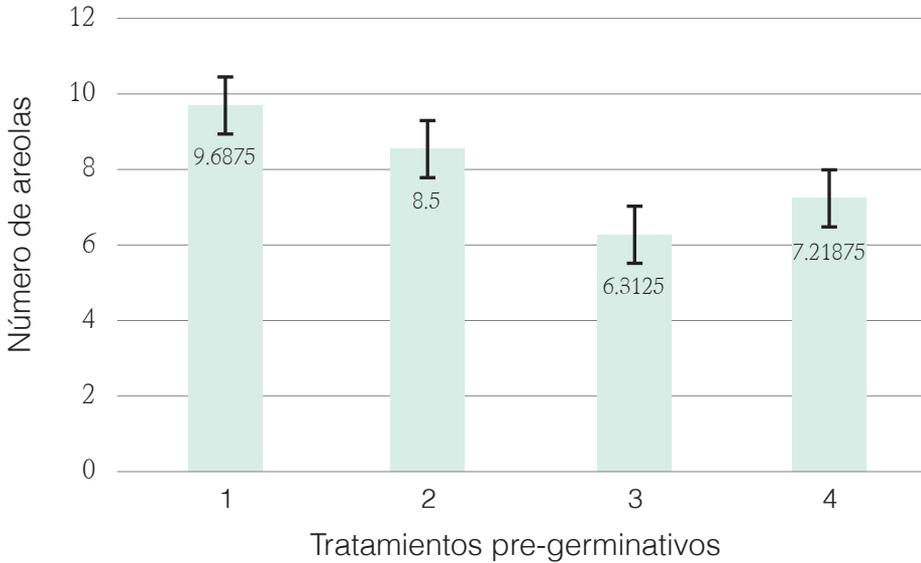
El crecimiento de las plántulas durante los 4 meses posteriores a la germinación mostró diferencias entre los diferentes tratamientos germinativos que se aplicaron a las semillas. Al igual que con la respuesta de germinación, donde la escarificación de las semillas promovió los mejores resultados,

las plántulas derivadas de este tratamiento pre-germinativo presentaron mejor crecimiento a los cuatro meses de edad, en comparación con el resto de los tratamientos. Específicamente con respecto al desarrollo de areolas, considerando que las plántulas derivadas de semillas sin ningún tratamiento (grupo control) presentaron un promedio de 8.5 areolas, resulta que el tratamiento de escarificación de semillas favoreció su desarrollo al presentar un promedio de 9.7 areolas en las plántulas derivadas (Fig. 3). En contraste, los tratamientos con giberelina no favorecieron el desarrollo de areolas, ya que la giberelina al 5% originó plántulas con un promedio de 7.2 areolas y las plántulas derivadas del tratamiento de giberelina al 10% presentaron el menor número, con 6.3 areolas en promedio.

En cuanto al tamaño de las plántulas, es evidente que los volúmenes son mayores cuando a las semillas se les aplican pre tratamientos de escarificación o de ácido giberélico al 5%, y el promedio de los volúmenes en ambos tratamientos se mantuvo en 0.78 cm^3 (Fig. 4). Sin embargo, aunque en ambos casos los tamaños fueron similares,

CUADRO 2. Altura y grosor promedio y desviación estándar de plántulas de cuatro meses de edad, derivadas de semillas escarificadas y semillas tratadas con giberelina al 5%. DE= desviación estándar.

Mes	Escarificación		Giberelina al 5%	
Mes 1	altura =.21cm DE 0.0625	grosor=.21 cm 0.0414	Altura=.21 cm DE 0.0601	grosor=.24 cm 0.04974
Mes 4	altura =1.1cm DE 0.14677	grosor=.44 cm 0.08532	Altura=1.0 cm DE 0.14239	grosor=0.7 cm 0.28576



Tratamiento	Control	Escarificación	Giber. 10%	Giber. 5%
Tukey $\alpha=0.05$	B	A	A B	B

