

EFFECTO DE DIFERENTES REGULADORES DE CRECIMIENTO VEGETAL SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS Y DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE DOS ESPECIES DE *FEROCACTUS* (CACTACEAE)**EFFECT OF PLANT GROWTH REGULATORS ON SEED GERMINATION AND SEEDLING DEVELOPMENT OF TWO *FEROCACTUS* SPECIES (CACTACEAE)**

**Karina Alejandra Amador-Alfárez, Josefina Díaz-González,
Sofía Loza-Cornejo y Eglá Yareth Bivián-Castro**

Laboratorio de Bioquímica, Centro Universitario de los Lagos. Universidad de Guadalajara. Enrique Díaz de León 1144, Col. Paseos de la Montaña 47460, Lagos de Moreno, Jalisco, México. Correo electrónico: sofialo@culagos.udg.mx

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la adición de tres reguladores de crecimiento vegetal (RCV) sobre la respuesta germinativa y crecimiento de plántulas en las especies *Ferocactus histrix* y *F. latispinus* (Cactaceae). Grupos de semillas se germinaron con la adición de diferentes concentraciones (125, 250, 500 ppm) de ácido indolacético (AIA), ácido naftalenacético (ANA) y ácido giberélico (AG₃), mientras que otras semillas (control) se sembraron con agua destilada solamente. Cada tercer día y durante 30 días se llevó a cabo el registro de porcentaje de germinación (%G), el índice de velocidad de germinación (IVG) y de coeficientes de regresión; los caracteres morfológicos durante el crecimiento inicial de las plántulas provenientes de dichos experimentos también fueron registrados. Los resultados demostraron diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P < 0.05$) al comparar %G y caracteres morfológicos cuantitativos de plántulas de los tratamientos con RCV y el control; así como un efecto negativo de RCV sobre la germinación y crecimiento de plántulas. Los porcentajes más altos de

germinación (55-75%) en ambas especies de *Ferocactus*, se registraron en el tratamiento control. El AIA a una concentración de 125 ppm promovió 51% de germinación en *F. latispinus* al noveno día del experimento, un 62% de germinación se registró para *F. histrix* en el sexto día con 250 ppm de ANA; mientras que el porcentaje de germinación más bajo (< 40%) se observó en ambas especies con 125 y 250 ppm de AG₃. Se concluye que la adición de RCV no incrementa de manera significativa la germinación de semillas y tampoco favorece el crecimiento de plántulas, dado que las plántulas más vigorosas se obtuvieron con el control.

Palabras clave: reguladores de crecimiento vegetal, *Ferocactus histrix*, *Ferocactus latispinus*, Cactaceae, germinación.

ABSTRACT

The effect of the addition of three plant growth regulators (PGRs) on the germinative response of seeds and seedlings development in *Ferocactus histrix* and *F. latispinus* (Cactaceae) was evaluated. Lots of seeds

were germinated with the addition of different concentrations (125, 250, 500 ppm) of indole acetic acid (IAA), naftalen acetic acid (NAA) and gibberellic acid (GA_3); seeds not treated with PGRs were also sown in distilled water as controls. The percentage of seed germinated (% G), velocity index of germination (IVG), regression coefficients and quantitative morphological characters of initial growth seedlings were recorded each third day during 30 days of laboratory trials. The results showed significant differences (Tukey, $P < 0.05$) between PGRs treatments and the control, and a negative effect of PGRs on the %G and seedling growth. The highest percentages of germination (55-75%) were observed for both species with control treatment. At concentration of 125 ppm, IAA promoted 51% of germination in *F. latispinus* at ninth day. 62% of germination for *F. histrix* was registered at sixth day with NAA (250 ppm) treatment, and the least germination percentage ($< 40\%$) was observed in both species with the GA_3 treatments (125 and 250 ppm), respectively. It was concluded that PGRs addition did not significantly increase germination (%G and germination speed) over untreated seeds in these two *Ferocactus* species. Also, PGRs treatments not contribute to enhance the growth since the higher and vigorous seedlings in both species were obtained with the control treatment.

Key words: plant growth regulators, *Ferocactus histrix*, *Ferocactus latispinus*, Cactaceae, germination.

INTRODUCCIÓN

La propagación de plantas por medio de semillas es de gran importancia debido a que interviene en gran parte en el mantenimiento de la diversidad genética de las especies,

contrario a lo que ocurre con los métodos de propagación asexual o vegetativa. En México, la industria de la micropropagación se concentra en plantas ornamentales, algunos cultivos hortícolas y cactáceas. El género *Ferocactus* incluye a las especies *F. histrix* y *F. latispinus*, cactáceas que se caracterizan por sus tallos globosos color verde, cubiertos con espinas gruesas y fuertes. La flor es campanulada, de 3.5 cm de largo y 2.5 cm de diámetro en la antesis, con coloración púrpura o morado en *F. latispinus* y amarilla en *F. histrix*; frutos cortamente cilíndricos, de 2.5 cm de largo y 2 cm de diámetro, blanco amarillentos cubiertos por escamas romboidales y semillas pequeñas (Bravo-Hollis, 1978; Arreola-Nava, 1996; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991). Anteriormente, ambas especies de *Ferocactus* tenían una amplia distribución y abundancia en nuestro país, en la actualidad se encuentran amenazadas debido a una explotación irracional de sus poblaciones (Chávez-Martínez *et al.*, 2007; Harker *et al.*, 2008), por lo que se ha mencionado la necesidad de implementar mecanismos de propagación eficientes para la conservación y mantenimiento de sus poblaciones en el campo. En cactáceas, algunos autores han sugerido la necesidad de aplicar métodos químicos para incrementar la respuesta germinativa de las semillas; así por ejemplo, la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas pueden ser controlados por la aplicación exógena de reguladores de crecimiento vegetal (RCV) en concentraciones fisiológicas que pueden actuar como promotoras e inhibidoras de ambos procesos. Los RCV constituyen un grupo de compuestos orgánicos que influyen en diversos procesos fisiológicos, principalmente crecimiento, diferenciación y desarrollo (Asha *et al.*, 1979; Trewabas, 1983; Kutschera y Briggs,

1987; Kende y Zeevaart, 1997; Kucera *et al.*, 2005; Philosoph-Hadas *et al.*, 2005; Marchi *et al.*, 2007). Las giberelinas (GAs), actúan como reguladores end3genos del crecimiento y desarrollo en los organismos vegetales superiores. Se han identificado aproximadamente 112 giberelinas diferentes, nombradas sucesivamente GA₁, GA₂, GA₃, etc. (Kende y Zeevaart, 1997); de 6stas la 6nica con valor comercial es la GA₃ o AG₃ y se conoce como 6cido giber6lico. La funci3n reguladora del crecimiento que se otorga a las GAs se apoya en que son compuestos org6nicos naturales de las plantas, mientras que su aplicaci3n ex3gena produce una amplia variedad de respuestas en el desarrollo. La inducci3n del crecimiento del tallo es probablemente el efecto m6s evidente, v6a alargamiento celular (Talon, 2000; Bywater, 2001). Se ha propuesto que las giberelinas tienen una funci3n clave en el control de la germinaci3n de las semillas y por ello son ampliamente utilizadas para promover o inducir la geminaci3n de semillas en diversas especies de plantas (Ikuma y Thimann, 1963; Lewak y Khan, 1977; Mehanna *et al.*, 1985; Karssen *et al.*, 1989; Baskin y Baskin, 1998; Tigab6 y Od6n, 2001). Son importantes tambi6n para inducir rompimiento de la latencia despu6s de la imbibici3n de las semillas, permitiendo la germinaci3n y crecimiento del embri3n (Siobhan y McCourt, 2003). Su efecto sobre la germinaci3n de semillas a nivel molecular est6 bien documentado en algunas especies (Ikuma y Thimann, 1963; Metzger, 1983; Karssen *et al.*, 1989; Derkx y Karssen, 1993a; Yang *et al.*, 1995; Fennimore y Foley, 1998; Debeaujon and Koornneef, 2000; Ogawa *et al.*, 2003; P6rez-Flores *et al.*, 2003; Da Silva *et al.*, 2005). Las auxinas por otro lado, son reguladores del crecimiento que pueden promover el alargamiento y divisi3n celular *in vivo* a concentraciones tan bajas

como 0.01 μmol/L. El 6cido α-naftalenac6tico (ANA), una auxina sint6tica, se utiliza ampliamente en horticultura para estimular la formaci3n de ra6ces adventicias. Otras auxinas sint6ticas como el 6cido indolbut6rico (AIB) y el 6cido indol-3-ac6tico (AIA) mezcladas con talco inactivo se utilizan para la formaci3n de ra6ces a partir del tallo, lo cual es una pr6ctica com6n para el enraizamiento, as6 como la germinaci3n *in vitro* de semillas y crecimiento de pl6ntulas en algunas especies de plantas (Pierik *et al.*, 1984; Sagee *et al.*, 1992; Bandurski *et al.*, 1993; Liu *et al.*, 1996a; Acosta *et al.*, 2000; Chen *et al.*, 2002; Barket *et al.*, 2007).

