CARACTERÍSTICAS CARIOTÍPICAS DE SEIS GENOTIPOS DE PITAHAYA (*Hylocereus* spp.)

O. Grimaldo-Juárez[1¶]; A. García-Velázquez[1]; J. Ortiz-Cereceres[1]; L. M. Ruiz-Posadas[2]

[1] Programa de Genética, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México. (¶Autor responsable).

[2] Programa de Botánica, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México.

RESUMEN

Se analizó el cariotipo en seis genotipos de pitahaya (*Hylocereus* spp.). Los cromosomas fueron observados en células de ápices radicales pretratados con solución acuosa saturada con *p*-diclorobenceno por 5:30 a 6 horas y fijadas en Carnoy. La tinción de los cromosomas se obtuvo con Feulgen y orceína propiónica al 1.8 %. Las mediciones de los cromosomas se realizaron en fotografías escaneadas y procesadas con el programa de cómputo Image Tool versión 1.8. En los seis genotipos de pitahaya, el número cromosómico fue 2n=2x=22, esto es, diploides. La longitud de los cromosomas varió entre 2.46 a 5.06 mm. Los cariotipos de las pitahayas fueron homogéneos en las características de longitud cromosómica y relación de brazos. Se distinguieron dos citotipos (A y B), ambos con cromosomas metacéntricos (m) y submetacéntricos (sm). El citotipo A (10 m + 1 sm), está presente en cinco genotipos (BHA, BV22, A28, A39 y Rojo) y el citotipo B (9 m + 2 sm) en un solo genotipo (Solferino). Los cariotipos también presentaron de dos a tres constricciones secundarias ubicadas en los brazos cortos de cromosomas metacéntricos. La similitud cariotípica de los seis genotipos de pitahaya, hace suponer que pertenecen a una sola especie (*Hylocereus undatus*).

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: Cactáceas, citología, cromosomas, citotipos.

KARYOTYPE CHARACTERISTICS IN SIX GENOTYPES OF PITAHAYA (*Hylocereus* spp)

SUMMARY

The karyotype was studied in six genotypes of pitahaya (*Hylocereus* spp.). The chromosomes were observed in cells from root tips pretreated in a watery solution saturated with *p*-dichlorobenzene for 5:30 to 6:00 hours and fixed in Carnoy. Chromosomes were stained in Feulgen and 1.8 % propionic orcein. Chromosomes were measured on scanned photographs of cells and processed in Image Tool, version 1.8, software. The six genotypes of pitahaya were diploid, exhibiting a chromosome number of 2n = 2x = 22. Chromosome length varied from 2.46 to 5.06 µm. The karyotypes of the pitahayas were uniform in length and arm relationships. Two cytotypes were distinguished, both with metacentric (m) and submetacentric (sm) chromosomes. Cytotype A (10 m + 1 sm) was present in five genotypes (BHA, BV22, A28, A39, and Rojo), and cytotype B (9 m + 2 sm) in only one (Solferino). The karyotypes showed two to three secondary constrictions in the short arms of metacentric chromosomes. The similar karyotype characteristics of the genotypes studied could indicate that they belong to the same species, *Hylocereus undatus*.

ADDITIONAL KEY WORDS: Cactaceae, cytology, chromosomes, cytotype.

INTRODUCCIÓN

Las pitahayas (*Hylocereus* spp.) son cactáceas adaptadas a climas tropicales, subtropicales y semiáridos, su distribución comprende regiones de México, Centroamérica y el Caribe (Britton y Rose, 1963; Bravo, 1978; Rodríguez, 2000). Pertenecen a la familia Cactaceae, subfamila Cactoideae, tribu Hylocereeae, subtribu Hylocereinae y género *Hylocereus* (Britton y Rose, 1963; Bravo, 1978). Las especies reconocidas son 31 (Castillo *et al*., 1996) y tres de ellas han sido registradas en México. Las especies son *Hylocereus undatus*, *H. purpusii* e *H. ocamponis*, su distribución abarca regiones de los estados de Sinaloa, Colima, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Guerrero, Chiapas, Veracruz, Tabasco, Yucatán y Quintana Roo (Haage, 1963; Bravo, 1978; Scheinvar, 1985; Hunt, 1992; Cházaro y Acevedo, 1997). *H. undatus* es considerada la de mayor importancia económica para México, ya que sus frutos son muy apreciados y fácilmente comercializados en mercados locales y regionales, además de tener demanda en los mercados nacional y extranjero (Rodríguez, 1994).

Recibido: 8 de agosto, 2000
Aceptado: 15 de mayo, 2001

La identificación de las especies de pitahaya se hace a través de las características de los tallos (color, costillas con bordes con o sin suberificado, ubicación de areolas y tipo de espinas), flores (escamas del pericarpelo) y frutos (Bravo, 1978; Scheinvar, 1985). Sin embargo, es frecuente clasificar plantas de pitahaya en la especie *H. undatus* únicamente por características de los frutos tales como el color de cáscara (roja en varias tonalidades) y pulpa (blanca). Ésta con diferente color de la cáscara y pulpa son especies diferentes a *H. undatus* (Castillo *et al*., 1996; Rodríguez, 1998), o bien, son variaciones de la especie *H. undatus* (Mizrahi *et al*., 1997; Ramírez, 1999).

