



INDUCCIÓN DE PARTENOCARPIA EN *Opuntia* spp.

INDUCTION OF PARTHENO-CARPY IN *Opuntia* spp.

Óscar E. Varela-Delgado, Manuel Livera-Muñoz*,
Alfonso Muratalla-Lúa y José A. Carrillo-Salazar

Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Fisiología Vegetal, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. km 36.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

*Autor para correspondencia (mlivera@colpos.mx).

RESUMEN

La tuna (*Opuntia* spp.) es un fruto que posee cualidades apreciadas por los consumidores en México y otros países; sin embargo, algunas personas no la consumen porque tiene numerosas semillas grandes en la pulpa, lo cual afecta su calidad y limita su aceptación en los mercados. El objetivo de esta investigación fue determinar la factibilidad de producir frutos partenocárpicos de calidad en cuatro variedades de nopal tunero de amplio uso por los agricultores de Zacatecas y San Luis Potosí. Se aplicaron las dosis de 0, 50, 100 y 200 ppm de ácido giberélico (AG₃) a flores emasculadas en etapa de pre-antesis de las variedades Amarilla Montesa (*Opuntia megacantha* Salm-Dick), Burróna (*Opuntia albicarpa* Sheinvar), Cristalina (*Opuntia albicarpa* Sheinvar) y Rojo Pelón (*Opuntia ficus-indica* L.). A las flores testigos (0 ppm) se les dejó polinizar libremente. El diseño experimental fue completamente al azar, con 16 tratamientos resultantes de un arreglo factorial completo con dos factores y cuatro niveles para cada factor (2⁴). La unidad experimental estuvo conformada por una flor. Las aplicaciones se hicieron en 20 flores (repeticiones) de diferentes plantas por tratamiento. Se obtuvieron frutos partenocárpicos con las tres dosis de AG₃, con una reducción significativa de su longitud, diámetro y peso. Los frutos con aplicación de AG₃ redujeron peso de pulpa, relación pulpa/peso de fruto y grados Brix (°Bx) de la pulpa y de la cáscara; además se incrementó el grosor de la cáscara en comparación con los frutos provenientes de flores sin tratar (testigo). Aunque los frutos partenocárpicos contaban con poca pulpa y cáscara gruesa, esta última presentó lecturas de °Bx similares a las de la pulpa, por lo que la cáscara es potencialmente comestible.

Palabras clave: *Opuntia*, ácido giberélico, emasculación, partenocarpia, tuna.

SUMMARY

Prickly pear (*Opuntia* spp.) is a fruit appreciated by consumers in Mexico and other countries; however, some people do not consume it because of numerous large seeds in the pulp, which affects its quality and limits its acceptance in the markets. This research determined the feasibility of producing quality parthenocarpic fruits in four varieties of prickly pear cactus widely used by farmers of Zacatecas and San Luis Potosí. Doses of 0, 50, 100 and 200 ppm of gibberellic acid (GA₃) were applied into emasculated flowers at the pre-anthesis stage to varieties Amarilla Montesa (*Opuntia megacantha* Salm-Dick), Burróna (*Opuntia albicarpa* Sheinvar), Cristalina (*Opuntia albicarpa* Sheinvar) and Rojo Pelón (*Opuntia ficus-indica* L.). Control flowers

(0 ppm) pollinated freely. The experimental design was completely randomized, with 16 treatments resulting from a complete factorial arrangement with two factors and four levels for each factor (2⁴). The experimental unit consisted of one flower. Applications were made in 20 flowers (replications) of different plants by treatment. Parthenocarpic fruits were obtained with the three doses of GA₃, with a significant reduction in their length, diameter and weight. GA₃ application reduced pulp weight, pulp weight/fruit weight ratio and °Brix in both pulp and peel; in addition, the peel thickness increased in comparison to fruits produced from untreated flowers (control). Although the parthenocarpic fruits had little pulp and thicker peel, the latter had °Brix readings similar to those of the pulp, thus it is potentially edible.

Index words: *Opuntia*, gibberellic acid, emasculation, parthenocarp, prickly pear.

INTRODUCCIÓN

Los frutos del género *Opuntia*, llamados tunas, son apreciados por su sabor agradable y aporte de fibra, hidrocoloides (mucilagos), pigmentos (betalainas y carotenoides), minerales (calcio y potasio) vitaminas y azúcares (Sáenz, 2004). Según ASERCA (2011), el consumo *per cápita* de tuna en México es de 3.9, 4.7, 4.2 y 2.1 kg en las regiones Norte, Occidente, Centro y Sur; aun con los beneficios que aporta esta fruta, algunas personas no consumen tunas por la gran cantidad de semillas en la pulpa (Corrales y Hernández, 2005). Las semillas viables son grandes y su presencia afecta en gran medida la calidad comercial y limita la aceptación de las frutas en muchos mercados debido a la cubierta dura que tienen (ElBehi *et al.*, 2015). El tamaño promedio de las semillas es de 4.5 mm de largo, 3.5 mm de ancho y 1.6 mm de espesor, y su número varía de 16 a 518 semillas por fruto (Aguilar *et al.*, 2003).