FIGURA 3.- Número total de areolas y prueba de Tukey en relación a los tratamientos pre-germinativos en plántulas de cuatro meses de edad en *Ferocactus histrix*. Tratamientos pre-germinativos: 1) Control; 2) Escarificación; 3) Giberelina 10%; 4) Giberelina 5%.

es importante hacer la distinción de la forma en que incrementaron su volumen. Las plántulas derivadas de semillas escarificadas crecieron altas y delgadas, mientras que las que fueron sometidas al tratamiento pre-germinativo de 5% de ácido giberélico fueron un poco más bajas pero más gruesas (Cuadro 2). Esto puede influir de manera importante en la capacidad del cuerpo de la plántula para almacenar agua, así como para interceptar luz para su actividad fotosintética.

Discusión

Germinación

La germinación de las semillas es un proceso crítico dentro del ciclo de vida de las plantas

superiores. En las cactáceas se han encontrado diferentes estrategias para promover la germinación, como por ejemplo, la escarificación y adición de giberelinas entre otras sustancias. Aunque se sugiere que las giberelinas sustituyen el requerimiento de luz para la germinación en semillas fotoblásticas de algunas cactáceas (Rojas-Aréchiga & Vázquez-Yanes 2000), algunos estudios han demostrado otros efectos e interacciones de las giberelinas sobre la germinación y posterior crecimiento en cactáceas. Flores Martínez *et al.* (2003) estudiaron semillas de *Mammillaria huitzilopochtli* que teniendo 15 meses de edad presentaron 33% de germinación y de 18 meses de edad germinaron sólo 6%; pero tratándolas con AG aumentó

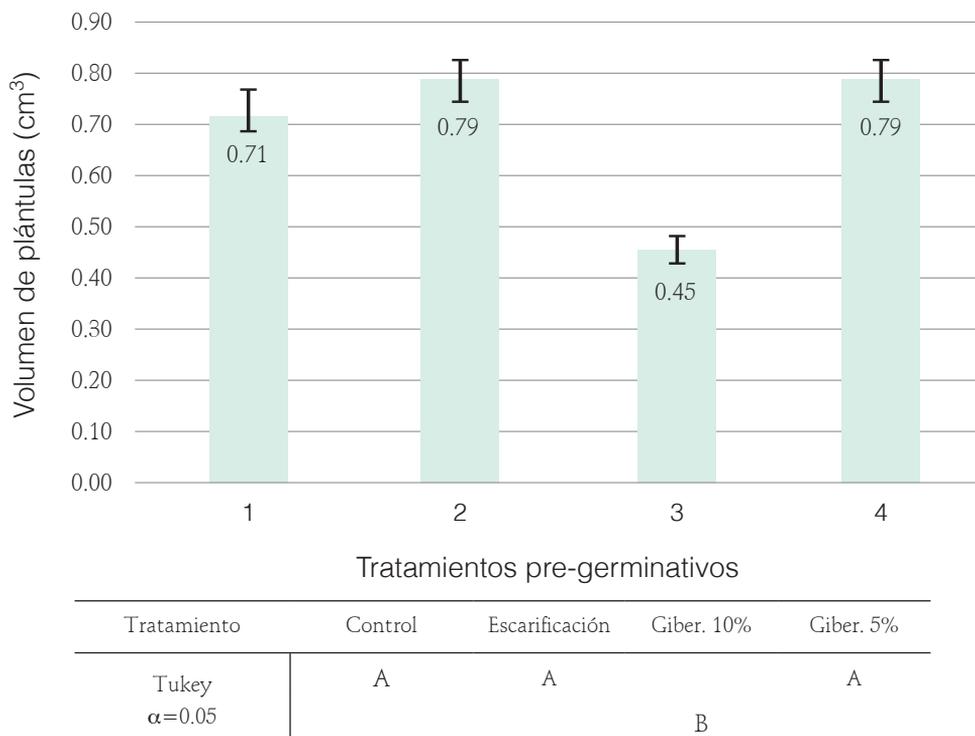


FIGURA 4. Volumen promedio y prueba de Tukey en relación a los tratamientos pre-germinativos en plántulas de cuatro meses de edad de *Ferocactus histrix*. Tratamientos pre-germinativos: 1-Control; 2-Escarificación; 3-Giberelina 10%; 4-Giberelina 5%.