Los problemas de identificación de las cactáceas están relacionados con el polimorfismo, hibridación e influencia del hombre en la selección de genotipos específicos, lo cual altera las características iniciales de la especie (Grant y Grant 1979; Borrego y Burgos 1986). La alternativa para identificar correctamente las plantas es a través de la integración de información cromosómica, misma que tiende a ser constante entre individuos de la misma especie, lo que facilita la delimitación de especies, géneros y relaciones filogenéticas (Swanson, 1958; Wiley, 1981; Dubcovsky *et al.,* 1989). Según Johnson (1980), Cota y Wallace (1996) el estudio de los cromosomas en las cactáceas es escaso, lo que se atribuye al tamaño pequeño de éstos y a la presencia de mucílago en los tejidos, lo cual complica la técnica de aplastado y dificulta su observación. En algunas especies de los géneros *Mammillaria*, *Nyctocereus*, *Echinocereus*, *Myrtillocactus* y *Opuntia*, en los que se han estudiado las características de los cromosomas, se coincide en indicar que su número básico es de x=11 y que se tienen variaciones poliploides en los géneros *Opuntia*, *Echinocereus* y *Mammillaria*. Otras características en común de los cromosomas en estos géneros son la uniformidad en su longitud y relación de brazos, así como la presencia de una a tres constricciones secundarias (Sosa y Acosta, 1966; Pinkava y McLeod, 1971; Pinkava *et al*., 1977; Weedin y Powell, 1978; Ross, 1981; Gibson y Nobel, 1986; Palomino *et al*., 1988; Cota y Wallace, 1995, 1996; Cid y Palomino, 1996).

En el género *Hylocereus*, la información citológica de algunas especies se limita a indicar el número cromosómico somático 2n=2x=22 (Robles, 1990; Lichtenzveig *et al*., 2000). La falta de información cromosómica y la necesidad de contribuir al conocimiento de la variabilidad genética de la pitahaya (*Hylocereus* spp.) como recurso nativo de México, fueron la base para desarrollar la presente investigación, cuyo objetivo fue describir y comparar las características cromosómicas (longitud, relación de brazos y frecuencia de constricciones secundarias) de seis genotipos de pitahaya.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la presente investigación se incluyeron seis genotipos, cuyas características y procedencia se indican en el Cuadro 1.

Los genotipos estuvieron representados por cinco individuos, los cuales fueron establecidos en condiciones de invernadero en el Colegio de Postgraduados en Montecillo, México, en 1998. El establecimiento de las estacas se realizó cada 15 cm en una tina de fibra de vidrio con dimensiones de 1.2 m por 1.2 m y 45 cm de alto, en la cual se tuvo una capa de 25 cm de tierra de monte mezclada con agrolita en proporción 3:1 (v:v). Se aplicaron riegos cada 15 días y se hicieron podas para estimular la brotación.

La observación de los cromosomas se realizó en células mitóticas de meristemos de raíces aéreas y subterráneas. Las raíces de un centímetro de longitud fueron pretratadas con solución acuosa saturada con *p*-diclorobenceno por 5:30 a 6 horas, el pretratamiento se inició de 2 a 3 de la tarde, previas pruebas realizadas de pretratamiento. Las raíces pretratadas se fijaron por 24 horas en Carnoy (3:1:1, alcohol etílico, ácido acético,

CUADRO 1. Características y procedencia de los genotipos de pitahaya utilizados.

Genotipo	Características del fruto	Procedencia	Clima[y]	T° C	PP (mm)
BHA	Cáscara roja y pulpa blanca	Halacho, Yucatán.	Aw"o(e)g	28	1115
BV22	Cáscara roja y pulpa blanca	Cárdel, Veracruz.	Aw'_1(w)(i')g	26	1207
A28	Cáscara amarilla y pulpa blanca	Mérida, Yucatán.[z]	Aw"(x')(i´)g	26	940
A39	Cáscara amarilla y pulpa blanca	Mérida, Yucatán.[z]	Aw"(x')(i')g	26	940
Solferino	Cáscara roja y pulpa solferina	Xochitlán, Puebla.	BS_1kw"(i')g	18	521
Rojo	Cáscara roja y pulpa roja	Tehuacán, Puebla.	BS_1hw"(w)(i')g	19	480

[z] Clones del Jardín Botánico del Centro Regional Universitario de la Península de Yucatán de la Universidad Autónoma Chapingo.
[y] García (1981); T° C: temperatura promedio anual; PP (mm): precipitación anual.

cloroformo, v:v:v). Las raíces fueron hidrolizadas en HCl 1 N a 60 °C por 7 minutos y teñidas con Feulgen durante 9 minutos a la misma temperatura. Se maceró el ápice radical con enzimas gástricas de caracol de jardín (citasa) por 1 hora a temperatura ambiente (García, 1990). En la elaboración de las preparaciones, las células fueron teñidas por segunda vez con orceína propiónica al 1.8 %. Cinco células por genotipo con los cromosomas separados fueron fotografiadas para su medición. Las observaciones se realizaron con un microscopio Carl Zeiss y las fotografías fueron tomadas con un microscopio Zeiss FOMI III a un aumento de 125X con película Kodalith. Las fotografías fueron amplificadas (2375 veces) e impresas en papel fotográfico Kodak, después se digitalizaron por medio de un escaner (Hewlett Packard, modelo ScanJet 5100C) y procesadas con el programa de cómputo Image Tool versión 1.8.