Ferocactus latispinus y *F. histrix* son ampliamente apreciadas por sus diferentes usos como ornamentales, alimenticias (consumo de tallos y frutos) y medicinales (Del Castillo, 1986; Bravo-Hollis y S6nchez-Mejorada, 1991; P6rez-Guti6rrez y Mota-Flores, 2010); raz3n por la cual sus poblaciones se ven amenazadas en algunos estados de nuestro pa6s (Ch6vez-Mart6nez *et al.*, 2007; Harker *et al.*, 2008), en este trabajo se analiz3 el efecto de diferentes concentraciones de los reguladores de crecimiento AIA, ANA y AG₃, sobre la germinaci3n de semillas y en la etapa temprana del crecimiento de dos especies de cact6ceas globosas *Ferocactus latispinus* y *F. histrix*, con la finalidad de investigar si la aplicaci3n de 6stos puede promover de manera sustancial la velocidad de germinaci3n de semillas, as6 como influir en un mayor desarrollo y crecimiento de las pl6ntulas; lo cual podr6a ser aplicado a estudios de conservaci3n de estas especies.

M6TODO

Se recolectaron frutos maduros y sanos de dos especies de Cactaceae (*Ferocactus*

histris (D.C.) Lindsay (Fig. 1A) y *F. latispinus* (Haw.) Britton *et* Rose (Fig. 1B), en sus áreas de distribución en municipios de Jalisco, México. Los sitios de recolecta corresponden a localidades de municipios de la región Altos Norte de Jalisco incluyendo Lagos de Moreno, Unión de San Antonio y Ojuelos (Fig. 2). Para evaluar la germinación, se utilizaron sólo las semillas consideradas como viables (morfología normal, completas, testa entera, coloración característica de acuerdo a la especie), por observación con un microscopio estereoscópico y enseguida por el método de flotación (Emongor *et al.*, 2004), que consistió en colocar las semillas en un vaso de precipitado conteniendo agua destilada; las semillas de mayor peso y asentadas en el fondo del vaso fueron utilizadas, mientras que las semillas flotantes, con aparente ausencia de embrión no fueron consideradas para los experimentos. Las semillas seleccionadas se desinfectaron por inmersión en una solución de cloro (10%) comercial durante cinco min (Vega-Villasante *et al.*, 1996), se lavaron varias veces con agua destilada y posteriormente se

colocaron sobre cajas de Petri estériles con agar (Bioxon) y distintas concentraciones (125, 250 y 500 ppm) de AIA (3-indoleacetic acid Plant Cell Culture Tested Sigma-Aldrich), ANA (1-Naphthaleneacetic acid, Fluka Analytical) y AG₃ (Gibberellic acid, GA₃, 90% Sigma-Aldrich). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos (tres tipos de RCV) y tres repeticiones de 50 semillas cada una para cada dosis de RCV, así como un testigo o control (n = 50 semillas) para cada tratamiento, con la adición de agua destilada únicamente. El número de semillas germinadas se registró cada tercer día durante 30 días, hasta que terminó la germinación, utilizando como criterio de germinación positiva la emergencia de la radícula. Con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de germinación (%G) y el índice de velocidad de germinación (IVG) donde $IVG = \sum (ni/ti)$, ni = número de semillas germinadas; ti tiempo en días para la germinación (Vadillo *et al.*, 2004; Tilki, 2008). Previo al análisis estadístico (ANDEVA), los porcentajes de germinación fueron transformados a Arcsen



Fig. 1A. *Ferocactus histrix* (D.C.) Lindsay; **B.** *F. latispinus* (Haw.) Britton *et* Rose.

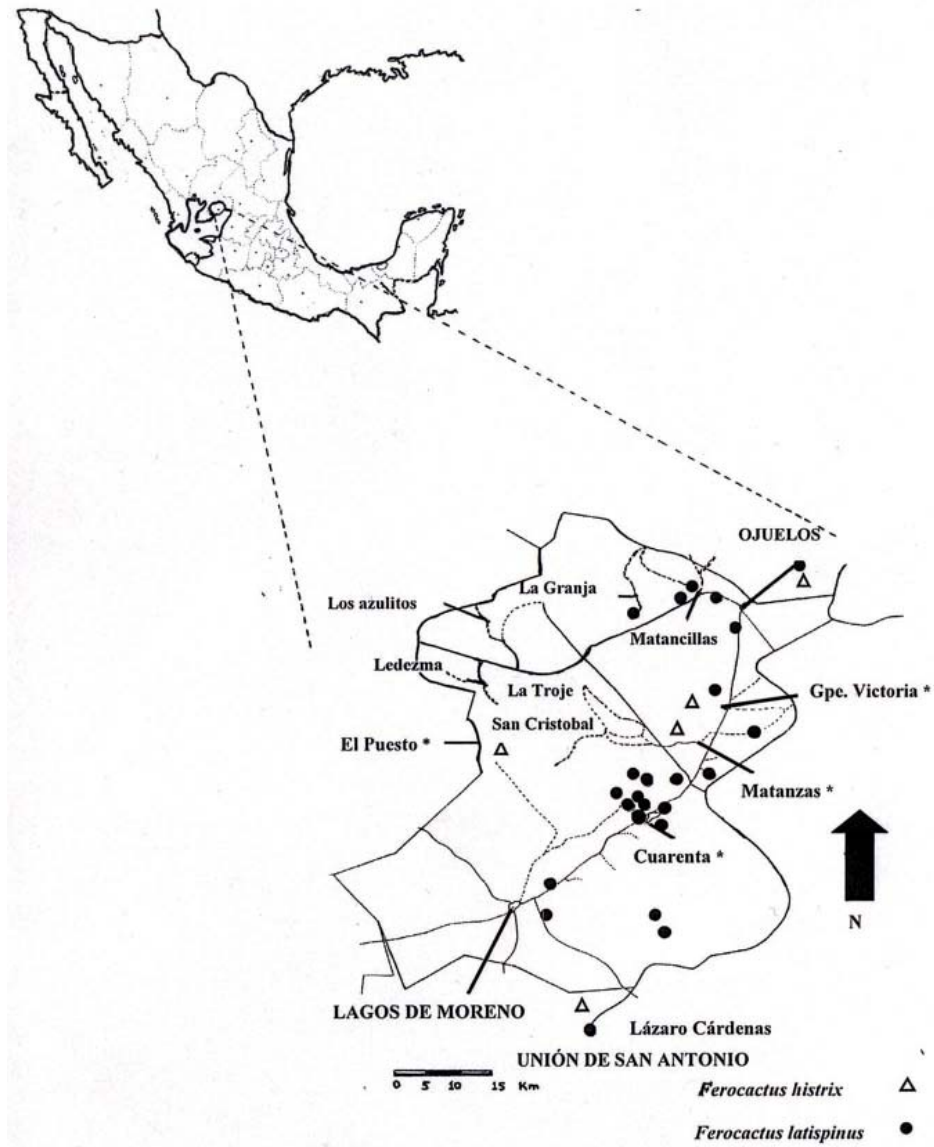


Fig. 2. Distribución y localidades de recolecta de *Ferocactus histrix* y *F. latispinus*. (Modificada de Arreola-Nava, 1996).

($\sqrt{G\%/100}$) para la aproximación a una curva normal (Steel y Torrie, 1980) y los datos de IVG a raíz cuadrada para obtener homogeneidad de varianzas (Rodríguez *et al.*, 2007). Se aplicó una prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey con un nivel de significancia de 5% para todos los análisis estadísticos utilizando el programa SAS (SAS, 2002). Se realizó la estimación de los coeficientes de regresión (\square) (Infante-Gil y Zárate de Lara, 1998) del efecto de diferentes concentraciones de reguladores de crecimiento vegetal sobre los porcentajes de germinación durante los primeros 15 días del experimento y para el crecimiento de plántulas. La temperatura promedio durante los experimentos se registró con un datalogger portátil (Datalogger Dickson SP125/175 Pro series thermometer) y la intensidad luminosa fue medida con un luxómetro portátil. Los caracteres morfológicos de plántulas durante el crecimiento temprano (dos meses de edad): longitud total, diámetro de las plántulas, longitud y diámetro de la raíz principal, peso fresco de la plántula, se registraron con ayuda de un vernier digital Mitutoyo. Los análisis estadísticos para las diferentes variables de crecimiento de las plántulas (ANDEVA), pruebas de comparaciones múltiples de Tukey ($P < 0.05$) y estimación de coeficientes de regresión, fueron realizados con el programa estadístico SAS (SAS, 2002).