La partenocarpia es el desarrollo de un fruto sin la fertilización de los óvulos, y puede obtenerse en genotipos particulares de algunas especies en forma natural o mediante partenocarpia artificial por aplicación de varios

productos. Desde hace décadas se ha intentado obtener frutos sin semillas, también llamados frutos partenocárpico. (Bangerth y Schröder, 1994). En el caso del nopal, Weiss *et al.* (1993) reportan que el clon BS1 de *Opuntia ficus-indica* presenta partenocarpia vegetativa, por lo que no requiere de la polinización para el desarrollo y cuajado del fruto. Así mismo, es posible obtener frutos sin semilla con aplicaciones externas de reguladores de crecimiento a flores con diferentes métodos y épocas de aplicación; uno de los más utilizados es con dosis de ácido giberélico (AG_3), en concentraciones que van desde 50 hasta 500 ppm (De la Barrera y Nobel, 2004; Díaz y Gil, 1978; Gil *et al.*, 1977; Gil y Espinoza, 1980; Kaaniche-Eloumi *et al.*, 2015; Mejía y Cantwell, 2003).

En México y otros países se ha inducido la partenocarpia en nopal tunero mediante la aplicación de ácido giberélico (Corrales y Hernández, 2005; Ortiz *et al.*, 1991); sin embargo, a la fecha no se encuentra ningún fruto partenocárpico de calidad en el mercado, lo que posiblemente se deba a que la base genética utilizada para inducir la partenocarpia ha sido estrecha, ya que se ha utilizado principalmente *Opuntia ficus-indica*.

México cuenta con una amplia diversidad genética de nopal tunero; a manera de ilustración, solamente en la altiplanicie meridional se han registrado 126 variedades, que corresponden a 18 especies (Reyes-Agüero *et al.*, 2009). Los productores de nopal tunero están utilizando una amplia gama de variedades con frutos de distintos colores (blancas, amarillas, naranja, rojas y moradas, principalmente), con cualidades muy apreciadas en el mercado nacional y en el extranjero; en este último la demanda y comercialización de tunas se han incrementado sustancialmente, particularmente en los Estados Unidos de América y Canadá (Gallegos y Mondragón-Jacobo, 2011), y éstas no son de la especie *O. ficus-indica*, por lo que se considera importante investigar si algunas de ellas presentan una buena respuesta a la inducción de la partenocarpia con ácido giberélico.

El objetivo de esta investigación fue determinar la factibilidad de producir frutos partenocárpico de calidad en cuatro variedades de amplio uso por los productores en la región de Zacatecas y San Luis Potosí, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios experimentales y material genético

El estudio se realizó en la segunda semana de abril de 2014, directamente en huertas en producción localizadas en la comunidad de Encinitos, Pinos, Zacatecas, que se encuentra entre los paralelos 21° 47' y 22° 45' latitud N y

los meridianos 101° 17' y 101° 50' longitud O, con altitud de 2140 msnm. Se estudiaron cuatro variedades de nopal tunero pertenecientes a tres especies: Amarilla Montesa (*Opuntia megacantha* Salm-Dick), Burróna (*Opuntia albicarpa* Sheinvar), Cristalina (*Opuntia albicarpa* Sheinvar) y Rojo Pelón (*Opuntia ficus-indica* L.) cultivadas en distintas huertas.

Manejo de los lotes experimentales

La variedad Amarilla Montesa (AM) se localiza en una huerta de 10 ha; la plantación tiene una edad de 15 años, la densidad de población es de 800 plantas ha^{-1} , a 2.5 m entre plantas y separación entre hileras de 5 m, se ha realizado poda de cladodios y controlado malezas arbustivas y se aplicó estiércol de bovino (15 kg/planta aproximadamente) dos años antes del estudio. La variedad Rojo Pelón (RP) tiene 5 años de establecida en una superficie de 2 ha, con distancia de 5 m entre hileras y 4 m entre plantas (500 plantas/ ha^{-1}), no se han realizado podas, sólo control de arbustos y abonado con estiércol bovino un año antes del estudio. La variedad Cristalina (Cr) está en una huerta de 1 ha, plantada a distancia de 2.5 m entre plantas y 4 m entre hileras, con una densidad de 1000 plantas/ ha^{-1} , la edad es de 12 años, se realizaron podas moderadas y la aplicación de abono fue dos años antes del estudio. Burróna (Br) está establecida en 1 ha con densidad de 1142 plantas/ ha^{-1} a distancia de 3.5 m entre hileras y 2.5 m entre plantas; se ha realizado poda y abonado. En ninguna de las huertas se hizo control de plagas y enfermedades.

En cada huerta se eligió una parte de la plantación de dos o tres hileras (omitiendo las de las orillas) de 60 m de largo aproximadamente. Se seleccionaron plantas que presentaran condiciones similares (sanas, altura, porte, edad, etc.). Se eligieron flores en etapa de pre-antesis, se emascularon y se les aplicó el AG_3 , y para el caso de las flores testigo (0 ppm de AG_3) se dejó que se polinizaran libremente.

Tratamientos, diseño y unidad experimental

Se estudió el efecto del ácido giberélico (AG_3) a cuatro concentraciones: 0 (testigo), 50, 100 y 200 ppm para inducir frutos partenocárpico en plantas de cuatro variedades de nopal tunero AM, Br, Cr y RP, lo que dio un total de 16 tratamientos. El diseño experimental fue completamente al azar, con 16 tratamientos resultantes de un arreglo factorial completo con dos factores y cuatro niveles para cada factor (2^4). La unidad experimental estuvo conformada por una flor. Las aplicaciones se hicieron en 20 flores (repeticiones) de diferentes plantas por tratamiento.