Las variables evaluadas en los cromosomas fueron las siguientes:

a) Longitud absoluta (mm), que consistió en la suma de los brazos corto y largo,

b) Longitud relativa, que representa la proporción que mantiene cada cromosoma con respecto a la longitud total del genomio (n = 11), tomada ésta como 100 %,

c) Relación de brazos (RB) que expresa el cociente de la longitud del brazo largo sobre la longitud del brazo corto.

d) Clasificación cromosómica, se definió con la nomenclatura propuesta por Levan *et al.* (1964) para los diferentes valores de la RB de los cromosomas (metacéntrico (1.0 a 1.7), submetacéntrico (1.7 a 3.0), subtelecéntrico (3.0 a 7.0) y telocéntrico (7.0 a ∞).

e) Cariotipo, se obtuvo con el ordenamiento decreciente de la longitud de los cromosomas.

f) Longitud haploide del genomio (n=11), consistió en la suma de la longitud absoluta de 11 cromosomas.

g) Simetría del genomio, cociente de la suma de la longitud de todos los brazos cortos sobre longitud total del genomio y multiplicado por 100.

h) Uniformidad de genomio, diferencia de longitud absoluta entre los cromosomas de mayor y menor longitud (cromosomas 1 y 11).

i) Frecuencia de constricciones secundarias por cariotipo.

Análisis estadístico

Se hizo análisis de varianza y comparación de medias de cada una de las variables estudiadas. El diseño utilizado fue completamente al azar con cinco repeticiones. Los tratamientos correspondieron a los genotipos y la unidad experimental fue considerada una célula. El programa estadístico utilizado fue SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de cromosomas

El número cromosómico somático observado en todos los genotipos de pitahaya estudiados fue diploide (2n=2x=22) (Figura 1, 2). Estos resultados coinciden con lo reportado por Robles (1990) y Lichtenveig *et al*. (2000) en la especie *Hylocereus undatus e H. polyrhizus*. Esta condición cromosómica es la más frecuente entre las cactacéas, aunque también es posible encontrar diferentes niveles de ploidia según el género y la especie (Pinkava *et al*., 1973; Weedin y Powell 1978; Ross, 1981; Gibson y Nobel 1986). La poliploidía o alteraciones del número básico de cromosomas es considerada uno de los factores determinantes en la evolución de las especies (Swanson, 1958); sin embargo, en las pitahayas estudiadas, la condición diploide observada permite señalar que las diferencias morfológicas en tallos, flores y frutos no están relacionadas a cambios en el nivel de ploidía.

Longitud de cromosomas

La longitud de los cromosomas varió de 2.46 a 5.06 mm dentro de los diferentes cariotipos de pitahaya (Cuadro 2). Todos los cariotipos mostraron diferencias significativas en la longitud de sus cromosomas, las principales diferencias se encontraron entre los cromosomas 1 y 11, ya que en los demás cromosomas (2 al 10), las diferencias fueron poco notorias y no fue posible establecer diferencias claras entre ellos. El patrón de variación de los cromosomas dentro de los cariotipos fue similar en todos los genotipos, pues no se encontraron diferencias estadísticas al comparar las diferencias en longitud entre los cromosomas de mayor y de menor longitud (Cuadro 3). Comparaciones de las longitudes promedio de los cromosomas por cariotipo, también indicaron similitud de genotipos, ya que no se encontraron diferencias significativas entre ellos (Cuadro 3). Resultados similares también fueron obtenidos al comparar de manera individual la longitud absoluta y relativa de cada cromosoma entre los diferentes cariotipos de pitahaya (Cuadro 4).