RESULTADOS

Efecto de RCV sobre germinación de semillas

Ácido indolacético (AIA)

Para *Ferocactus histrix* se observó que el proceso germinativo inició al tercer día

del experimento; el mayor porcentaje de germinación (77%) se registró en el día 9 con el tratamiento control (cuadro 1). Con la concentración de 125 ppm de AIA, el mayor porcentaje de semillas germinadas (23.5%) se observó hasta el día 15. Con el tratamiento 250 ppm se obtuvo un 15% de germinación en el día 9; mientras que un 6.4% de semillas germinadas se registró en el día 15 utilizando una concentración de 500 ppm de AIA (cuadro 1). En *F. latispinus* el mayor porcentaje de semillas germinadas (58%) se observó también con el control en el noveno día; también en esta fecha, la concentración de 125 ppm de AIA favoreció la germinación, registrando ésta 50.7%. Con la concentración 250 ppm de AIA el porcentaje más alto de germinación (26.5%) se registró al sexto día y finalmente con la aplicación de 500 ppm de AIA un 24% de germinación de semillas fue registrado también en el día 6 (cuadro 1). Los índices de velocidad de germinación (IVG) más altos (2.82 y 3.2) fueron registrados en el día 9 con el tratamiento control para *Ferocactus histrix* y *F. latispinus* respectivamente. Se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $P < 0.05$) (cuadro 1) y un efecto negativo de la adición de AIA en diferentes concentraciones sobre el porcentaje de germinación en el día 9 para ambas especies de *Ferocactus* (cuadro 4).

Ácido naftalenacético (ANA)

Para *Ferocactus histrix* con la adición de ANA se inició la germinación al tercer día; pero el mayor porcentaje (71.5%) de semillas germinadas, se registró con el tratamiento control el día 9 (cuadro 2). La adición de 250 y 125 ppm promovió la germinación en un 62% y 56% respectivamente, en el sexto día. Con la concentración de 500 ppm se ob-

Cuadro 1. Porcentaje de germinaci3n (%G) e 3ndice de velocidad de germinaci3n (IVG) de semillas de *Ferocactus histrix* y *F. latispinus* con la adici3n de diferentes concentraciones de AIA.

Especie	Tratamiento AIA	D3a 3		D3a 6		D3a 9		D3a 12		D3a 15	
		%G	IVG	%G	IVG	%G	IVG	%G	IVG	%G	IVG
<i>F. histrix</i>	125 ppm	5.7 ^d	0.54 ^d	18.4 ^a	1.26 ^a	17.4 ^b	1.0 ^b	5.7 ^b	0.28 ^b	23.5 ^a	1.02 ^a
	250 ppm	8.1 ^{bc}	0.77 ^c	11.5 ^b	0.77 ^b	15.3 ^c	0.83 ^{bc}	8.1 ^a	0.4 ^a	5.7 ^c	0.24 ^c
	500 ppm	16.4 ^a	1.61 ^a	8.1 ^c	0.54 ^c	8.1 ^d	0.44 ^d	5.7 ^b	0.28 ^b	19.3 ^b	0.85 ^{ab}
	Control	9.9 ^b	1.0 ^b	11.5 ^b	0.77 ^b	77 ^a	3.2 ^a	5.7 ^b	0.28 ^b	5.7 ^c	0.24 ^c
<i>F. latispinus</i>	125 ppm	5.7 ^b	0.54 ^b	26.5 ^a	1.81 ^a	50.7 ^b	2.56 ^b	20.2 ^b	1.0 ^b	16.4 ^b	0.72 ^b
	250 ppm	5.7 ^b	0.54 ^b	26.5 ^a	1.81 ^a	25.1 ^c	1.41 ^c	9.9 ^d	0.44 ^d	8.1 ^c	0.36 ^c
	500 ppm	5.7 ^b	0.54 ^b	24.3 ^b	1.67 ^b	24.3 ^d	1.34 ^d	25.1 ^a	1.22 ^a	5.7 ^d	0.24 ^d
	Control	9.9 ^a	1.0 ^a	11.5 ^c	0.77 ^c	58.0 ^a	2.82 ^a	12.9 ^c	0.64 ^c	18.4 ^a	0.81 ^a

Los datos representan la media de tres repeticiones por tratamiento (n = 150 semillas). Letras distintas en cada columna indican diferencias estad3sticas significativas, Tukey (P < 0.05) entre tratamientos para cada especie.

Cuadro 2. Porcentaje de germinación (%G) e índice de velocidad de germinación (IVG) de semillas de *Ferocactus histrix* y *F. latispinus* con la adición de diferentes concentraciones de ANA.

Especie	Tratamiento ANA	Día 3		Día 6		Día 9		Día 12		Día 15	
		%G	IVG	%G	IVG	%G	IVG	%G	IVG	%G	IVG
<i>F. histrix</i>	125 ppm	5.7 ^d	0.57 ^d	56.1 ^b	3.39 ^b	32.5 ^b	1.78 ^b	8.1 ^c	0.4 ^c	5.7 ^b	0.24 ^b
	250 ppm	8.1 ^c	0.81 ^c	62.0 ^a	3.6 ^a	24.3 ^d	1.37 ^c	9.9 ^b	0.5 ^b	5.7 ^b	0.24 ^b
	500 ppm	17.4 ^a	1.73 ^a	14.1 ^c	1.0 ^c	25.1 ^c	1.41 ^c	42.1 ^a	1.93 ^a	5.7 ^b	0.24 ^b
	Control	16.4 ^b	1.61 ^b	5.7 ^d	0.4 ^d	71.5 ^a	3.16 ^a	5.7 ^d	0.28 ^d	18.4 ^a	0.81 ^a
<i>F. latispinus</i>	125 ppm	8.1 ^c	0.81 ^c	38.6 ^a	2.5 ^a	35.0 ^b	1.91 ^c	12.9 ^b	0.64 ^b	20.2 ^b	0.89 ^b
	250 ppm	11.5 ^a	1.15 ^a	37.4 ^b	2.48 ^b	36.8 ^b	2.0 ^b	12.9 ^b	0.64 ^b	20.2 ^b	0.89 ^b
	500 ppm	8.1 ^c	0.81 ^c	33.8 ^c	2.27 ^c	27.2 ^c	1.52 ^d	31.9 ^a	1.52 ^a	25.8 ^a	1.12 ^a
	Control	9.9 ^b	1.0 ^b	11.5 ^d	0.81 ^d	56.7 ^a	2.78 ^a	12.9 ^b	0.64 ^b	18.4 ^c	0.81 ^c

Los datos representan la media de tres repeticiones por tratamiento (n = 150). Letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas, Tukey (P < 0.05) entre tratamientos para cada especie.

tuvo un menor porcentaje (42%) de semillas germinadas en el 12vo d3a. El valor m3s alto de IVG para *F. histrix* fue 3.6 y se registr3 en el d3a 6 con el tratamiento 250 ppm (cuadro 2). En el tratamiento control de *Ferocactus latispinus* se observ3 el mayor porcentaje de germinaci3n (56.7 %) as3 como el valor del IVG m3s alto (2.78) en el noveno d3a; mientras que con los tratamientos de 500, 250 y 125 ppm el porcentaje de germinaci3n var3a desde 33.8 a 38.6% al sexto d3a del experimento (cuadro 2). Se observaron diferencias estad3sticas significativas entre tratamientos (Tukey $P < 0.05$) y un efecto negativo de la adici3n de ANA en diferentes concentraciones sobre el porcentaje de germinaci3n en el noveno d3a para ambas especies de *Ferocactus* (cuadros 2 y 4).

3cido giber3lico (AG₃)

La germinaci3n de semillas de *Ferocactus histrix* no tuvo incrementos notables con la adici3n de diferentes concentraciones de AG₃, ya que con los tratamientos de 125, 250 y 500 ppm los porcentajes de germinaci3n registrados fueron 38.6, 37.4 y 33.8% respectivamente (cuadro 3). En contraste, en el control la respuesta germinativa alcanz3 mayor porcentaje (56.7%) en el noveno d3a del experimento. Un IVG de 2.78 y que corresponde al valor m3s alto estimado, corresponde tambi3n al tratamiento control en el noveno d3a del experimento (cuadro 3). En las semillas de *F. latispinus* se observ3 que el AG₃ en concentraciones 125 y 250 ppm, promueve la germinaci3n alcanzando 3sta desde un 31% (d3a 6, 125 ppm) hasta 35% (d3a 15, 250 ppm); mientras que con la concentraci3n 500 ppm se observaron valores bajos de germinaci3n (< 10 %). Para esta especie, nuevamente con el tratamiento control se registr3 el porcentaje m3s alto

de germinaci3n (55%), as3 como el valor de IVG m3s alto (2.74) en el noveno d3a (cuadro 3). Se observaron diferencias estad3sticas significativas entre tratamientos (Tukey $P < 0.05$) y un efecto negativo de la adici3n de AG₃ en diferentes concentraciones sobre el porcentaje de germinaci3n en el noveno d3a para ambas especies de *Ferocactus* (cuadros 3 y 4).

