

ESTUDIO GENECOLÓGICO EN *PROSOPIS LAEVIGATA*, *ACACIA FARNESIANA* Y *ACACIA SCHAFFNERI* (LEGUMINOSAE)

SANDRA LUZ GÓMEZ-ACEVEDO & FERNANDO TAPIA-PASTRANA

Laboratorio de Genecología, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, Apartado Postal 9-020, 15000, México, D.F. E-mail: sanluza@correo.unam.mx

ABSTRACT: Gómez-Acevedo, S. L. & Tapia-Pastrana, F. 2003. Genecological studies in *Prosopis laevigata*, *Acacia farnesiana* and *Acacia schaffneri* (Leguminosae). *Darwiniana* 41(1-4): 47-54.

A novel technique, mixing surface spreading and air-drying (splash) to study plant chromosomes is used to determine the possibility of a response in the genotype-environment for three legumes. These species are typical of Mexican arid and semi-arid areas, from populations occurring in localities with different climatic conditions. The species studied are *Prosopis laevigata* and *Acacia schaffneri*, from Municipio Santiago de Anaya, State of Hidalgo (20° 16' N) and *P. laevigata* and *Acacia farnesiana* from Municipio Bermejillo, State of Durango (25° 49' N). Four features are evaluated: total chromosome length, karyotype, polysomatic frequency, and seed weight. This study corroborates in *Prosopis laevigata* a diploid number of $2n=28$ and determines statistically significant interpopulation differences ($\alpha=0,01$) in chromosome total length; the karyotype formula shows no change ($2m+10sm+2st$); and the polysomatic frequency does not exceed 10%. In the studied species of *Acacia*, diploid chromosome numbers of $2n=26$ are recorded, and no statistically significant interspecific differences ($\alpha=0,01$) in total chromosome length are found. However, with the use of this mixed technique of spreading and air-drying, different karyotypic formulas, here reported for the first time, are obtained, namely: $9m+2sm+2st$ for *A. farnesiana*, and $9m+4sm$ for *A. schaffneri*. Both species of *Acacia* show a similar polysomatic frequency, not surpassing 30%. No significant differences ($\alpha=0,01$) are found in seed weight between *Prosopis* strains and between species of *Acacia*. The results indicate a kind of adaptation in close relationship with environmental requirements that modify chromosomal characters via natural selection. These environmental requirements do not necessarily affect other nucleotide-dependent characters, such as seed weight.

Key words: *Prosopis*, *Acacia*, Cytogenetics, Spreading and air-drying, Karyotype, Total chromosome length, Polysomatic frequency, Genotype-environment interaction, Genecology.

RESUMEN: Gómez-Acevedo, S. L. & Tapia-Pastrana, F. 2003. Estudio genecológico en *Prosopis laevigata*, *Acacia farnesiana* y *Acacia schaffneri* (Leguminosae). *Darwiniana* 41(1-4): 47-54.

Se emplea una técnica de extendido en superficie y secado al aire (splash) para cromosomas vegetales a fin de analizar la posible respuesta genotipo-ambiente de tres especies de leguminosas típicas de las zonas áridas y semiáridas mexicanas, ubicadas en poblaciones con características climáticas diferentes. Las especies estudiadas fueron *Prosopis laevigata* y *Acacia schaffneri* del municipio de Santiago de Anaya, estado de Hidalgo (20° 16' N) y *P. laevigata* y *Acacia farnesiana* del municipio de Bermejillo, estado de Durango (25° 49' N). Los parámetros evaluados fueron las longitudes cromosómicas totales, el cariotipo, la frecuencia de polisomatía y el peso de las semillas. En *Prosopis laevigata* se corrobora un $2n=28$ y diferencias interpopulacionales estadísticamente significativas ($\alpha=0,01$) en las longitudes cromosómicas totales, sin modificación de la fórmula cariotípica ($2m+10sm+2st$) con frecuencia de polisomatía que no rebasó el 10%. En las especies del género *Acacia* se registraron números cromosómicos diploides $2n=26$ sin diferencias interespecíficas estadísticamente significativas ($\alpha=0,01$) en las longitudes cromosómicas totales; no obstante se obtuvieron fórmulas cariotípicas diferentes, reportadas por primera vez empleando una técnica de extendido y secado al aire: $9m+4sm$ para *A. schaffneri* y $9m+2sm+2st$ para *A. farnesiana*. En ambas especies la polisomatía tuvo una frecuencia similar sin rebasar el 30%. Para *Prosopis* y *Acacia* no se encontraron diferencias significativas ($\alpha=0,01$) en relación al peso de la semilla. Los resultados obtenidos señalan una clase de adaptación en estrecha