VARIABLES EVALUADAS

Se realizaron dos cosechas, el 17 de agosto y el 14 de septiembre de 2014, cuando los frutos presentaron pigmentación en 80 % o más de la cáscara. El corte de la tuna se hizo con navaja en la base del fruto. Los ahuates (gloquidios) de los frutos se removieron con ayuda de una escoba; en seguida se marcaron y se colocaron en cajas de cartón para su traslado al laboratorio para la toma de mediciones.

Las variables evaluadas fueron: 1) longitud de fruto (LF) en mm: se midió con un vernier digital Truper® con precisión de 0.001 cm; 2) diámetro ecuatorial del fruto (DEF) en mm: con el vernier se midió la parte más ancha del fruto en su parte central; 3) grosor de cáscara (GC) en mm: se hizo un corte longitudinal al fruto, después se separó la cáscara y al centro de ésta se midió su grosor con el vernier digital; 4) peso del fruto (PF) en g y 5) peso de la cáscara (PC) en g: se obtuvieron con una balanza digital Scout® Pro con precisión de 0.01 g; 6) peso de la pulpa (PP) en g, se obtuvo de la diferencia entre PF y PC en fresco; 7) relación peso de pulpa/peso de fruto: se obtuvo dividiendo el peso de pulpa entre peso del fruto multiplicado por 100; 8) relación de peso de cáscara/peso de fruto: se obtuvo dividiendo el peso de la cáscara entre peso del fruto multiplicado por 100; 9) grados Brix (°Bx) de la pulpa y °Bx de la cáscara, se extrajeron de dos a tres gotas de jugo directamente de la pulpa o de la cáscara y se colocaron en el sensor óptico de un refractómetro digital marca ATAGO® PAL-1; 10) relación °Bx de cáscara/°Bx de pulpa, se obtuvo dividiendo los °Bx de la cáscara entre los °Bx de la pulpa multiplicado por 100; 11) número de semillas o de residuos seminales (tegumentos vacíos, sin embrión) (RS), según el caso. La pulpa del fruto se colocó en una coladera de plástico y se lavó con agua a presión hasta eliminar residuos de pulpa; después, las semillas o los RS se colocaron en papel y se secaron al ambiente; 12) peso de semillas y de RS en g, se determinó en una balanza analítica Sartorius H51.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó análisis de varianza para cada variable con el paquete SAS (Statistical Analysis System), versión 9.3. El modelo estadístico utilizado fue $Y_{ijk} = \mu + V_i + D_j + V * D_{ij} + E_{ijk}$, donde μ es la media global, V_i el efecto del factor variedades, D_j el efecto del factor dosis de AG_3 , $V * D_{ij}$ interacción entre variedades y niveles de AG_3 , E_{ijk} error experimental. En los casos donde se detectaron diferencias significativas entre tratamientos se aplicó la prueba de medias de Tukey con $\alpha = 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Factor variedades

Todas las variedades fueron diferentes en longitud y diámetro de fruto ($P \leq 0.05$). Los frutos de Cristalina fueron los más largos (90.8 mm) y los de Burróna los más anchos (55.1 mm). Ambas variedades se caracterizan por tener el fruto de mayor tamaño dentro de las variedades comerciales, con un promedio de 9.21 cm de largo y 6.79 cm de ancho (Gallegos y Mondragón-Jacobo, 2011), valores similares a los encontrados en el presente estudio. Los frutos de Amarilla Montesa son un poco alargados y con diámetro angosto, mientras que los de Rojo Pelón son más pequeños (Cuadro 1). Las cuatro variedades presentaron el mismo comportamiento en peso de fruto y peso de cáscara. Los frutos de Cristalina y Burróna fueron los más pesados (137.8 y 140.8 g, respectivamente) y con peso de cáscara similar. Los de Amarilla Montesa y Rojo Pelón tuvieron valores más bajos de peso de fruto (112.7 y 111.9 g respectivamente) y peso de cáscara (73.0 y 72.3 g, respectivamente). Cristalina resultó con cáscara gruesa (6.7 mm) y por consiguiente mayor proporción del peso del fruto (72 %). En Burróna la cáscara fue más delgada (6.0 mm) y presentó la relación peso de cáscara/peso de fruto más baja (67 %), mientras que Rojo Pelón tuvo la cáscara más gruesa (7.2 mm); sin embargo, su proporción con respecto al fruto (69 %) fue semejante al de las otras variedades; lo mismo sucedió en Amarilla Montesa, aunque ésta tuvo un grosor de cáscara menor (6.8 mm) (Cuadro 1).

El peso de la pulpa de las tunas de las cuatro variedades representó en promedio 30 % del peso del fruto y fue Burróna la que presentó mayor proporción de pulpa (33 %) y Amarilla Montesa la menor (29 %). El contenido de sólidos solubles totales en Grados Brix (°Bx) fue similar en todas las variedades, alrededor de 11 para la pulpa del fruto y de 9 a 10 en la cáscara; es decir, hubo aproximadamente 1.0 °Bx de diferencia entre la pulpa y la cáscara.

Hubo diferencia significativa entre Cristalina y Burróna en los °Bx de la pulpa; Cristalina tuvo el valor más alto (12 °Bx) y Burróna el más bajo (11 °Bx). De las cuatro variedades, Amarilla Montesa presentó mayor lectura de °Bx en la cáscara (10.5 °Bx) con sólo 8 % menos que su respectiva pulpa, mientras que en las otras tres variedades fue cercano a 16 % menos que en la pulpa (Cuadro 2).