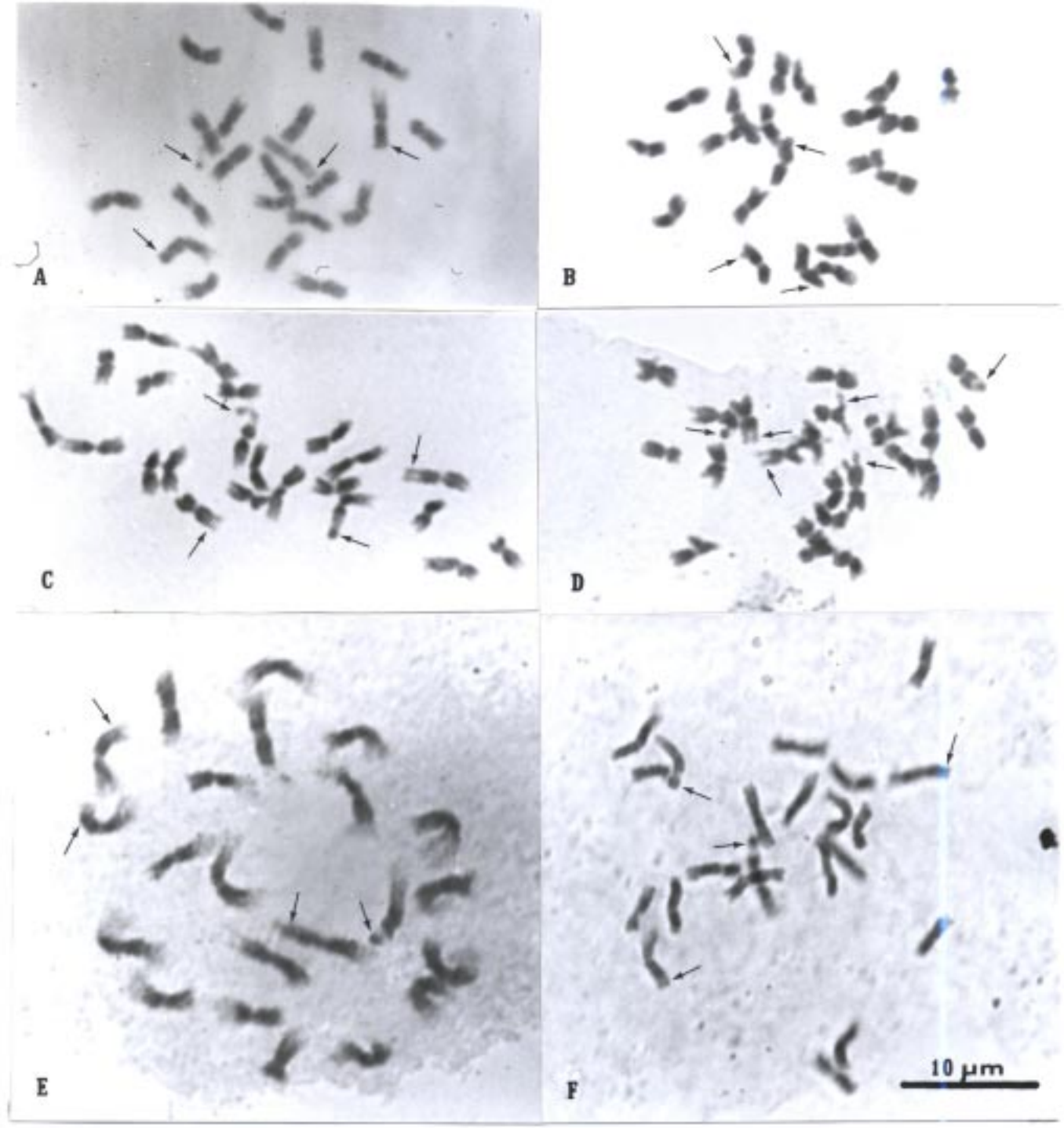

Figura 1. Número cromosómico somático 2n = 2x = 22, en seis genotipos de pitahaya (A: BHA, B: A28, C: A39, D: Solferino, E: BV22 y F: Rojo). Constricción secundaria (→).

Figura 2. Cariotipos de seis genotipos de pitahaya (*Hylocereus* spp.), ★ = constricción secundaria, C = centrómero.

CUADRO 2. Comparación de la longitud de cromosomas dentro de cariotipos de seis genotipos de pitahaya (*Hylocereus* spp.).

Cromosoma	Genotipos					
	BHA	BV22	A28	A39	Solferino	Rojo
1	4.43 a[z]	5.06 a	4.71 a	4.11 a	4.22 a	5.02 a
2	4.08 b	4.66 ab	4.40 ab	3.84 ab	3.88 b	4.73 ab
3	3.84 bc	4.41 bc	4.22 bc	3.67 abc	3.59 bc	4.52 bc
4	3.73 cd	4.17 cd	4.06 bcd	3.66 bc	3.42 cd	4.37 c
5	3.56 cde	4.02 cde	3.86 cde	3.39 cd	3.31 cde	4.17 cd
6	3.48 def	3.87 def	3.74 de	3.37 cd	3.14 def	3.98 d
7	3.33 ef	3.74 defg	3.54 ef	3.05 de	3.07 efg	3.87 de
8	3.21 fg	3.63 efg	3.41 ef	2.85 ef	2.95 fg	3.56 ef
9	3.04 gh	3.52 fg	3.10 fg	2.69 ef	2.81 gh	3.39 f
10	2.86 h	3.36 gh	2.93 g	2.56 f	2.51 hi	3.26 fg
11	2.77 h	3.06 h	2.85 g	2.46 f	2.47 i	2.93 g
CV (%)	3.75	3.98	5.79	4.64	4.55	4.16
DMS	0.28	0.46	0.46	0.44	0.31	0.35

[z] Valores con la misma letra dentro de columnas indican que no hay diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad
CV: Coeficiente de variación; DMS: Diferencia mínima significativa.