a 41 y 46% respectivamente, mientras que en semillas nuevas aumentó de 90 a 92%. Sin embargo, en este mismo estudio el ácido giberélico no tuvo ningún efecto con semillas de *Mammillaria oteroi*, lo cual coincide con lo reportado por Mandujano *et al.* (2007), quienes tampoco detectaron ningún efecto promotor en la germinación al aplicar giberelina (200 ppm) en diferentes especies de *Opuntia*; o la falta de respuesta a 500 y 1000 ppm de AG en 4 especies diferentes de *Mammillaria* (Rojas-Aréchiga 2008). Del mismo modo, y con respecto a *Ferocactus histrix*, Amador *et al.* (2013) aplicaron giberelina en concentraciones de 125, 250 y 500 ppm, sin observar ningún efecto significativo sobre la germinación ni en el

crecimiento de plántulas de esta especie. No obstante, en todos estos reportes las concentraciones de giberelinas aplicadas son muy diferentes a las utilizadas en el presente trabajo, ya que si las expresamos en porcentaje, resultan muy pequeñas (*e.g.* 500 ppm equivale a 0.05%). Así, la respuesta germinativa que se observó en nuestro estudio utilizando una concentración de giberelina al 5% (81% vs. 70% en semillas no tratadas), puede sugerir que efectivamente la aplicación de giberelinas en concentraciones así de altas favorece la respuesta de germinación. Sin embargo, concentraciones mucho más altas inhiben la germinación. En nuestra aplicación de giberelinas al 10%, el 50 % de las semillas germinaron el día 13

y se alcanzó la máxima germinación (62%) hasta el día 17. Esta alta concentración de giberelina repercutió negativamente en la respuesta germinativa, lo cual concuerda con Crocker (1996), quien aludió sobre la inhibición que causa la adición en cantidades grandes de hormonas actuando como inhibidores de germinación ya que las altas concentraciones de AG pueden saturar los receptores en la semilla. De este modo, aunque las respuestas a las giberelinas en semillas de cactáceas dependen mucho de las concentraciones utilizadas, es claro que el efecto de este regulador de crecimiento depende mucho de las especies (Rojas-Aréchiga *et al.* 2011)

Existen otros factores que también activan la germinación de estas semillas como es la escarificación mecánica. Aunque con una ligera diferencia en pocos días, la velocidad de germinación fue favorecida con este tratamiento. Se observó que el 50 % de las semillas escarificadas germinaron el día 10 después de la siembra y para el día 13 ya había alcanzado el valor máximo de germinación (90%), en contraste con las semillas sin tratar que en el día 13 alcanzaron apenas el 50% de las semillas germinadas. Para algunas especies de cactáceas los porcentajes germinativos reportados varían en función del tipo de escarificación (D' Auberrete *et al.* 2006). Escobar y Huerta (1999) mostraron que el paso de las semillas de *Ferocactus histrix* por el tracto digestivo de herbívoros acelera la germinación en contraste con las obtenidas en el fruto sin ningún tratamiento. El proceso gradual de desgaste en la cubierta es un factor importante para promover la germinación de estas semillas. En su ambiente natural, las semillas tienen que esperar la temporada de lluvia para activar

su germinación, pero en el caso de las charolas germinativas, la semilla simplemente eclosiona en la presencia de agua y luz adecuada (Hartmann *et al.* 2002). Por su parte Navarro (2007), concluyó que las semillas de *Ferocactus robustus* mostraban aumento significativo cuando eran escarificadas previamente. Específicamente para *F. histrix*, Sánchez (2013) reporta incrementos en la respuesta germinativa al aplicar tratamientos como la imbibición en agua y la escarificación con hipoclorito de sodio al 30% por 15 min; sin embargo los porcentajes de germinación obtenidos aún en estos casos fueron muy bajos (16 a 22%). Esto contrasta fuertemente con nuestros resultados, aunque hay que considerar que en aquel estudio se mantuvieron condiciones de cultivo muy diferentes a las utilizadas en el presente trabajo, en particular con respecto al sustrato (*i. e.* tierra de hojarasca con roca volcánica vs. sustrato comercial de vivero) y condición de los almácigos (en invernadero a 28°C vs. cámara ambiental a 26°C constante).