Factor dosis de AG_3

Se presentaron efectos de AG_3 en todas las dosis aplicadas (50, 100 y 200 ppm) en las flores emasculadas, lo que produjo frutos partenocárpicos, y redujo significativamente

Cuadro 1. Efecto promedio de la variedad de nopal sobre características del fruto.

Variedad	Fruto (mm)		GC (mm)	Peso (g)			Relación (%)	
	Longitud	Diámetro		Fruto	Cáscara	Pulpa	Pulpa/ PTF	Cáscara/PTF
Cristalina	90.8 a	53.4 b	6.7 b	137.8 a	89.2 a	49.1 a	27.8 c	72.1 a
Burrona	87.4 b	55.1 a	6.0 c	140.8 a	86.0 a	54.7 a	33.0 a	66.9 c
Amarilla M.	81.5 c	49.0 d	6.8 ab	112.7 b	73.0 b	39.7 b	29.5 bc	70.4 ab
Rojo P.	75.5 d	51.4 c	7.2 a	111.9 b	72.3 b	39.2 b	31.1 ab	68.8 bc
DSH	3.1	1.5	0.4	9.0	5.8	5.4	1.3	1.3

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); DSH: diferencia significativa honesta; GC: grosor de cáscara; PTF: peso total del fruto.

Cuadro 2. Efecto promedio de la variedad sobre °Brix en pulpa y cáscara, y sobre el número de semillas y residuos seminales (RS).

Variedad	Grados Brix (°Bx)		Rel. °Bx-Cáscara /°Bx-Pulpa (%)	NTS y NTRS	PTS y PTRS (g)
	Pulpa	Cáscara			
Cristalina	11.8 a	9.7 b	83.7 b	382.7 a	1.8 b
Burrona	11.1 b	9.2 c	83.3 b	295.5 b	2.2 a
Amarilla	11.5 ab	10.5 a	92.4 a	269.2 c	1.2 c
Rojo Pelón	11.3 ab	9.4 bc	84.1 b	289.5 bc	1.2 c
DSH	0.5	0.5	2.3	25.1	0.2

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); DSH: diferencia significativa honesta; NTS: número total de semillas; PTS: peso total de semillas; NTRS: número de residuos seminales; PTRS: peso de residuos seminales.

la longitud, diámetro y peso de fruto, peso de pulpa, relación pulpa/peso del fruto y °Bx en la pulpa y en la cáscara, en comparación con los frutos provenientes de flores sin emasculas y sin tratar (testigo). La cáscara de los frutos tratados aumentó su grosor y peso y, en consecuencia, la relación peso de cáscara/peso de fruto fue relativamente alta y la relación peso de pulpa/peso de fruto fue baja (Cuadro 3), resultados que concuerdan con los obtenidos por Corrales y Hernández (2005).

La longitud y diámetro de los frutos sin tratar (testigos) fueron mayores, en un poco más de 10 mm, con respecto a los de frutos tratados. Se obtuvieron frutos de peso de 189 g cuando no se aplicó AG₃, y cuando se aplicó a la concentración de 200 ppm el peso disminuyó hasta 116 g, siendo en esta dosis donde se encontraron los frutos más pesados con respecto a las otras (50 y 100 ppm de AG₃).

Las concentraciones más altas de AG₃ en flores emasculadas favorecieron el desarrollo de los frutos sin semilla; similarmente, Kaaniche-Elloumi *et al.* (2015) encontraron que una dosis de 500 ppm produce mejores resultados

que una de 100 ppm, pero con frutos más pequeños que los de flores testigo polinizadas.

Con respecto a los °Bx del fruto tanto en pulpa como en cáscara, las aplicaciones de AG₃ produjeron frutos con aproximadamente 1.0 °Bx menos en comparación con el testigo, y no se observaron diferencias importantes entre las tres dosis empleadas (Figuras 1A y B). Resultados similares se han obtenido con el uso de varios reguladores (Aguilar *et al.*, 2003; Ortiz *et al.*, 1991); donde los °Bx en la cáscara fueron menores que en la pulpa, de 1 a 2 grados de diferencia. Los resultados indican que, durante la maduración, tanto la cáscara como la pulpa acumulan sólidos solubles totales, siendo menor la acumulación en frutos tratados con reguladores con respecto a los no tratados; en otros casos, esta variable no se afectó y la acumulación fue similar (Ortiz *et al.*, 1991). Muratalla *et al.* (2002, Com. Pers.)¹ han señalado que una característica deseable en tunas partenocárpicas es que la cáscara sea dulce y comestible.

¹Muratalla L. A., M. Livera M., C. Hernández R. y V. A. González H. (2002) Tuna fresa sin semilla: reseña de un nuevo concepto de calidad de fruto de nopal (*Opuntia ficus-indica*) hecho realidad. In: Memorias del XIX Congreso Nacional de Fitogenética. 1-5 de septiembre. Saltillo, Coahuila, México. p: 259.

Cuadro 3. Efecto de tres concentraciones de AG₃ sobre características de calidad de los frutos de cuatro variedades de nopal tunero.

ppm de AG ₃	Fruto (mm)		GC (mm)	Peso (g)			Relación (%)	
	Longitud	Diámetro		Fruto	Cáscara	Pulpa	Pulpa/PTF	Cáscara/PTF
0	93.9 a	62.3 a	4.3 c	189.3 a	77.4 b	112.9 a	58.6 a	41.3 b
200	82.8 b	50.9 b	7.9 a	116.7 b	89.3 a	27.4 b	22.7 b	77.2 a
100	81.1 b	49.1 c	7.4 b	106.2 c	82.9 b	23.3 bc	21.5 b	78.4 a
50	77.4 c	46.5 d	7.1 b	91.0 d	70.9 c	19.7 c	21.5 b	78.4 a
DSH	3.1	1.5	0.4	9.0	5.8	5.9	1.3	1.3

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); DSH: diferencia significativa honesta; GC: grosor de cáscara; PTF: peso total del fruto.