CUADRO 3. Comparación de la longitud promedio de cromosomas (µm), longitud total haploide, uniformidad e índice de simetría de cariotipos de seis genotipos de pitahaya (*Hylocereus* spp.).

Genotipos	Longitud promedio de cromosomas (µm)	Longitud total haploide (µm)	Uniformidad de cariotipo	Índice de simetría (%)
BHA	3.49 a[z]	38.41 a	1.66 a	44.16 a
BV22	3.96 a	43.60 a	2.00 a	43.93 a
A28	3.73 a	41.07 a	1.86 a	43.23 a
A39	3.23 a	35.62 a	1.64 a	45.55 a
Solferino	3.21 a	35.39 a	1.75 a	42.25 a
Rojo	3.98 a	43.86 a	2.09 a	42.50 a
CV (%)	15.26	15.26	18.70	3.86
DMS	1.21	13.37	0.76	4.02

[z] Valores con la misma letra dentro de columnas indican que no hay diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad
CV = Coeficiente de variación; DMS : Diferencia mínima significativa.

En las cactáceas es conocido que los cromosomas son de longitudes cortas, que oscilan entre 2 y 5 mm (Johnson, 1980; Cota y Wallace, 1996). Según Grant (1989) las diferencias en longitud de los cromosomas dentro de los complementos cromosómicos, pueden estar relacionadas a reestructuraciones de los genomas, las cuales después divergen en especiación al adaptarse a condiciones ambientales específicas. En poblaciones de la especie *Mytillocatus geometrizans* var. *geometrizans*, las diferencias estadísticas en la longitud de los cromosomas permitió identificar dos citotipos diferentes (Cid y Palomino, 1996). En los genotipos de pitahaya estudiados, la similitud de los cromosomas podría indicar relaciones estrechas de parentesco entre los genotipos, por lo que se puede señalar que estos representan a una sola especie (*Hylocereus undatus*). Esto explicaría la falta de asociación de las

CUADRO 4. Comparión de la longitud absoluta (µm) y relativa de cromosomas entre seis genotipos de pitahaya (*Hylocereus* spp.).

Genotipos	Cromosomas										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
						Longitud absoluta					
BHA	4.43 a[z]	4.08 a	3.84 a	3.73 a	3.56 a	3.48 a	3.33 a	3.21 a	3.04 a	2.86 a	2.77 a
BV22	5.06 a	4.66 a	4.41 a	4.17 a	4.02 a	3.87 a	3.74 a	3.63 a	3.52 a	3.36 a	3.06 a
A28	4.71 a	4.40 a	4.22 a	4.06 a	3.86 a	3.74 a	3.54 a	3.41 a	3.10 a	2.93 a	2.85 a
A39	4.11 a	3.84 a	3.67 a	3.66 a	3.39 a	3.37 a	3.05 a	2.85 a	2.69 a	2.56 a	2.46 a
Solfe.	4.22 a	3.88 a	3.59 a	3.42 a	3.31 a	3.14 a	3.07 a	2.95 a	2.81 a	2.51 a	2.47 a
Rojo	5.02 a	4.73 a	4.52 a	4.37 a	4.17 a	3.98 a	3.87 a	3.56 a	3.39 a	3.26 a	2.93 a
CV (%)	14.31	14.22	15.12	16.62	16.12	16.75	15.85	16.82	17.47	18.77	15.85
DMS	1.48	1.36	1.37	1.46	1.35	1.35	1.23	1.24	1.21	1.23	0.95
						Longitud relativa					
BHA	11.7 a	10.8 a	10.1 a	9.8 a	9.4 a	9.2 a	8.8 a	8.5 a	8.1 a	7.6 a	7.3 a
BV22	11.6 a	10.7 a	10.1 a	9.5 a	9.2 a	8.9 a	8.5 a	8.3 a	8.1 a	7.7 a	7.0 a
A28	11.5 a	10.7 a	10.2 a	9.8 a	9.3 a	9.1 a	8.6 a	8.2 a	7.6 a	7.1 a	7.0 a
A39	11.5 a	10.7 a	10.3 a	10.2 a	9.5 a	9.3 a	8.5 a	8.0 a	7.5 a	7.2 a	6.9 a
Solfe.	11.9 a	10.9 a	10.2 a	9.7 a	9.3 a	8.9 a	8.7 a	8.3 a	7.9 a	7.0 a	6.8 a
Rojo	11.4 a	10.8 a	10.3 a	9.9 a	9.5 a	9.0 a	8.8 a	8.1 a	7.6 a	7.4 a	6.7 a
CV (%)	4.77	5.53	3.27	4.21	3.04	3.64	3.95	3.23	6.52	6.44	6.64
DMS	1.25	1.34	0.75	0.93	0.64	0.74	0.77	0.60	1.15	1.06	1.04

[z] Valores con la misma letra dentro de columnas indican que no hay diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad.
CV : Coeficiente de variación; DMS : Diferencia mínima significativa.

características del fruto con la longitud de los cromosomas, lo cual puede corroborarse por el hecho de que en otras especies con flores, la longitud de los cromosomas está correlacionada con la especiación morfológica (Kenton *et al*., 1986; Sttebins 1971, citado por Cota y Wallace, 1995).