Crecimiento de plántulas

En este estudio se observa que los tratamientos pre-germinativos tienen un ligero efecto en el crecimiento posterior de las plántulas. Aquellas semillas escarificadas mecánicamente y con giberelina al 5% crecieron ligeramente más en su volumen total comparadas con el resto, mostrando un volumen promedio de 0.78 cm³ en contraste con las semillas no tratadas (0.61 cm³) o las tratadas con giberelina al 10% (0.40 cm³).

Tomando en cuenta que el volumen puede ser un dato engañoso para medir crecimiento ya que la plántula simplemente puede estar más o menos hidratada, se

registró la formación de areolas como parámetro de crecimiento. Basado en los resultados del presente trabajo, se puede decir que las plántulas con previa escarificación mecánica mostraron más crecimiento por presentar mayor número de areolas 9.7, en contraste con las plántulas derivadas de semillas control que presentaron un promedio de 8.5 areolas, o aquellas sometidas a giberelinas al 5% con un promedio de 7.2 areolas. Se puede concluir que las semillas escarificadas de manera mecánica lograron una hidratación interna que activó favorablemente los procesos involucrados con el crecimiento del embrión y la plántula derivada; mientras que incluso la aplicación de hormonas como las giberelinas no promovieron mucho la formación de dichas estructuras. Por su parte, Navarro (2007) también encontró que la previa escarificación no afecta a la germinación; pero sí determina el tamaño de las plántulas. Los valores promedio mayores de diámetro y altura se obtuvieron al exponer las semillas a 4°C durante una semana y a ácido sulfúrico durante 1.5 min.

Se ha demostrado en varios ensayos que la presencia de reguladores de crecimiento vegetal estimula la formación de raíces, la germinación y estimula la actividad de ciertas enzimas en las plantas que promueven crecimiento (Bandurski *et al.* 1993; Jankiewicz & Acosta-Zamudio 2003; Barket *et al.* 2007). Para estudios de cultivo *in vitro* se ha reportado que bajas concentraciones de giberelinas promueven el alargamiento de brotes y raíces en especies de interés comercial (Coello *et al.* 2010), y de hecho el ácido giberélico es mejor conocido por su función en el alargamiento axial de tallos, raíces e inflorescencias (De Masson 2005). En el caso de *Trichocereus terscheckii*

se sabe que germina con facilidad cuando es expuesta a temperaturas entre 15 y 35°C, luz blanca y si se le agrega giberelina se promueve germinación sin importar la presencia o ausencia de luz (Ortega-Baes & Rojas-Aréchiga 2007). Cabe mencionar, sin embargo, que otro autor como Amador-Alferez *et al.* (2013) observó que la adición de reguladores de crecimiento, como la giberelina, no favoreció un aumento en el crecimiento de dos especies de *Ferocactus*. El efecto de giberelinas en el crecimiento de algunas especies de plantas de zonas áridas es poco claro, debido a los escasos trabajos, a las diferentes edades de almacenamiento de las semillas y las diferentes concentraciones utilizadas por distintos autores.