relación con exigencias ambientales que modifican características cromosómicas vía selección natural. Estas exigencias no necesariamente afectan otras características dependientes del nucleotipo, como el peso de las semillas.

Palabras clave: *Prosopis*, *Acacia*, Citogenética, Extendido y secado al aire, Cariotipos, Longitud cromosómica total, Polisomatía, Interacciones genotipo-ambiente.

INTRODUCCIÓN

Prosopis (L.) Burkart es un género de la familia Leguminosae, que comprende 45 especies, 20 de las cuales son endémicas del Nuevo Mundo (Burkart, 1976). Este grupo se distribuye en todas las zonas áridas y semiáridas del mundo, encontrándose la mayor concentración de especies en dos importantes centros, el argentino-paraguayo-chileno y el México-texano. En México se ubican 10 especies con 3 endemismos (Burkart, 1976; Rzedowski, 1988) conocidas comúnmente como mezquites.

Prosopis laevigata (Willd.) M.C. Johnst. es el mezquite típico del centro y sur de México (altiplanicie, depresión del Balsas y planicie costera nor-oriental), sus poblaciones muestran una marcada diferenciación morfológica y ecológica. Pueden prosperar hasta los 2500 m s.m. En un extremo se hallan plantas de tierra caliente en climas semi-húmedos mientras que en el otro existen poblaciones que forman parte de matorrales xerófilos donde la precipitación apenas llega a 300 mm anuales en promedio (Rzedowski, 1988).

Por otro lado *Acacia* Mill. es un género pantropical (segundo más grande entre las Leguminosae) representado por 1250 especies, de las cuales, más de 950 son exclusivamente australianas, 120 africanas y el resto americanas. En México se encuentran 85 especies (algunas llamadas comúnmente huizaches) de las cuales 46 son endémicas, encontrándose la mayoría en las regiones áridas y semiáridas del país lo que da una idea clara de la tolerancia ecológica del género (Rico, 1984). La pantropical *A. farnesiana* (L.) Willd. está presente en todo el país, abarcando una gran variedad de climas y ecosistemas (altitudes de 0-2600 m s.m., temperaturas de 5-30 °C y precipitaciones de 100-900 mm anuales en promedio), presentando también una gran variabilidad morfológica. A su vez, *A. schaffneri* (S. Watson) F.J. Hern. se localiza principalmente en la región norte y oriental del país, encontrándose comúnmente junto con *A. farnesiana*, por lo que es confundida frecuentemente con esta última (Rico, 1980).

Los géneros *Prosopis* y *Acacia* forman comunidades que, dependiendo de la especie dominante se denominan mezquiales o huizachales, pero ambos forman parte de lo que Rzedowski (1978) clasificó como bosque espinoso y constituyen la principal cobertura leñosa en los trópicos y subtropicos secos, proporcionando una gran cantidad de productos de uso doméstico e industrial. Toleran además, sequías extremas, suelos en condiciones difíciles y poseen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico, por lo que juegan un importante papel en la conservación de suelos. Asimismo, son géneros clave de los ecosistemas áridos y semiáridos mexicanos.