Efecto de RCV sobre crecimiento de pl3ntulas

Para *Ferocactus histrix* se observ3 que las pl3ntulas provenientes del tratamiento control se caracterizaron por una mayor longitud total, mayor longitud de ra3z y de peso fresco (cuadro 5). Sin embargo, con los tratamientos 125 y 500 ppm de AIA, las pl3ntulas mostraron un mayor di3metro de la parte a3rea (1.6 ± 0.04 mm), as3 como mayor di3metro de la ra3z (0.4 ± 0.1 mm) (cuadro 5, Fig. 3A). Se observaron diferencias estad3sticas significativas (Tukey, $P < 0.05$) entre tratamientos para las distintas variables evaluadas en esta especie (cuadro 5). En lo que respecta a las pl3ntulas de *Ferocactus latispinus* se observ3 tambi3n, que pl3ntulas provenientes del tratamiento control presentaron mayor longitud total y mayor longitud de la ra3z (cuadro 6, Fig. 3B); sin embargo, se observ3 que pl3ntulas de semillas germinadas con AIA (125 y 250 ppm), se caracterizaron por un mayor di3metro de la ra3z (0.5 ± 0.1 mm) y di3metro de la pl3ntula (1.6 ± 0.3 mm), respectivamente (cuadro 6). El an3lisis estad3stico mostr3 diferencias significativas (Tukey, $P < 0.05$) entre los diferentes tratamientos para cada variable en ambas especies (cuadros 5 y 6). La estimaci3n de los coeficientes de regresi3n demostr3 un efecto negativo de la adici3n de los RCV sobre el crecimiento

Cuadro 3. Porcentaje de germinación (%G) e índice de velocidad de germinación (IVG) de semillas de *Ferocactus histrix* y *F. latispinus* con la adición de diferentes concentraciones de AG₃.

Especie	Tratamiento AG ₃	Día 3		Día 6		Día 9		Día 12		Día 15	
		%G	IVG	%G	IVG	%G	IVG	%G	IVG	%G	IVG
<i>F. histrix</i>	125 ppm	8.1 ^c	0.81 ^c	38.6 ^a	2.54 ^a	35.0 ^b	1.91 ^c	12.9 ^b	0.64 ^b	20.2 ^b	0.89 ^b
	250 ppm	11.5 ^a	1.15 ^a	37.4 ^b	2.48 ^b	36.8 ^b	2.0 ^b	12.9 ^b	0.64 ^b	20.2 ^b	0.89 ^b
	500 ppm	8.1 ^c	0.81 ^c	33.8 ^c	2.27 ^c	27.2 ^c	1.52 ^d	31.9 ^a	1.52 ^a	25.8 ^a	1.12 ^a
	Control	9.9 ^b	1.0 ^b	11.5 ^d	0.81 ^d	56.7 ^a	2.78 ^a	12.9 ^b	0.64 ^b	18.4 ^c	0.81 ^c
<i>F. latispinus</i>	125 ppm	5.7 ^b	0.57 ^b	31.3 ^a	2.12 ^a	47.8 ^b	2.47 ^b	24.3 ^a	1.18 ^a	5.7 ^c	0.24 ^b
	250 ppm	5.7 ^b	0.57 ^b	5.7 ^c	0.4 ^b	11.5 ^c	0.66 ^c	18.4 ^b	0.91 ^b	35.0 ^a	1.48 ^a
	500 ppm	5.7 ^b	0.57 ^b	5.7 ^c	0.4 ^b	8.1 ^d	0.46 ^d	5.7 ^d	0.28 ^d	5.7 ^c	0.24 ^b
	Control	9.97 ^a	1.0 ^a	11.5 ^b	0.81 ^c	55 ^a	2.74 ^a	12.9 ^c	0.64 ^c	18.4 ^b	0.81 ^b

Los datos representan la media de tres repeticiones por tratamiento (n = 150). Letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas, Tukey (P < 0.05) entre tratamientos para cada especie.

Cuadro 4. Coeficientes de regresi3n (□) del efecto de diferentes tratamientos con reguladores de crecimiento vegetal sobre el porcentaje de germinaci3n de semillas de *F. histrix* y *F. latispinus*.

Tratamiento	Especie	D3as				
		3	6	9	12	15
AIA	<i>F. histrix</i>	0.01584	-0.01172	-0.11491	0.00054	0.01577
	<i>F. latispinus</i>	-0.00672	0.01947	-0.07184	0.01940	-0.02711
ANA	<i>F. histrix</i>	0.00749	-0.00441	-0.07949	0.07419	-0.02031
	<i>F. latispinus</i>	-0.00210	0.03321	-0.05035	0.03908	0.01442
AG ₃	<i>F. histrix</i>	-0.00758	0.03321	-0.05035	0.03908	0.01441
	<i>F. latispinus</i>	-0.00683	-0.02681	-0.10148	-0.02137	-0.01361

Cuadro 5. Caracteres morfológicos de plántulas de *Ferocactus histrix* provenientes de semillas germinadas con diferentes concentraciones de RCV. Los datos representan la media \pm error estándar. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ($P < 0.001$) entre tratamientos.

Tratamiento	ppm	Longitud raíz (mm)	Díámetro raíz (mm)	Longitud Plántula (mm)	Díámetro plántula (mm)	Peso plántula (mg)
¹ AIA	125	1.3 \pm 0.1 ^b	0.2 \pm 0.01 ^a	4.0 \pm 0.2 ^c	1.6 \pm 0.04 ^d	5.6 \pm 0.1 ^c
	250	1.0 \pm 0.1 ^c	0.2 \pm 0.03 ^a	3.3 \pm 0.4 ^a	1.5 \pm 0.2 ^b	4.0 \pm 0.2 ^d
	500	1.0 \pm 0.2 ^c	0.4 \pm 0.1 ^d	3.4 \pm 1.0 ^a	1.3 \pm 0.4 ^b	6.7 \pm 0.2 ^c
² ANA	125	-0.001965 *	0.000411 *	-0.00459 *	-0.00048 *	-0.001142 *
	250	0.9 \pm 0.2 ^a	0.6 \pm 0.11 ^e	5.0 \pm 2.4 ^b	1.5 \pm 0.8 ^b	6.6 \pm 1.0 ^c
	500	0.6 \pm 0.1 ^d	0.3 \pm 0.04 ^c	4.0 \pm 1.8 ^c	1.1 \pm 0.3 ^a	5.0 \pm 1.0 ^a
³ AG ₃	125	0.6 \pm 0.11 ^d	0.3 \pm 0.04 ^c	3.4 \pm 0.2 ^a	1.4 \pm 0.2 ^c	6.4 \pm 1.0 ^c
	250	-0.0026 *	-0.0000457 *	-0.00512 *	-0.000297 *	-0.00221 *
	500	0.8 \pm 0.2 ^a	0.2 \pm 0.02 ^a	3.4 \pm 0.3 ^a	0.9 \pm 0.1 ^a	5.0 \pm 1.0 ^a
⁴ Control	125	1.3 \pm 0.2 ^b	0.1 \pm 0.08 ^b	3.1 \pm 1.9 ^a	1.0 \pm 0.2 ^a	6.0 \pm 3.0 ^b
	250	1.0 \pm 0.2 ^c	0.2 \pm 0.02 ^a	3.2 \pm 1.3 ^a	1.1 \pm 0.01 ^a	7.1 \pm 0.1 ^c
	500	-0.001554 *	-0.0000228 *	-0.00464 *	-0.0005257 *	0.000548 *
		2.1 \pm 0.5 ^d	0.2 \pm 0.1 ^a	6.0 \pm 1.5 ^d	1.5 \pm 0.3 ^b	7.5 \pm 0.2 ^c

¹AIA (125 ppm, n = 112 plántulas; 250 ppm, n = 89; 500 ppm, n = 71); ²ANA (125 ppm, n = 150 plántulas; 250 ppm, n = 100; 500 ppm, n = 120); ³AG₃ (125 ppm, n = 110 plántulas; 250 ppm, n = 100; 500 ppm, n = 110); ⁴Agua destilada, n = 102 plántulas.

*coeficiente de regresión.

Cuadro 6. Caracteres morfol3gicos de pl6ntulas de *Ferocactus latispinus* provenientes de semillas germinadas con diferentes concentraciones de RCV. Los datos representan la media \pm error est6ndar. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ($P < 0.001$) entre tratamientos.