En conclusión, la escarificación mecánica contribuye a acelerar el inicio de la respuesta germinativa de semillas en *Ferocactus histrix*; y aunque también se observó que esta planta no tiene problemas de germinación ya que el grupo control también se registró un porcentaje favorable, este tratamiento a las semillas es recomendable porque además el posterior crecimiento de las plántulas sí se ve beneficiado. Por otro lado, aunque las plántulas derivadas del tratamiento con giberelinas al 5% mostraron aumento de volumen, no podría considerarse propiamente como un estímulo al crecimiento, ya que no se favoreció la formación de mayor cantidad de areolas. En este estudio, las giberelinas aplicadas no tuvieron un efecto notable en etapas tempranas del crecimiento de plántulas de *Ferocactus histrix*. La mayor presencia de areolas, aunada a un mayor volumen, puede ser un factor muy importante para la sobrevivencia de las plántulas, aunque esto no se ha documentado.

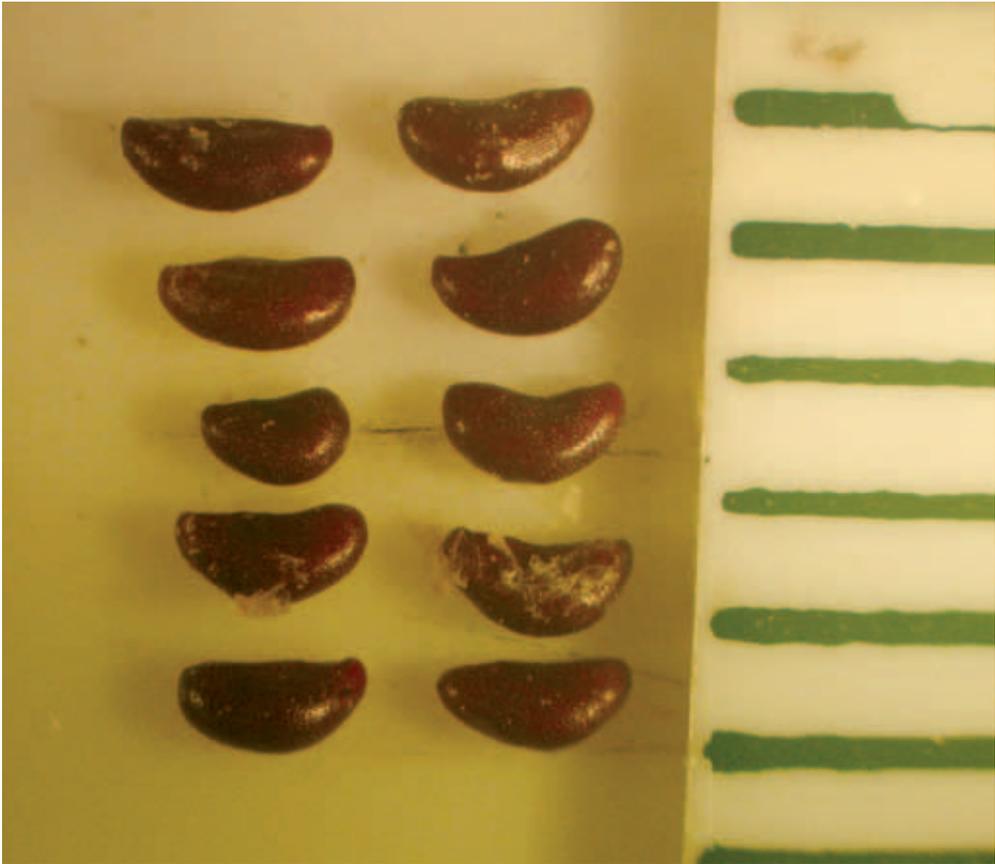


FOTO 4. Semillas de *Ferocactus histrix* bajo el microscopio estereoscópico (10x).

Agradecimientos

Los autores agradecemos el apoyo brindado por el Laboratorio de Ecología de la Facultad de Ciencias Naturales, proporcionándonos el equipo y materiales para la ejecución de este trabajo.