LONGITUD DE GENOMIOS

La longitud haploide del genomio entre los genotipos fue de 35.39 a 43.86 mm. Estadísticamente, no se encontraron diferencias significativas entre los genotipos (Cuadro 3), lo cual se atribuye a la similitud de los cromosomas entre los genotipos.

La similitud del tamaño de los genomios entre las poblaciones vegetales, se atribuye a la presencia de condiciones ambientales similares donde éstas se desarrollan (Kenton y Heywood, 1984) y también se relaciona con un estado evolutivo similar (Goldblatt *et al*., 1984, citado por Grant, 1989). En el caso del presente estudio, la similitud de longitud de los genomios entre las pitahayas podría estar relacionada con al proceso evolutivo de los genotipos, más que a la similitud de los ambientes, ya que por el lugar de procedencia de las pitahayas los genotipos BHA, BV22, A28 y A39 se han desarrollado en ambientes totalmente diferentes a los genotipos Solferino y Rojo (Cuadro 1).

Relación de brazos y simetría de genomios

Por la relación de brazos que mantienen los cromosomas en los diferentes cariotipos de las pitahayas estudiadas, los cromosomas son clasificados en metacéntricos y submetacéntricos (Levan *et al*., 1964). La proporción de cromosomas metacéntricos (m) y submetacéntricos (sm) en los cariotipos de los genotipos BHA, BV22, A28, A39 y Rojo fue de 10 m + 1 sm y de 9 m + 2 sm en el genotipo Solferino (Cuadro 5). La mayor frecuencia de cromosomas metacéntricos y menor de submetacéntricos, definen a los cariotipos como simétricos. La comparación estadística de los valores de simetría de los diferentes cariotipos, mostró que no existen diferencias significativas entre ellos (Cuadro 3). Estos resultados concuerdan con lo encontrado en otras cactáceas como *Echinocereus*, *Nyctocereus* y *Myrtillocactus* (Palomino *et al*., 1988; Cota y

Wallace, 1995; Cid y Palomino, 1996), en las que predominan los cariotipos simétricos compuestos principalmente por cromosomas metacéntricos. La simetría de los cariotipos también se presenta en géneros diferentes a las cactáceas, tales como *Elymus*, *Capsicum* y *Nicotiana* (Dubcovsky *et al*., 1989; Moscone 1989, 1990). Las frecuencias altas de cromosomas metacéntricos se atribuye a cambios Robertsonianos, en particular la fusión céntrica de cromosomas. Evolutivamente, la presencia de un número mayor de cromosomas metacéntricos en los cariotipos indica que éstos son poco evolucionados o primitivos y cuando los cariotipos están integrados por cromosomas asimétricos su evolución es considerada mayor. En especies y géneros diferentes de cactáceas, predomina la frecuencia de cromosomas metacéntricos, lo cual permite considerar que las cactáceas son de origen reciente, es decir poco evolucionadas (Gibson y Nobel 1986).

La similitud de los cromosomas en longitud y relación brazos entre los genomios de pitahaya, podría indicar que no existen diferencias estructurales notables entre ellos, sin embargo, Swanson (1958) señaló la posibilidad de rearreglos cromosómicos sin alterar visiblemente la apariencia externa de los cromosomas. Las inversiones paracéntricas serían un ejemplo de ello, ya que sólo cambian el orden de los genes dentro de los brazos. El uso de técnicas como bandeo y análisis de configuraciones meióticas, podrían ser útiles para explicar los rearreglos de los cromosomas.

Constricciones secundarias

Los genotipos de pitahaya presentaron constricciones secundarias en dos y tres pares cromosómicos. Las constricciones fueron localizadas en la parte terminal de los brazos cortos de los cromosomas metacéntricos. La distribución de los pares cromosómicos que presentaron constricciones fue variable dentro de los cariotipos (Figura 2). Estas variaciones en el número y distribución de las constricciones, reflejan diferencias en la cantidad y arreglo de los genes (Stebbins, 1971; Prager *et al*., 1976). Las constricciones secundarias u organizadores nucleolares, según Swanson *et al*. (1981), contienen ácidos nucleicos, por tal razón, los genotipos con mayor número de constricciones tendrán mayor contenido génico, que aquellos que presentan menor número de constricciones. Con este planteamiento, se esperaría que los genotipos BV22 y Solferino que tuvieron constricciones secundarias en tres pares cromosómicos, fueran relativamente superiores en la cantidad de genes, ya que los demás genotipos (BHA, A28, A39 y Rojo) solamente registraron constricciones en dos pares de cromosomas. La localización de los pares cromosómicos con constricciones dentro de los cariotipos son considerados caracteres consistentes, por lo tanto, es posible identificar ciertos cromosomas y con ello a los genotipos (Burnham, 1962; Palomino *et al*., 1988; Cota y Wallace, 1995; Cid y Palomino, 1996). En las pitahayas estudiadas, es evidente que la distribución de las constricciones muestra diferencias entre los genotipos, sin embargo, la coincidencia en la ubicación de algunos pares cromosómicos entre los genotipos, podría indicar que están relacionados genéticamente. Este parentesco genético entre los genotipos, podría estar relacionado con la similitud morfológica de caracteres vegetativos y reproductivos indicada por Ramírez (1999) en diferentes genotipos de pitahaya.