Tratamiento	ppm	Longitud raíz (mm)	Diámetro raíz (mm)	Longitud pl6ntula (mm)	Diámetro pl6ntula (mm)	Peso pl6ntula (mg)
¹ AIA	125	2.9 \pm 0.3 ^e	0.2 \pm 0.01 ^a	6.3 \pm 0.6 ^c	1.5 \pm 0.1 ^c	9.5 \pm 0.5 ^d
	250	2.2 \pm 0.4 ^b	0.2 \pm 0.03 ^a	6.0 \pm 1.0 ^c	1.6 \pm 0.3 ^d	8.2 \pm 0.5 ^b
	500	1.1 \pm 0.2 ^a	0.5 \pm 0.1 ^b	3.2 \pm 1.0 ^d	1.5 \pm 0.4 ^c	6.1 \pm 0.02 ^a
		-0.00418 *	0.000617 *	-0.0274 *	0.000182 *	-0.00521 *
² ANA	125	0.8 \pm 0.1 ^c	0.2 \pm 0.1 ^a	4.4 \pm 2.8 ^a	1.4 \pm 0.9 ^b	9.0 \pm 0.5 ^d
	250	0.8 \pm 0.2 ^c	0.3 \pm 0.1 ^a	4.2 \pm 0.8 ^a	1.4 \pm 0.2 ^b	15.0 \pm 0.8 ^e
	500	0.5 \pm 0.1 ^d	0.4 \pm 0.04 ^b	3.0 \pm 0.2 ^d	1.5 \pm 0.2 ^c	13.1 \pm 0.01 ^f
		-0.00429 *	0.000434 *	-0.0102 *	0.0002057 *	0.011 *
³ AG ₃	125	1.4 \pm 0.8 ^a	0.2 \pm 0.1 ^a	4.4 \pm 2.5 ^a	0.9 \pm 0.5 ^a	5.7 \pm 0.3 ^a
	250	1.2 \pm 0.3 ^a	0.2 \pm 0.1 ^a	5.4 \pm 1.9 ^b	0.9 \pm 0.3 ^a	8.7 \pm 0.04 ^b
	500	2.1 \pm 1.2 ^b	0.2 \pm 0.1 ^a	6.3 \pm 3.6 ^c	1.3 \pm 0.7 ^b	9.7 \pm 0.8 ^c
		-0.001325 *	-0.0000548 *	-0.00322 *	0.0000228 *	0.004914 *
⁴ Control		3.1 \pm 5.2 ^e	0.2 \pm 0.3 ^a	9.0 \pm 6.1 ^e	1.4 \pm 1.0 ^b	8.2 \pm 0.004 ^b

¹AIA (125 ppm, n = 160 pl6ntulas; 250 ppm, n = 140; 500 ppm n = 100); ²ANA (125 ppm, n = 110 pl6ntulas; 250 ppm, n = 130; 500 ppm n = 100); ³AG₃ (125 ppm, n = 100 pl6ntulas; 250 ppm, n = 80; 500 ppm, n = 80); ⁴Agua destilada (n = 92 pl6ntulas).

* coeficiente de regresi3n.



Fig. 3. Plántulas de *Ferocactus* de un mes de edad. A. *Ferocactus histrix*, plántulas provenientes del tratamiento con AIA 125 ppm. B. *F. latispinus*, plántulas provenientes del tratamiento control.

de plántulas en *Ferocactus histrix*, excepto para el diámetro de la raíz ($\square = 0.000411$, tratamiento AIA) y la variable peso de la plántula ($\square = 0.000548$, tratamiento AG_3) (cuadro 5). Un coeficiente de regresión positivo del efecto de RCV sobre crecimiento de las plántulas se obtuvo para los caracteres diámetro de la raíz y diámetro de la plántula con la aplicación de AIA y ANA; así como para diámetro de la plántula y peso de la plántula con la aplicación de tratamiento AG_3 en *F. latispinus* (cuadro 6).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos sobre el efecto de la adición de diferentes dosis de reguladores de crecimiento vegetal sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de dos especies de *Ferocactus*, demostraron en general, que las semillas de ambas especies no tienen requerimientos de escarificación

química para promover su germinación, ya que los porcentajes de germinación de semillas con tratamientos de RCV son menores a los porcentajes de germinación observados con el tratamiento control. Sin embargo, las diferencias en la respuesta germinativa de las semillas con la adición de cada RCV se discuten a continuación.

AIA y ANA

De las auxinas, el AIA es un RCV de presencia universal en las plantas y se ha demostrado en varios bioensayos que estimula la formación de raíces, la germinación de semillas y afecta también la actividad de ciertas enzimas en las plantas (Bandurski *et al.*, 1993; Jankiewicz y Acosta-Zamudio, 2003; Barket *et al.*, 2007). Para *Ferocactus histrix* el AIA tiene un efecto positivo para promover el inicio de la germinación de semillas, debido a que un porcentaje alto

(16%) ocurre en el tercer d3a, con la adici3n de 500 ppm. Un efecto favorable del AIA sobre el crecimiento de las pl3ntulas se observ3 tambi3n para esta especie, ya que el di3metro de la pl3ntula present3 un valor alto en comparaci3n con el resto de los RCV y el control y en el caso del di3metro de la ra3z se observ3 un coeficiente de regresi3n positivo en relaci3n al efecto de RCV sobre esta variable. Seg3n la bibliograf3a consultada, los estudios sobre efectos de este RCV en cact3ceas son escasos o quiz3 ausentes. Para otras especies de plantas, se ha establecido que el AIA tiene un efecto importante al promover una mayor longitud de brotes y ra3ces (Coello *et al.*, 2010). De acuerdo a Kutschera y Briggs (1987) la funci3n del AIA es inducir el crecimiento por medio de una r3pida estimulaci3n de s3ntesis de los componentes de la pared celular de c3lulas en crecimiento. As3, por ejemplo, en pl3ntulas de una variedad enana de *Pisum sativum*, la aplicaci3n continua de manera ex3gena de AIA (10^{-3} y 10^{-4} M) en los entrenudos de las pl3ntulas incrementa el crecimiento total del tallo (Yang *et al.*, 1993). Un mayor di3metro de la ra3z y mayor di3metro de la parte a3rea de las pl3ntulas de las especies de *Ferocactus* estudiadas provenientes del tratamiento con AIA, representar3an probablemente una ventaja para coadyuvar en el r3pido establecimiento y crecimiento de la pl3ntula en condiciones de campo, ya que una ra3z relativamente m3s gruesa o de mayor di3metro facilitar3a el "anclaje" en un sustrato determinado y por tanto, contribuir al 3xito de su supervivencia.

Tambi3n de acuerdo a la bibliograf3a consultada, los estudios sobre el efecto de la auxina ANA sobre la germinaci3n de semillas y crecimiento de pl3ntulas de Cactaceae son ausentes. Las auxinas son reguladores de

crecimiento que influyen principalmente en el alargamiento celular, el crecimiento de la ra3z, dominancia apical, etc. (Bywater, 2001). En el presente trabajo se observ3 que la adici3n de ANA en concentraciones de 125 y 250 ppm influye en promover el inicio de la germinaci3n de semillas de ambas especies de *Ferocactus*. El efecto positivo de este RCV sobre las pl3ntulas contin3a particularmente sobre la ra3z, ya que un mayor di3metro de 3stas se observ3 en etapas tempranas de su desarrollo. Estas observaciones coinciden por lo mencionado por Pierik *et al.* (1984) en especies de Bromeliaceae, quienes demostraron que la incorporaci3n de 0.5-0.8 ppm de ANA al medio de cultivo particular result3 en una estimulaci3n del crecimiento *in vitro* de tallo y ra3z. Sin embargo, son necesarios estudios adicionales con la aplicaci3n de este RCV para analizar su efecto sobre el crecimiento de pl3ntulas en cact3ceas y concluir al respecto.

AG₃

Los efectos fisiol3gicos de las giberelinas tanto end3genas como ex3genas en el rompimiento de la latencia de semillas han sido reconocidos en diversas especies de plantas; la aplicaci3n de giberelinas, por ejemplo, com3nmente reemplaza la necesidad de un est3mulo ambiental espec3fico como es la temperatura o la luz (Metzger, 1983; Hasemi y Estilai, 1994; Liu *et al.*, 1996b; Garc3a-Mart3nez y Gil, 2002). Karssen *et al.*, (1989) y Debeaujon y Koornneef (2000), han propuesto dos mecanismos diferentes de acci3n de las giberelinas en el proceso de germinaci3n, el primero es que influyen en la hidr3lisis de las reservas de alimento; en semillas de *Lycopersicon esculentum*, por ejemplo, provocan la hidr3lisis de las pare-