Bibliografía

- Altesor A, Ezcurra E & Silva C. 1992. Changes in the photosynthetic metabolism during the early ontogeny of four cactus species. *Acta Oecol* **13**:777-85.
- Amador-Alfárez KA, Díaz-González J, Loza-Cornejo S & Bivian-Castro E. 2013. Efecto de diferentes reguladores de crecimiento vegetal sobre la germinación de semillas y desarrollo de plántulas de dos especies de *Ferocactus* (Cactaceae). *Polibotánica* **35**:109-131.
- Bandurski S, Slovi J & Cohen J.D. 1993. *Auxinas. Fisiología y Bioquímica*. Interamericana-McGraw-Hill.
- Barket A, Rani S, Hayat T & Ahmad H. 2007. Effect of 4-Cl-indole-3-acetic acid on the seed germination of *Cicerarietinum* exposed to cadmium. *Acta Bot Croat* **66**: 57-65.
- Bravo H. & Sánchez-Mejorada H. 1991. *Las cactáceas de México*. Vol. III Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Israel Carrillo



FOTO 5. Vista superior de *Ferocactus histrix*.

Israel Carrillo



FOTO 6. Individuo joven de *Ferocactus histrix*.

- Chávez-Martínez R & Hernández-Oria G. 2007. Documentación de factores de amenaza para la flora cactológica del semi-desierto Queretano. *Boletín Nakari* **18**: 89-95.
- Coello C, Miceli C, Orantes C, Dendooven L & Gutiérrez F. 2010. Optimización de reguladores de crecimiento para el cultivo *in vitro* de la orquídea *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressier & W.E. Higgins. *Gayana Bot* **67**: 19-26.
- Crocker S. 1996. *The plant hormone: View a general introduction to plant hormones as well as specifics about your favorite hormone*. Northern Illinois University.
- D'Auberrette R, Piñero Z, García E & Figarella M. 2006. Efecto de diferentes métodos de escarificación sobre la germinación de cinco especies de cactáceas (*Opuntia ficus indica*, *Pilosocereus moritzianus*, *Stenocereus griseus*, *Cereus deficiens* y *Cereus hexagonus*) del estado de Lara. Simposio - Taller Experiencias en Agroforestería ejecutadas o en proceso por el INIA. Venezuela. 13-17 pp. Disponible en URL: http://ceniap.gov.ve/pbd/Congresos/agroforesteria/articulos%20pdf/daubeterre_ramon_2.pdf
- De Masson D. 2005. Auxin-cytokinin and auxin-gibberellin interactions during morphogenesis of the compound leaves of pea (*Pisum sativum*). *Planta* **22**: 151-166.
- Del Castillo R. 1986. Semillas, germinación y establecimiento de *Ferocactus histrix*. *Cact Suc Mex* **31**: 5-11.
- Escobar Santos V & Huerta Martínez FM. 1999. Relaciones ecológicas de *Ferocactus histrix* (DC.) Lindsay en los llanos de Ojuelos, Jalisco-Zacatecas. *Cact Suc Mex* **44**: 40-48.
- Flores J, Jurado E, Chapa-Vargas L, Ceroni-Stuva A, Dávila-Aranda P, Galíndez G, Gurvich D, León-Lobos P, Ordóñez C, Ortega-Baes P, Ramírez-Bullón N, Sandoval A, Seal CE, Ullian T & Pritchard HW. 2011. Seeds photoblastism and its relationship with some plant traits in 136 cacti taxa. *Environ Exp Bot* **71**: 79-88.
- Flores J & Jurado E. 1998. Germination and early growth traits of 14 plant species native to northern Mexico. *Southwest Nat* **43**: 40-46.
- Godínez A H & Valiente-Banuet A. 1998. Germination and early seedling growth of Tehuacan Valley cacti species: the role of seed ingestion by dispersers and soils on seedling growth. *J Arid Environ* **39**: 21-32.
- Harker M L, García-Rubio A & Riojas-López ME. 2008. Composición florística de cuatro hábitats en el Rancho Las Papas de Arriba, municipio de Ojuelos, Jalisco, México. *Acta Bot Mex* **85**: 1-9.
- Hartmann H, Kester J, Davies F & Geneve R. 2002. *Plant propagation principles and practices*. 7th Edition. Prentice Hall.
- Hernández HM & Godínez-Álvarez HO. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Bot Mex* **26**: 33-52.
- Kozłowski TT & Pallardi CR. 1972. Importance and characteristics of seeds VI. *Seed Biology Vol. I*. New York Academic Press.
- Malda G, Backhaus R & Martin C. 1999. Alterations in growth and crassulacean acid metabolism activity of *in vitro* cultured cactus. *Plant Cell, Tissue Organ Cult* **58**: 1-9.
- Mandujano MC, Golubov J & Rojas-Aréchiga M. 2007. Efecto del ácido giberélico en la germinación de tres especies del género *Opuntia* (Cactaceae) del Desierto Chihuahuense. *Cact Suc Mex* **52**: 46-52.
- Meiners SJ, Handel SN. 2000. Additive and nonadditive effects of herbivory and competition on tree seedling mortality, growth, and allocation *Am J Bot* **87**: 1821-1826.
- Navarro MC & González EM. 2007. Efecto de la escarificación de semillas en la germinación