Cuadro 3. Continuación.

ppm de AG ₃	Grados Brix (°Bx)		Rel. °Bx-Cáscara /°Bx-Pulpa	NTS y NTRS [†]	PTS y PTRS ^{**} (g)
	Pulpa	Cáscara			
0	12.4 a	10.4 a	88.1 a	299.7 a	6.34 a
50	10.9 b	9.2 b	85.8 ab	310.5 a	0.08 b
100	11.1 b	9.3 b	84.6 b	313.8 a	0.09 b
200	11.3 b	9.6 b	86.0 ab	312.8 a	0.13 b
DSH	0.5	0.5	2.3	25.1	0.21

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); DSH: diferencia significativa honesta; NTS: número total de semillas; PTS: peso total de semillas; NTRS: número de residuos seminales; PTRS: peso de residuos seminales; [†]NTS y PTS hacen referencia a los datos de 0 ppm de AG₃, y ^{**}NTRS y PTRS a las dosis de 50, 100 y 200 ppm de AG₃.

Interacción variedades × concentraciones de AG₃

Las cuatro variedades presentaron la tendencia de incrementar el tamaño y peso de los frutos de flores tratadas con AG₃ conforme se incrementó la dosis aplicada (Figuras 1A, B y C); Cristalina y Burróna tuvieron los mayores valores. Los frutos de los testigos alcanzaron valores significativamente más altos en estas variables.

La aplicación de AG₃ aumentó significativamente el grosor de la cáscara en todas las variedades y Amarilla Montesa tuvo la cáscara más delgada con las tres dosis de AG₃ (Figura 1F). En Amarilla Montesa y Cristalina la dosis de 200 ppm de AG₃ aumentó el peso de cáscara, encontrándose diferencias significativas con respecto al testigo y las otras dosis, excepto la de 100 ppm en Cristalina (Figura 1E). Corrales y Hernández (2005) estudiaron la calidad de tunas normales y partenocárpicas de seis variedades; la inducción de la partenocarpia la realizaron emasculando las flores y aplicando ácido indolbutírico (300 mg L⁻¹) y AG₃ (150 mg L⁻¹) y encontraron que las variedades tuvieron comportamientos diferentes; las tunas sin semilla presentaron menor peso de fruto que los testigos y los más pesados fueron los de Cristalina. Los mismos

autores encontraron que el AG₃ causó alargamiento del fruto en dos variedades, efecto no encontrado en este estudio, y las tunas sin semilla presentaron mayor grosor de cáscara en casi todas las variedades, excepto en Amarilla Milpa Alta; lo que difiere de lo encontrado en esta investigación, donde el AG₃ provocó el mismo efecto en las cuatro variedades estudiadas.

La emasculación impidió la formación de las semillas y el AG₃ aumentó el grosor de cáscara e indujo la formación de poca pulpa en las cuatro variedades (Figura 1D). El peso de pulpa de los frutos tratados en todas las variedades no fue mayor de 35 g, tendencia similar entre las dosis pues ninguna de ellas logró aumentar el contenido de pulpa. En contraste, la pulpa de los testigos superó los 88 g.

En las cuatro variedades la relación pulpa/peso de los frutos partenocárpicas no alcanzó más de 26 %, y en los testigos ésta fue arriba de 55 %; sólo en Cristalina la relación peso de pulpa/peso de fruto aumentó ligeramente cuando pasó de 50 a 200 ppm y la relación peso cáscara/peso de fruto disminuyó, lo cual es un efecto deseable (Figuras 2A y B).