des celulares de las semillas ricas en galactomananas que forman parte de la resistencia mecánica para la protusión de la radícula; el segundo mecanismo de acción consiste en un efecto directo sobre el potencial de crecimiento del embrión. En Cactaceae el efecto del ácido giberélico (AG_3) para promover la germinación de semillas ha sido escasamente estudiado y los resultados son diversos. Alcorn y Kurtz (1959) y McDonough (1964), por ejemplo, mencionan que 500 y 1000 ppm de AG_3 pueden promover la germinación de semillas bajo condiciones de luz blanca y oscuridad. Para *Harrisia fragans*, Dehgan y Pérez (2005), observaron que el mejor tratamiento con AG_3 para promover la germinación de sus semillas es la concentración de 1000 ppm. Por otro lado, para *Melocactus caesius*, *Stenocereus stellatus* y especies de *Mammillaria*, la adición de ácido giberélico no promovió la germinación en ausencia de luz (Arias y Lemus, 1984; Rojas-Aréchiga *et al.*, 2001). En el presente estudio, la adición de AG_3 en diferentes concentraciones, no mejoró la respuesta germinativa de las especies, más bien parece ejercer un efecto inhibitorio sobre dicha germinación, lo cual coincide con los resultados obtenidos para otras cactáceas (Arias y Lemus, 1984; Rojas-Aréchiga *et al.*, 2001; Olvera-Carrillo *et al.*, 2003; Ortega-Baes y Rojas-Aréchiga, 2007; Cervantes-Olvera *et al.*, 2010) y contrasta con los resultados mostrados por algunos autores (Alcorn y Kurtz, 1959; McDonough, 1964; Dehgan y Pérez, 2005) en otras Cactaceae y especies de plantas de otras familias (Schelin *et al.*, 2003; Tigabu y Oden, 2001), en las cuales, la adición de giberelinas tiene un papel importante al desencadenar e incrementar la respuesta germinativa en semillas que presentan algún tipo de latencia, tienen testa dura e impermeable o han

permanecido almacenadas durante algún periodo de tiempo (Chen y Chang, 1972; Groot y Karssen, 1987; Derkx y Karssen, 1993 b; Hashemi y Estilai, 1994; Liu *et al.*, 1996b; Toyomasu *et al.*, 1998; Debeaujon y Koornneef, 2000; Chuanren *et al.*, 2004; Nadjafi *et al.*, 2006; Mandujano, *et al.*, 2007; Conversa *et al.*, 2010; Rojas-Aréchiga *et al.*, 2001). Deno (1994) estableció que las semillas de *Ferocactus acanthodes* y *F. wislizeni* tienen un absoluto requerimiento de AG_3 para germinar; en comparación, las especies estudiadas de *Ferocactus* del presente trabajo no mostraron la necesidad de este RCV debido a que los porcentajes de germinación fueron menores en comparación con el control. La carencia de una respuesta al AG_3 y el hecho que se utilizaron semillas frescas de frutos recién colectados en el presente estudio, además de que la temperatura e intensidad luminosa registradas durante el experimento ($25 \pm 3^\circ C$, 0.08 Klx) son óptimas para la germinación en cactáceas (Nobel, 1988) sugieren que las semillas de las especies estudiadas no tienen algún tipo de latencia fisiológica o morfofisiológica y no requieren de un estímulo específico de luz o temperatura, similar a lo observado por ejemplo, en *Ferocactus latispinus* (Álvarez y Montaña, 1997), *F. robustus* (Navarro y González, 2007), otras cactáceas globosas como *Mammillaria haageana*, *M. carnea*, *M. mystax*, *M. supertexta* (Flores y Manzanero, 2003; Benitez-Rodríguez *et al.*, 2004), *Mammillaria oteroi* (Martínez *et al.*, 2001), *Mammillaria hamata* y *M. sphacelata* (Navarro *et al.*, 2008), *Corryocactus melanotrichus* (Larrea-Alcázar y López, 2008) y cactáceas columnares como *Pachycereus pecten-aboriginum* (Vega-Villasante *et al.*, 1996). Lo anterior sugiere además, que las semillas de las especies estudiadas germinan rápidamente y por tanto no forman parte de

bancos de semillas como es com6n en otras cact6ceas (Ortega-Baes y Rojas Ar6chiga, 2007; Larrea-Alc6azar y L3pez, 2008).

Para otras especies vegetales se ha establecido un efecto positivo de la aplicaci3n de AG₃ sobre el crecimiento de pl6ntulas. Bakrim *et al.*, (2007), por ejemplo, estudiaron el efecto de 20 RCV sobre la germinaci3n y crecimiento de pl6ntulas de *Lycopersicon esculentum* y advirtieron efectos positivos con la adici3n de AG₃. Ikuma y Thimann (1963) observaron que el 6cido giber6lico promueve el alargamiento del hipoc3tilo y la expansi3n de los cotiledones en semillas de *Lactuca sativa*. Para semillas y pl6ntulas de *Carica papaya* Furutani y Nagao (1987) mencionan un efecto positivo del AG₃, debido a que las pl6ntulas provenientes de semillas tratadas con este RCV muestran hipoc3tilos alargados. En estudios de cultivo *in vitro* se ha mencionado que bajas concentraciones de AG₃ promueven el alargamiento de brotes y ra6ces en especies de inter6s comercial (Coello *et al.*, 2010), de hecho, el 6cido giber6lico es mejor conocido por su funci3n en el alargamiento axial de tallos, ra6ces e inflorescencias (De Masson, 2005). Se ha documentado que sus efectos sobre el alargamiento del tallo de diversas especies cultivadas *in vitro* se deben a un incremento en carbohidratos solubles, los cuales estar6n disponibles para diversos procesos metab3licos (Bialecka y Kepcznki, 2007). Cabe mencionar, sin embargo, que en el presente trabajo este RCV no favoreci3 un aumento en el crecimiento de las pl6ntulas. Mandujano *et al.* (2007) han mencionado que el efecto de las giberelinas en la germinaci3n de semillas de cact6ceas no es claro debido a la escasez de trabajos realizados al respecto y debido tambi6n a las diferentes concentra-

ciones de este RCV utilizadas por diversos autores, lo cual impide la comparaci3n de resultados. En *Ferocactus* y otras Cactaceae son necesarios estudios adicionales utilizando semillas con diferentes tiempos de almacenamiento, variar las condiciones ambientales y analizar el efecto combinado de reguladores de crecimiento, por ejemplo 6cido giber6lico (AG₃) y auxinas como el 6cido naftalenac6tico (ANA) y/o 6cido indolac6tico (AIA), en la germinaci3n de semillas y crecimiento de pl6ntulas; ello con la finalidad de conocer m6s sobre la funci3n de estos RCV, ya que por ejemplo, en diversas especies se ha observado que el tiempo de almacenamiento de las semillas influye en la respuesta germinativa, pero 6sta se ve favorecida por la adici3n de RCV que pueden acelerar el proceso. Adem6s, en especies cultivadas se ha demostrado que el efecto de las giberelinas sobre el alargamiento celular es dependiente de la presencia de auxinas (Ross y O'Neill, 2001).

CONCLUSIONES

La adici3n de RCV puede contribuir a acelerar el inicio de la respuesta germinativa de semillas en *Ferocactus histrix* y *F. latispinus*; sin embargo, ninguno de los tratamientos con los reguladores de crecimiento AIA, ANA y AG₃ produjo incrementos significativos en los porcentajes de germinaci3n, velocidad de germinaci3n y crecimiento de pl6ntulas en comparaci3n con el control; por lo que se concluye que las semillas de las dos especies de *Ferocactus* estudiadas no presentan alg6n tipo de latencia y, por tanto, no tienen requerimientos particulares para la germinaci3n; no existe, adem6s, un efecto positivo de los RCV sobre el crecimiento de las pl6ntulas de estas cact6ceas.