- y crecimiento de *Ferocactus robustus* (Pfeiff.) Britton & Rose (Cactaceae). *Zonas Áridas* **11**:95-105.
- Nobel PS. 1988. *Environmental Biology of Agaves and Cacti*. Cambridge University Press, USA.
- Nobel PS. 2002. *Cacti: Biology and Uses*. University of California Press.
- Nolasco H, Vega-Villasante F, Romero-Schmid HL & Díaz-Rondero A. 1996. The effects of salinity, acidity, light and temperature on the germination of seeds of cardon. *J Arid Environ* **33**:87-94.
- Ortega-Baes P & Rojas-Aréchiga M. 2007. Seed germination of *Trichocereus terscheckii* (Cactaceae): light, temperature and gibberellic acid effects. *J Arid Environ* **69**:169-176.
- Rojas-Aréchiga M & Vazquez-Yanes C. 2000. Cactus seed germination: a review. *J Arid Environ* **44**:85-104.
- Rojas-Aréchiga M, Casas A & Vázquez-Yanes C. 2001. Seed germination of wild and cultivated *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) from the Tehuacan- Cuicatlan Valley, Central Mexico. *J Arid Environ* **49**:279-287.
- Rojas-Aréchiga M. 2008. Efecto del ácido giberélico en la germinación de cuatro especies del género *Mammillaria* del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. *Bol Soc Lat Caribe Cact Suc* **5**: 21-23.
- Rojas-Aréchiga M, Aguilar K, Gobulov J & Mandujano M. 2011. Effect of gibberellic acid on germination of seeds of five species of cacti from the Chihuahuan Desert, Northern Mexico. *The Southwest Nat* **56**:393-435.
- Ruedas M, Valverde T & Agüero S. 2002. Respuesta germinativa y de crecimiento en plántulas de *Mammillaria magnimamma*, bajo diferentes condiciones ambientales. *Bol Soc Bot Méx* **66**: 25-35.
- Sánchez PA. 2013. Propagación por semilla de cinco especies del género *Ferocactus* (Cactaceae) sujetas a conservación en el Jardín Botánico de Iztacala. *Bol Soc Latin Carib Cact Suc* **10**:13-19.
- Srivastava LM. 2001. *Plant growth and development. Hormones and environment*. Academic Press, U. S. A.
- Steenbergh WF & Lowe CH. 1969. Critical factors during the first years of life of the saguaro (*Cereus giganteus*) at Saguaro National Monument, Arizona. *Ecology* **50**: 825-834.
- Teketay D. 1998. Soil seed banks at an abandoned Afromontane arable sites. *Feddes Repertorium* **109**:161-174.
- Vega-Villasante F, Romero-Schmidt HL & Diaz-Rondero A. 1996. The effects of salinity, acidity, light and temperature on the germination of seeds of cardon *Pachycereus pringlei*(S. Wats.) Britton & Rose, Cactaceae). *J Arid Environ* **33**: 87-94.

Recibido: junio 2014; Aceptado: julio 2014.
Received: June 2014; Accepted: July 2014.