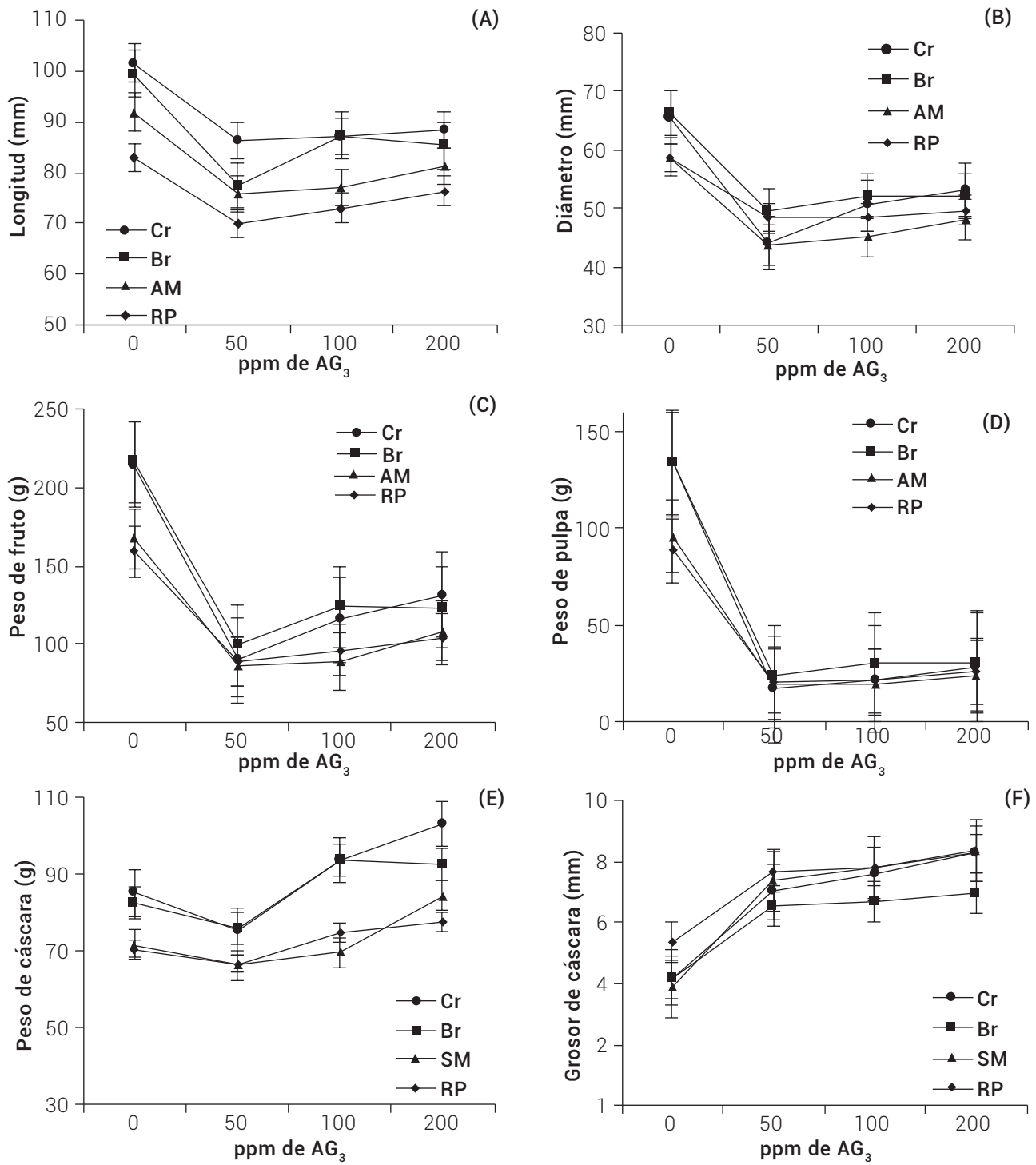


Figura 1. Características de calidad de tunas a diferentes concentraciones de ácido giberélico (AG_3) en cuatro variedades de nopal (Cr: Cristalina; Br: Burróna; AM: Amarilla Montesa y RP: Rojo Pelón).

Los efectos del AG₃ se han estudiado en *O. ficus-indica* (De la Barrera y Nobel, 2004; Díaz y Gil, 1978; Gil *et al.*, 1977; Gil y Espinoza, 1980; Kaaniche-Elloumi *et al.*, 2015), *Opuntia amyoclaea* (Mejía y Cantwell, 2003; Ortiz *et al.*, 1991) y *Opuntia megacantha* (Corrales y Hernández, 2005) en los que se aplicó AG₃ solo o combinado con otros reguladores de crecimiento sobre flores emasculadas o en la antesis, logrando inhibir la formación de semillas total o parcialmente, pero con baja calidad de fruto, afectada principalmente por el mayor grosor de la cáscara, poca pulpa y frutos más pequeños que los testigos.

En comparación con los frutos normales, los tratados con AG₃ presentaron una ligera disminución en los sólidos solubles totales en la pulpa y en la cáscara (Figuras 2C y D). Cristalina mostró una tendencia a incrementarlos conforme aumentó la dosis, pero no se encontraron diferencias significativas con respecto al testigo; Burróna presentó valores menores y estables en frutos tratados y no tratados; no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Amarilla Montesa tuvo los valores más altos en °Bx de su cáscara cuando se aplicaron 50 y 100 ppm de AG₃ (Figura 2D), con dulzor similar al de su pulpa (Figura 2E), lo que resulta importante si se desea consumir la cáscara.

Con la emasculación de las flores y la aplicación de AG₃ se logró obtener frutos sin semillas normales, la pulpa sólo tuvo cubiertas seminales vacías (csv), sin embrión. Cristalina y Amarilla Montesa contrastan por su número de semillas y de csv en los frutos testigos y en los partenocárpicos, respectivamente (Cuadro 4); la primera tuvo el mayor número y la segunda el menor y no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. En Burróna la concentración de 200 ppm de AG₃ disminuyó el número de cvs con respecto al número de semillas en el testigo, y Rojo Pelón presentó mayor número de csv en las tres concentraciones de AG₃.

Los frutos partenocárpicos de las cuatro variedades tuvieron csv con un peso significativamente menor al peso de las semillas normales (Cuadro 5). Existe asociación entre el número de semillas normales y el tamaño y forma final de los frutos, ya que las semillas con embrión son de mayor tamaño y producen mayor cantidad de hormonas y pulpa (Gil *et al.*, 1977). El tamaño final de la tuna depende del número de semillas fecundadas (Barbera *et al.*, 1994), y la emasculación de flores evita la formación de semillas normales al impedir la formación de embriones (Gil *et al.*, 1977).