CUADRO 5. Clasificación y relación de brazos (RB) de cromosomas en seis genotipos de pitahaya (*Hylocereus* spp.).

Genotipos		Cromosomas										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
BHA	RB	1.20	1.15	1.11	1.48	1.21	1.14	1.19	1.30	1.17	1.34	1.73
	CC[z]	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	sm
BV22	RB	1.23	1.30	1.20	1.13	1.52	1.19	1.27	1.08	1.53	1.07	1.75
	CC	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	sm
A28	RB	1.28	1.23	1.26	1.35	1.18	1.37	1.29	1.46	1.48	1.17	1.77
	CC	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	sm
A39	RB	1.24	1.39	1.32	1.05	1.66	1.13	1.08	1.41	1.05	1.39	2.14
	CC	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	sm
Solferino	RB	1.36	1.31	1.31	1.15	1.40	1.25	1.89	1.29	1.27	1.23	1.73
	CC	m	m	m	m	m	m	sm	m	m	m	sm
Rojo	RB	1.25	1.39	1.48	1.13	1.50	1.23	1.52	1.07	1.38	1.80	1.43
	CC	m	m	m	m	m	m	m	m	m	sm	m

[z]CC: clasificación de cromosomas (Levan *et al*., 1964); m: metacéntrico; sm: submetacéntrico.

CONCLUSIONES

Los seis genotipos de pitahaya tuvieron números cromosómicos diploides de 2n=2x=22. Los cariotipos de todos los genotipos fueron uniformes en longitud y simetría. Sin embargo, estos presentaron variación en la frecuencia de cromosomas metacéntricos y submetacéntricos. También el número y distribución de las constricciones secundarias fue variable entre los cariotipos.

AGRADECIMIENTO

Al Patronato Czeslawa Prywer Lidzbarska, A. C., por el apoyo económico brindado.

LITERATURA CITADA

BORREGO E., F.; BUGOS V., N. 1986. El Nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, Coahuila, México. 220 p.

BRAVO, H. 1978. Las Cactáceas de México. Vol. 1 UNAM. D.F., México. 374 p.

BRITTON, N. L.; ROSE J. N. 1963. The Cactaceae: Descriptions and illustrations of plants of the cactus family. Devor Publications, Inc., New York., vol. I, pp. 183-195.

BURNHAM R., C. 1962. Discussions in Cytogenetics. Burgess Publishing Company. Minnesota. 375 p.

CASTILLO M., R.; CALIX, H.; RODRÍGUEZ C., A. 1996. Guía técnica para el cultivo de la pitahaya. Chetumal, Quintana Roo. CONACYT, Universidad de Quintana Roo, INFAP y Universidad Autónoma Chapingo. México 158 p.

CID, R.; PALOMINO, G. 1996. Cytotypes and meiotic behavior in mexican populations of *Myrtillocactus geometrizans* var. *geometrizans* (Cactaceae). Cytologia 61: 343-348.

COTA, H. J.; WALLACE, R.S. 1995. Karyotypic studies in the genus *Echinocereus* (Cactaceae) and thier taxonomic significance. Caryologia 48(2): 105-122.

COTA, H. J; WALLACE, R. S. 1996. La citología y sistemática molecular en la familia Cactaceae. Cactáceas y Suculentas Mexicanas 41(2): 27-45.

CHAZARO B., M.; ACEVEDO R., R. 1997. Cactáceas epífitas del centro del estado de Veracruz, México. I Congreso Nacional Sobre Cactáceas. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. p. 30

DUBCOVSKY, J.; SOSRIA, M.; MARTÍNEZ, A. 1989. Karyotype analysis of the Patagonian *Elymus*. Botanical Gazette 150(4): 462-468.

GARCÍA, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen. UNAM. D.F., México 252 p.

GARCÍA V., A. 1990. Manual de Técnicas y Procedimientos de Citogenética Vegetal Tercera edición. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 144 p.

GIBSON, C. A.; NOBEL, P. S. 1986. The Cactus Primer. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts London, England. 286 p.

GRANT, V. 1989. Especiación Vegetal. Ed. LIMUSA. D.F., México. 587 p.

GRANT, V.; GRANT, K. A. 1979. Systematics of the opuntia *Phaeacantha* group in Texas. Botanical Gazette 140(2): 199-207.

HAAGE W. 1963. Cacti and Succulents. Dutton and Company W. C. New York, USA. 169 p.

HUNT, D. 1992. Cites Cactaceae Checklist. Whitstable Litho Ltd, Whiystable, Kent 190 p.