LITERATURA CITADA

- Acosta, E.M.; B. J. Sánchez y A.M. Bañon, 2000. "Auxinas". *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Azcon-Bieto y Talón (Eds.) Interamericana-McGraw-Hill., 323 pp.
- Alcorn, S.M. and E.B. Kurtz, 1959. "Some factors affecting the germination of seed of the saguaro cactus (*Carnegiea gigantea*)". *Am. J. Bot.*, **46**: 526-529.
- Álvarez, G. y C. Montaña, 1997. "Germinación y supervivencia de cinco especies de cactáceas del Valle de Tehuacán: implicaciones para su conservación". *Act. Bot. Mex.*, **40**: 43:58.
- Arias, I. and L. Lemus, 1984. "Interaction of light, temperature and plant hormones in the germination of seeds of *Melocactus caesius* Went (Cactaceae)". *Acta Cient. Venez.*, **35**: 151-155.
- Arreola-Nava, H.J., 1996. Contribución al conocimiento de las cactáceas de los municipios de Lagos de Moreno y Ojuelos de Jalisco, México. Tesis de Licenciatura en la UNAM. México. 151 pp.
- Asha, P.K.; M.S. Shaila, C.S. Vaidyanathan y T. Ramakrishnan, 1979. "Effect of phytohormones on nuclear RNA synthesis in germinating seeds of *Trigonella foenograecum* and its callus". *J. Biosci.*, **3**: 327-334.
- Bakrim, A.; M. Lamhamdi, F. Sayah y F. Chibi, 2007. "Effects of plant hormones and 20-hydroxyecdysone on tomato (*Lycopersicon esculentum*) seed germination and seedlings growth". *African J. Biotech.*, **6**: 2792- 2802.
- Bandurski, R.S., J.P. Slovi y J.D. Cohen, 1993. "Auxinas". *Fisiología y Bioquímica Vegetal*, Azcon-Bieto y Talon (Eds.) Interamericana-McGraw-Hill, 285-300 pp.
- Barket A.; I. Rani, S. Hayat y A. Ahmad, 2007. "Effect of 4-Cl-indole-3-acetic acid on the seed germination of *Cicer arietinum* exposed to cadmium". *Acta Bot. Croat*, **66**: 57-65.
- Baskin, C.C. y J. M. Baskin, 1998. *Seeds-Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, USA.
- Benítez-Rodríguez, J. L.; A. Orozco-Segovia y M. Rojas-Aréchiga, 2004. "Light effect on seed germination of four *Mammillaria* species from the Tehuacan-Cuicatlan Valley, Central Mexico". *The Southwest Naturalist*, **49**: 11-17.
- Bialecka, B. and J. Kepcznski, 2007. "Changes in concentration of soluble carbohydrates during germination of *Amaranthus caudatus* L. seeds in relation to ethylene, gibberellins A3 and methyl jasmonate". *J. Plant Growth Regul.*, **51**: 21-31.
- Bravo-Hollis, H., 1978. *Las Cactáceas de México*. Vol. I. UNAM. México, DF.
- Bravo-Hollis H. y H. Sánchez-Mejorada, 1991. *Las Cactáceas de México*. Vol. 3 2da. ed. UNAM, México.
- Bywater, M., 2001. "Plant Growth Regulators. Mode of Action. Australian Turfgrass Management". <http://www.agc->

- sa.com.au/static/atm_articles/html/3_3c.html. Accesado: 20/ Sep/2011
- Cervantes-Olvera, G.; C.J.O. Lázaro y C.M.C. Navarro, 2010. "Efecto de la escarificación de semillas en la germinación de dos especies de *Mammillaria* (Cactaceae)". *Memorias XVIII Congreso Mexicano de Botánica*.
- Chávez-Martínez, R. J.; J. G. Hernández-Oria y E. Sánchez-Martínez, 2007. "Documentación de factores de amenaza para la flora cactológica del semidesierto Queretano". *Bol. Nakari*, **18**: 89-95.
- Chen, L.M.; J.T. Cheng, E.L. Chen, T.J. Yiu y Z.H. Liu, 2002. "Naphtaleneacetic acid suppresses peroxidase activity during the induction of adventitious roots in soybean hypocotyls". *Plant Physiol.*, **159**: 1349-1354.
- Chen, S.C. and J.L.L. Chang, 1972. "Does gibberellic acid stimulate seed germination via amylase synthesis?" *Plant Physiol.*, **49**: 441-442.
- Chuanren, D.; W. Bochu, L. Wanqian, C. Jing, L. Jie y Z. Huan, 2004. "Effect of chemical and physical factors to improve the germination rate of *Echinacea angustifolia* seeds". *Colloid Surfaces B.*, **37**: 101-105.
- Coello, C.Y., C.L. Miceli, C. Orantes, L. Dendooven y F.A. Gutiérrez, 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.
- Conversa, G.; C. Lazzizzera y A. Elia, 2010. Effects of after-ripening, stratification and GA3 on dormancy release and on germination of wild asparagus (*Asparagus acutifolius* L.) seeds. *Sci. Hort.*, **125**: 196-202.
- Da Silva, E. A. A.; P. E. Toorop, J. Nijssen; J. D. Bewley y H.W.M. Hilhorst. 2005. Exogenous gibberellins inhibit coffee (*Coffea Arabica* cv. Rubi) seed germination and cause cell death in the embryo. *J. Exp. Bot.*, **56**: 1029-1038.
- Debeaujon, I. and M. Koornneef, 2000. Gibberellin requirement for *Arabidopsis* seed germination is determined both by testa characteristics and embryonic abscisic acid. *Plant Physiol.*, **122**: 415-424.
- Dehgan, B. and H.E. Pérez, 2005. "Preliminary study shows germination of Caribbean apple cactus (*Harrisia fragrans*) improved with acid scarification and gibberellic acid". *Native Plants J.*, **6**: 91-96.
- Del Castillo, R.F., 1986. "Semillas, germinación y establecimiento de *Ferocactus histrix*". *Cact. Succ. Mex.*, **31**: 5-11.
- De Masson, D.A., 2005. "Auxin-cytokinin and auxin-gibberellin interactions during morphogenesis of the compound leaves of pea (*Pisum sativum*)". *Planta*, **22**: 151-166.
- Deno, N.C., 1994. "The critical role of gibberellins in germination and survival of certain cacti". *Cact. Succ. J.*, **66**: 28-30.

- Derkx M.P.M. y C.M. Karssen, 1993a. "Effects of light and temperature on seed dormancy and gibberellins-stimulated germination in *Arabidopsis thaliana*: studies with gibberellins-deficient and insensitive mutants". *Physiol. Plant*, **89**: 360-368.
- _____, 1993b. "Changing sensitivity to light and nitrate but not to gibberellins regulates seasonal dormancy patterns in *Sisymbrium officinale* seeds". *Plant Cell Environ.*, **16**: 469-479.
- Emongor, V.E.; T. Mathowa y S. Kabelo. 2004. "The effect of hot water, sulphuric acid, nitric acid, gibberellic acid and ethephon on the germination of *Corchorus (Corchorus tridens)* seed". *J. Agronomy*, **3**(3): 196-200.
- Fennimore, S.A. y M. Foley, 1998. "Genetic and physiological evidence for the role of gibberellic acid in the germination of dormant *Avena fatua* seeds". *J. Exp. Bot.*, **49**: 89-94.
- Flores, A. y G. Manzanero, 2003. Germinación comparativa de especies del género *Mammillaria* endémicas de Oaxaca, México. *Cact. Suc. Mex.*, **48**: 36-51.
- Furutani, C.S. and A.M. Nagao, 1987. "Influence of temperature, KNO₃, GA₃ and seed drying on emergence of papaya seedlings". *Scientia Hort.*, **32**: 67-72.
- García-Martínez, J.L. and J. Gil, 2002. "Light Regulation of Gibberellin Biosynthesis and Mode of Action". *J. Plant Growth Regul.*, **20**: 354-368.
- Groot, S.P.C. and C.M. Karssen, 1987. "Gibberellins regulate seed germination in tomato by endosperm weakening: a study with gibberellins-deficient mutants". *Planta*, **171**: 525-531.
- Harker, M., L.; A. García-Rubio y M.E. Riojas-López. 2008. Composición florística de cuatro hábitats en el Rancho Las Papas de Arriba, municipio de Ojuelos, Jalisco, México. *Acta Bot. Mex.*, **85**: 1-9.
- Hashemi, A. and A. Estilai, 1994. Seed germination response of golden chia (*Salvia columbariae* Benth.) to low temperature and gibberellins. *Industrial Crops and Products*, **2**: 107-109.
- Infante-Gil, S. y G. P. Zárate de Lara, 1998. *Métodos estadísticos*. Trillas. México. 643 pp.
- Ikuma, H. and K.V. Thimann, 1963. "Action of Kinetin on photosensitive germination of lettuce seed as compared with that of gibberellic acid". *Plant Cell Physiol.*, **4**: 113-128.
- Jankiewicz, S.L. y C. Acosta-Zamudio, 2003. "Auxinas". *Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas, propiedades y acción*. Jankiewicz S.L. (Ed.). Universidad Autónoma Chapingo-Mundi Prensa. México. 21-66 pp.
- Karssen, C.M., S. Zagorski, J. Kepczynski y S.P.C. Groot, 1989. *Key role for endogenous gibberellins in the control of seed germination*. *Ann. of Bot.*, **63**: 71-80.