Cuadro 4. Número de semillas en frutos normales y número de cubiertas seminales vacías en frutos partenocárpicos obtenidos con aplicación de tres dosis de AG₃ en cuatro variedades de nopal tunero.

ppm de AG ₃	Tipo de fruto	Variedad			
		Amarilla M.	Burróna	Cristalina	Rojo P.
0	Normal	252.0 a	327.0 a	374.7 a	245.1 b
50	Partenocárpico	274.1 a	288.3 b	377.5 a	302.1 a
100	Partenocárpico	279.6 a	305.3 ab	362.7 a	307.7 a
200	Partenocárpico	271.0 a	284.8 b	415.7 a	303.0 a
DSH		43.1	37.7	65.5	54.6

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); DSH: diferencia significativa honesta.

Cuadro 5. Peso de semillas en frutos normales y peso de cubiertas seminales vacías (g) en frutos partenocárpicos obtenidos con aplicación de tres dosis de AG₃ en cuatro variedades de nopal tunero.

ppm de AG ₃	Tipo de fruto	Variedad			
		Amarilla M.	Burróna	Cristalina	Rojo P.
0	Normal	4.67 a	8.72 a	7.16 a	4.83 a
50	Partenocárpico	0.08 b	0.07 b	0.10 b	0.11 b
100	Partenocárpico	0.08 b	0.11 b	0.11 b	0.10 b
200	Partenocárpico	0.08 b	0.11 b	0.19 b	0.14 b
DSH		0.39	0.37	0.59	0.35

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); DSH: diferencia significativa honesta.

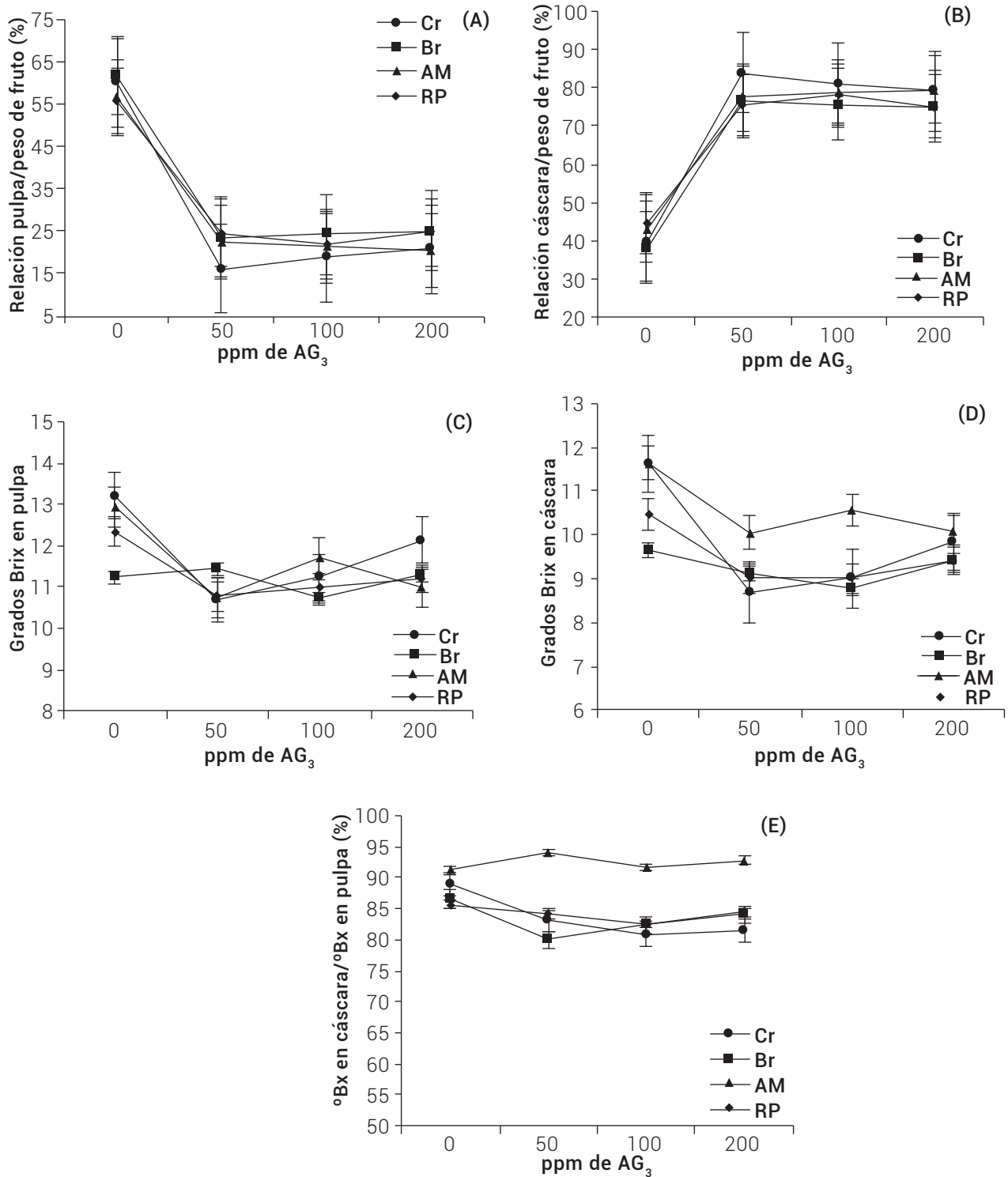


Figura 2. Características de calidad de tunas a diferentes concentraciones de ácido giberélico (AG_3) en cuatro variedades de nopal tunero (Cr: Cristalina; Br: Burrón; AM: Amarilla Montesa y RP: Rojo Pelón).