JOHNSON, M.A.1980. Further cytological investigations in *Mammillaria prolifera* and other *Mammillaria* species. Cactus and Succulent Journal 42: 43-47.

KENTON, A.; HEYWOOD, C. A. 1984. Cytological studies in South American *Iridaceae*. Plant Systematics and Evolution 144: 221-240.

KENTON, A. Y.; RUDALL, P. J.; JOHNSON, A. R. 1986. Genome size variation in Sisyrinchium (Iridaceae) and its relationship to phenotype and habitat. Botanical Gazette 147(3): 342-354.

LEVAN, A.; FREDGA, K.; SANDBERG, A. A. 1964. Nomenclature for centromeric position on chromosomes. Hereditas 52: 201-220.

LICHTENZVEIG, J.; ABBO, S.; NERD, A.; TEL-ZUR, N.; MIZRAHI, Y. 2000. Cytology and mating systems in the climbing cacti *Hylocereus* and *Selenicereus*. American Journal of Botany 87(7): 1058-1065.

MIZRAHI, Y.; NERD, A.; NOBEL, P. S. 1997. Cacti as crops. Horticultural Reviews 18: 291-320.

MOSCONE, E. A. 1989. Karyotipe analysis in three Patagonia and south Andean endemic genera a Nicotianeae (Solanaceae). Plant Systematics and Evolution 166: 31-39.

MOSCONE, E. A.1990. Chromosome studies in *Capsicum* (Solanaceae) karyotipe analysis in *C. chacoense*. Brittonia 42: 147-154.

PALOMINO H., G.; ZULETA, S. Y SCHEINVAR, L. 1988. Estudios citogenéticos de dos especies y una variedad de *Nyctocereus* (Cactaceae). Boletín de la Sociedad Botánica de México 48: 75-89.

PINKAVA, D. J.; MCLEOD, M. G.1971. Chromosome numbers in some cacti of western north America. Brittonia 23: 171-176.

PINKAVA, D. J.; MCLEOD, M. G.; MCGILL, L. A.; BROWN, R. C. 1973. Cromosomes numbers in some cacti of western not Amarica-II. Brittonia 25: 2-9.

PINKAVA, D. J.; MCGILL, L. A.; REEVES, T.; MCLEOD, M. G. 1977. Chromosome numbers in some cacti of western North America-III. Bulletin Torrey Botanical Club 104:105-110.

PRAGER, E.M.; FOWLER, D.P.; WILSON, A. C. 1976. Rutes of evolution in conifers (Pinaceae). Evolution 30: 323-346.

RAMÍREZ M., F. J. 1999. Caracterización y compatibilidad en pitahaya *Hylocereus* sp. Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México. 108 p.

ROBLES, S. R. 1990. Terminología Genética y Filogenética. Ed. Trillas. D.F., México. 124 p.

RODRÍGUEZ, C. A. 1994. El cultivo de la pitahaya en México. Memoria del Primer Encuentro Nacional del Cultivo de la Pitahaya. Instituto Nicaraguense de Tecnología Agrícola, Proyecto CEE-ALA 86/30 y Asociación de Productores Exportadores no Tradicionales. Del 23 al 25 de agosto de 1994. San Marcos, Nicaragua. pp. 43-58.

RODRÍGUEZ, C. A. 1998. Perspectivas de la comercialización de pitahayas. Memorias sobre Producción de Frutales Tropicales Alternativos. Conkal, Yucatán, México. pp. 127-148.

RODRÍGUEZ, C. A. 2000. Pitahayas. Estado mundial de su cultivo y comercialización. Fundación Yucatán, México. Produce, A. C. Universidad Autónoma Chapingo. 153 p.

ROSS, R. 1981. Chromosome counts, cytology, and reproduction in the Cactaceae. American Journal of Botany 68(4): 463-470.

SCHEINVAR L. 1985. Redescubrimiento de *Hylocereus napoleonis* (Grah.) Br. & Rose en México. Cactáceas y Suculentas Mexicanas 30: 6-9.

SOSA, C. R.; ACOSTA, C. A. 1966. Poliploidia en *Opuntia* spp. Agrociencia I: 100-106.

STEBBINS, L. G. 1971. Chromosomal Evolution in Higher Plants. Addison-Wesley Publishing Company. Don Mills, Ontario, Canada. 216 p.

SWANSON, P. C. 1958. Cytology and cytogenetics. Prentice-Hall Inc. New York, USA. pp. 448-463.

SWANSON, P. C.; MERZ T.; TOUNG, J. W. 1981. Cytogenetics. The chromosome in division, inheritance and evolution. Prentice-Hall of Canada Ltd., Toronto, Canada. 557 p.

WEEDIN, J. F.; POWELL, A. M. 1978. Chromosome number in Chihuahua desert Cactaceae. American Journal of Botany 65: 531-537.

WILEY, O. E. 1981. Phylogenetics: The Theory and Practice of Phylogenetic Systematics. Ed. John Wiley & Sons. New York, USA. 439 p.