- Kende, H. and J.A.D. Zeevaart, 1997. The five "classical" plant hormones. *Plant Cell*, **9**: 1197-1210.
- Kucera B.; M.A. Cohn y G. Leubner-Metzger, 2005. "Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination". *Seed Sci. Res.*, **15**: 281-307.
- Kutschera, U. and W.R. Briggs, 1987. "Rapid auxin-induced stimulation of cell wall synthesis in peinternodes". *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **84**: 2747-2751, USA.
- Larrea-Alcázar, D.M. y R.P. López, 2008. "Germinación de semillas de *Corryocactus melanotrichus* (K. Schum.) Britton & Rose (Cactaceae): Un cactus columnar endémico de los Andes Bolivianos". *Ecol. Boliv.*, **43**: 135-140.
- Lewak, S. and A.A. Khan, 1977. Mode of action of gibberellic acid and light on lettuce seed. *Plant Physiol.*, **60**: 575-577.
- Liu, Z.H., I.C. Hsiao, Y.W. Pan, 1996a. "Effect of naphthaleneacetic acid on endogenous indole-3-acetic acid, peroxidase and auxin oxidase in hypocotyls cuttings of soybean during root formation". *Bot. Bull. Acad. Sci.*, **37**: 247-253.
- Liu, Y., R.J. Bino, C.M. Karssen y H.W.M. Hilhorst, 1996b. Water relations of GA-and ABA-deficient tomato mutants during seed and fruit development and their influence on germination. *Physiol. Plant*, **96**: 425-432.
- Mandujano, M.C., J. Golubov y M. Rojas-Aréchiga, 2007. "Efecto del ácido giberélico en la germinación de tres especies del género *Opuntia* (Cactaceae) del Desierto Chihuahuense". *Cact. Suc. Mex.*, **52**: 46-52.
- Marchi, I.R.A., F.A. Rebelo, E. Fernandes da Rosa y A. Maiochi, 2007. "Síntese e avaliação da propriedade reguladora de crecimiento vegetal de compostos indólicos derivados do sofrol". *Quim. Nova*, **30**: 763-767.
- Martínez, D.; A.F. Flores-Martínez y G. Manzanero, 2001. Aspectos ecológicos de *Mammillaria oteroi* Glass & Foster en la región Mixteca de Oaxaca, México. *Cact. Suc. Mex.*, **46**: 32-38.
- McDonough, W., 1964. "Germination responses of *Carnegiea gigantea* and *Lemaireocereus thurberi*". *Ecology*, **45**: 155-159.
- Mehanna, H.; G.C. Martin y C. Nishijima, 1985. "Effects of temperature, chemical treatments and endogenous hormone content on peach seed germination and subsequent seedling growth". *Sci. Hort.*, **27**: 63-73.
- Metzger, J.D., 1983. "Role of endogenous plant growth regulators in seed dormancy of *Avena fatua*. II. Gibberellins". *Plant Physiol.*, **73**: 791-795.
- Navarro, C.M.C.; G.C. Olvera y J.O.L. Castellanos, 2008. "Efecto de la escarificación de semillas en la germinación de dos especies de *Mammillaria*". *Zonas Áridas*, **12**: 97-105.

- Navarro, C.M.C. y E.M. González, 2007. "Efecto de escarificación de semillas en la germinación y crecimiento de *Ferocactus robustus* (Pfeiff.) Britton & Rose (Cactaceae)". *Zonas Áridas*, **11**: 195-205.
- Nadjafi, F., M. Bannayan, L. Trabizi y M. Rastgoo, 2006. "Seed germination and dormancy breaking techniques for *Ferula gummosa* and *Teucrium polium*". *J. Arid Env.*, **64**: 542-547.
- Nobel, P.S., 1988. *Environmental Biology of Agaves and Cacti*. Cambridge University Press, New York.
- Ogawa, M.A., Y. Hanada, A. Yamauchi; Y. Kuwahara; Y. Kamiya y S. Yamaguchi, 2003. "Gibberellin biosynthesis and response during *Arabidopsis* seed germination". *Plant Cell*, **15**: 1591-1604.
- Olvera-Carrillo, Y.; J. Márquez-Guzmán; V. L. Barradas; M. E. Sánchez-Coronado y A. Orozco-Segovia, 2003. "Germination of the hard seed coated *Opuntia tomentosa* S.D., a cacti from the México valley". *J. Arid Env.*, **55**: 29-42.
- Ortega-Baes, P. and M. Rojas-Aréchiga, 2007. Seed germination of *Trichocereus terscheckii* (Cactaceae): Light, temperature and gibberellic acid effects. *J. Arid Env.*, **69**: 169-176.
- Pérez-Flores, L.F., R. Carrari, M.V. Osuna-Fernández, S. Rodríguez, R. Enciso, R.A. Stanelloni, R. Sánchez; N.D. Bottini y R.L. Benech-Arnold, 2003. "Expression analysis of a GA 20-oxidase in embryos from two sorghum lines with contrasting dormancy: possible participation of this gene in the hormonal control of germination". *J. Bot. Exp.*, **54**: 2071-2079.
- Pérez-Gutiérrez, R.M. and J.M. Mota-Flores, 2010. "Attenuation of hyperglycemia and hyperlipidemia in streptozotocin-induced diabetic rats by chloroform extract of fruits of *Ferocactus latispinus* and *Ferocactus histrix*. *Bol. Latinoam. Caribe Plant. Med. Aromat.*, **9**: 475-484.
- Philosoph-Hadas S.; H. Friedman y S. Meir, 2005. "Gravitropic Bending and Plant Hormones". *Vitam. Horm.*, **72**: 31-78.
- Pierik, R.L.M.; H.H.M. Steegmans y J. Hendriks, 1984. "The influence of naphthaleneacetic acid on the growth of *in vitro* cultivated seedlings of Bromeliaceae". *Sci. Hort.*, **24**: 193-199.
- Rodríguez, R.M.F.; L.R. Sosa; E.A. Fernández; M.I. Reale y V. Villareal, 2007. "Efecto del estrés hídrico a distintas temperaturas sobre la germinación de semillas de *Bulnesia retama* (Gill ex Hook) Griseb.-Zigofiláceas-en San Luis, Argentina". *Phyton*, **76**: 5-17.
- Rojas-Aréchiga, M.; A. Casas y C. Vázquez-Yanes, 2001. "Seed germination of wild and cultivate *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) from the Tehuacan-Cuicatlan Valley, Central Mexico". *J. Arid Env.*, **49**: 279-287.
- Ross J. y D.O'Neill, 2001. "New interaction between plant hormones". *Trends in Plant Sci.*, **6**: 2-4.

- Sagee, O., M.M. Raviv, D. Becker y A. Cosse, 1992. "Involvement of rooting factors and free IAA in the rootability of *Citrus* species stem cuttings". *Sci Hort.*, **51**: 187-195.
- SAS, 2002. *SAS User's Guide: Statistics*. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- Schelin, M.; M. Tigabu; I. Eriksson; I., L. Sawadogo y P. C. Oden, 2003. "Effects of scarification, giberellic acid and dry heat treatment on the germination of *Balanites aegyptiaca* seeds from the *Sudania savanna* in Burkina Faso". *Seed Sci. Tech.*, **31**: 605-617.
- Siobhan M.B. and P. McCourt, 2003. "Hormone Cross-Talk in Seed Dormancy". *J. Plant Growth Regul.*, **22**: 25-31.
- Steel, R.G.D. and Torrie, J.H., 1980. *Principles and Procedures of Statistics*. 2ed. N.Y. McGraw Hill. 481p.
- Talon, M., 2000. "Giberelinas". *Fundamentos de Fisiología Vegetal*, Azcon-Bieto y Talón (Eds.) Interamericana-McGraw-Hill. 325-341 pp.
- Tigabu, M. and P.C. Oden, 2001. "Effect of scarification, gibberellic acid and temperature on seed germination of two multipurpose *Albizia* species from Ethiopia". *Seed Sci. Technol.*, **29**: 11-20.
- Tilki, F., 2008. "Seed germination of *Cistus creticus* L. and *Cistus laurifolius* L. as influenced by dry-heat, soaking in distilled water and gibberellic acid". *J. Environ. Biol.*, **29**(2): 193-195.
- Toyomasu T.; H. Kawaide; W. Mitsuhashi; Y. Inoue y Y. Kamiya, 1998. Phytochrome regulates gibberellins biosynthesis during germination of photoblastic lettuce seeds. *Plant Physiol.*, **118**: 1517-1523.
- Trewabas, A.J., 1983. "Plant growth substances-metabolic flywheels for plant development". *Cell Biol. Int. Reports*, **7**: 569-575.
- Vadillo, G.; M. Suni y A. Cano, 2004. "Viabilidad y germinación de semillas de *Puya raimondii* Harms (Bromeliaceae)". *Rev. Peru Biol.*, **11** (1): 71-78.
- Vega-Villasante, F.; H. Nolasco, C. Montaña, H.L. Romero-Schmidt y E. Vega-Villasante, 1996. "Efecto de la temperatura, acidez, iluminación, salinidad, irradiación solar y humedad sobre la germinación de semillas de *Pachycereus pecten-aboriginum* "cardón barbón" (Cactaceae)". *Cact. Suc. Mex.*, **41**: 51-61.
- Yang, T.; D.M. Law y P.J. Davies, 1993. "Magnitude and kinetics of stem elongation induced by exogenous indole-3-acetic acid in intact light-grown pea seedlings". *Plant Physiol.*, **102**: 717-724.
- Yang, Y.Y.; A. Nagatani, Y.J. Zhao, B.J. Kang, R.E. Kendrick y Y. Kamiya, 1995. "Effects of gibberellins on seed germination of phytochrome-deficient mutants of *Arabidopsis thaliana*". *Plant Cell Physiol.*, **36**: 1205-1211.

Recibido: 17 noviembre 2011. Aceptado: 17 diciembre 2012.