Los resultados muestran que es posible producir frutos partenocárpicos con las cuatro variedades estudiadas y que es necesario explorar otras vías para mejorar la calidad del fruto; los mismos resultados indican que no es posible generalizar los efectos de la emasculación y aplicación de AG₃ sobre la producción de pulpa y características de la cáscara porque la respuesta depende del genotipo, del ambiente y de la interacción entre genotipo y ambiente, y la emasculación de la flor y la aplicación de AG₃ solamente son dos de los múltiples factores que afectan el resultado final.

CONCLUSIONES

La emasculación de flores en pre-antesis y la aplicación de 50, 100 y 200 ppm de AG₃ indujeron la formación de frutos partenocárpicos en las variedades Cristalina (*Opuntia albicarpa* Sheinvar), Burróna (*Opuntia albicarpa* Sheinvar), Amarilla Montesa (*Opuntia megacantha* Salm-Dick) y Rojo Pelón (*Opuntia ficus-indica* L.). Los frutos partenocárpicos fueron de menor tamaño y peso que los frutos normales y tuvieron una relación peso de cáscara/peso de fruto más alta. Considerando que en la cáscara de los frutos partenocárpicos se encontraron grados Brix similares a los de su pulpa, para mejorar la calidad del fruto se puede considerar el desarrollo de tunas partenocárpicas con cáscara dulce comestible.

AGRADECIMIENTO

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología el otorgamiento de la beca para realizar sus estudios de Maestría en Ciencias, durante los cuales se realizó la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar E. A., J. A. Reyes A. y J. R. Aguirre R. (2003) Caracterización de la semilla de 403 variantes de nopal (*Opuntia* spp.). In: Memoria del IX Congreso Nacional y VII Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. G. Esparza, M. Salas, J. Mena y R. Valdez (eds.). UACH, UAZ e INIFAP. Zacatecas, México. pp:117-120.
- ASERCA, Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (2011) Nopal y tuna, una mirada a su realidad actual. *Claridades Agropecuarias* 213:3-12.
- Bangerth F. and M. Schröder (1994) Strong synergistic effects of gibberellins with the synthetic cytokinin N-(2-chloro-4-pyridyl)-N-phenylurea on parthenocarpic fruit set and some other fruit characteristics of apple. *Plant Growth Regulation* 15:293-302.
- Barbera G., P. Inglese and T. La Mantia (1994) Seed content and fruit characteristics in cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.). *Scientia Horticulturae* 58:161-165.
- Corrales G. J. y J. L. Hernández S. (2005) Cambios en la calidad postcosecha de variedades de tuna con y sin semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:9-16.
- De la Barrera E. and P. S. Nobel (2004) Carbon and water relations for developing fruits of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, including effects of drought and gibberellic acid. *Journal of Experimental Botany* 55:719-729.
- Díaz Z. F. y G. Gil S. (1978) Efectividad de diversas dosis y métodos de aplicación del ácido giberélico en la inducción de partenocarpia y en el crecimiento del fruto de tuna (*Opuntia ficus-indica* Mill.). *Ciencia e Investigación Agraria* 5:109-117.
- ElBehi A. W., F. Orlandi, T. Bonofiglio, B. Romano, M. Fornaciari, P. Inglese, G. Sortino and G. Liguori (2015) Pollen morphology and reproductive performances in *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. *Acta Horticulturae* 1067:217-223.
- Gallegos V. C. y C. Mondragón-Jacobo (2011) Cultivares Selectos de Tuna de México al Mundo. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 159 p.
- Gil S. G. y A. Espinoza R. (1980) Desarrollo de frutos de tuna (*Opuntia ficus-indica* Mill.) con aplicación prefloral de giberelina y auxina. *Ciencia e Investigación Agraria* 7:141-147.
- Gil G. F., M. Morales y A. Momberg (1977) Cuaja y desarrollo del fruto de tuna (*Opuntia ficus-indica* Mill.) y su relación con polinización y con los ácidos giberélico y cloroetilfosfónico. *Ciencia e Investigación Agraria* 4:163-169.
- Kaaniche-Eloumi N., E. Jedidi, K. B. Mahmoud, A. Chakroun and A. Jemali (2015) Gibberellic acid application and its incidence on *in vitro* somatic embryogenesis and fruit parthenocarpy in an apomictic cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) clone. *Acta Horticulturae* 1067:225-230.
- Mejía A. and M. Cantwell (2003) Prickly pear fruit development and quality in relation to gibberellic acid applications to intact and emasculated flower buds. *Journal of Professional Association for Cactus Development* 6:72-85.
- Ortiz H. Y. D., F. Barrientos P., M. T. Colinas L. y A. Martínez G. (1991) Ácido giberélico, auxinas y sus efectos sobre el fruto de nopal tunero. *Agrociencia Serie Fitociencia* 2:17-32.
- Reyes-Aguero. J. A., J. R. Aguirre R., F. Carlin C. y A. González D. (2009) Catálogo de las Principales Variantes Silvestres y Cultivadas de *Opuntia* en la Altiplanicie Meridional de México. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. San Luis Potosí, SLP. México. 350 p.
- Sáenz H. C. (2004) Compuestos funcionales y alimentos derivados de *Opuntia* spp. In: El Nopal. Tópicos de actualidad. G. Esparza F., R. D. Valdés C. y S. J. Méndez G. (eds.). Universidad Autónoma Chapingo-Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. de México. pp:211-222.
- Weiss J., A. Nerd and Y. Mizrahi (1993) Vegetative parthenocarpy in the cactus pear *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. *Annals of Botany* 72:521-526.