Se ha señalado que la forma y tamaño de los cromosomas de las especies vegetales es de importancia funcional y adaptativa (Bennett et al., 1982; Seal & Rees, 1982). En efecto, los cromosomas no son estructuras estáticas que definan a cada grupo taxonómico, sino que forman parte de un sistema dinámico moldeado por procesos evolutivos (Kenton, 1986), por lo que la adquisición de un determinado cariotipo no es un proceso fortuito (Poggio & Naranjo, 1990). Asimismo, se ha comprobado que el tamaño cromosómico (Smith & Bennett, 1975; Levin & Funderberg, 1979; Bennett et al., 1983), al igual que el peso de la semilla (Bennett; 1972, Jones & Brown, 1976; Davies, 1977) se correlacionan positivamente con el contenido de ADN. De igual modo, se ha mostrado la existencia de cambios en el contenido de ADN en especies vegetales en respuesta a factores ambientales, exhibiendo de esta forma fuertes interacciones genotipo-ambiente (Cullis, 1990).

Considerando los puntos anteriores, en este trabajo se realiza un estudio genecológico, donde se analizan las longitudes cromosómicas diploides totales expresadas en μm en correlación con el peso de la semilla, el cariotipo y la frecuencia de polisomatía en dos poblaciones de *Prosopis* y de *Acacia* a fin de correlacionar tales características en función del ambiente donde se desarrollan y de este modo interpretar sus patrones de función ecológica.



Fig. 1.- Mapa de ubicación de las zonas de muestreo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los meses de julio a septiembre de 1998 se coleccionaron por especie y población frutos maduros de cinco individuos arbóreos, con tronco bien desarrollado y copas densas de *Prosopis laevigata* (sect. Algarobia) y *Acacia schaffneri* (ser. Gummiferae) en la localidad de Santiago de Anaya, Hidalgo 20°16' N; BS1kw(i')gw'' y de *P. laevigata* y *A. farnesiana* (ser. Gummiferae) en la localidad de Bermejillo, Durango 25°49' N; BWhw(w)(e) (García, 1988) (Fig. 1 y Tabla 1). El material fue identificado por la Dra. Lourdes Rico Arce y los ejemplares de respaldo se depositaron en el herbario FEZA.

Las zonas de muestreo presentan características climáticas aparentemente similares, no obstante, en Bermejillo Durango se presentan marcadas condiciones de aridez (BW), una mayor temperatura media anual, casi la mitad de precipitación media anual y una notable oscilación de la temperatura media anual, lo que resulta en una amplia variación de los factores ambientales. En contraste, la población de Santiago de Anaya, Hidalgo, se ubica dentro de un clima semiárido (BS₁) de menor complejidad estacional debido a una menor variación del fotoperíodo y de otras variaciones cíclicas (Tabla 1). Cabe señalar que en esta localidad el suelo es de escasa fertilidad y se encuentra en un estado avan-

Tabla 1.- Datos climáticos de las localidades bajo estudio. TMA= Temperatura media anual. PMA= Precipitación media anual. OATMA= Oscilación anual de temperatura media anual. P/T= Índice de humedad.

Localidad	Clima	Lat. N	m s.m.	TMA (°C)	PMA (mm)	OATMA (°C)	P/T
Santiago de Anaya, Hidalgo	BS1kw(i')gw''	20° 16'	2019	16,7	435	6,6	25,9
Bermejillo, Durango	BWhw(w)(e)	25° 49'	1325	18,6	261	10,5	14,0

Tabla 2.- Características citogenéticas de las especies estudiadas. LCT= Longitud cromosómica total en μm . ILC=Intervalo de longitud cromosómica en μm . FC= Fórmula cariotípica. IAI= Índice de asimetría intracromosómica.

Especie	2n	4n	6n	LCT (μm)	ILC (μm)	FC	IAI
<i>P. laevigata</i> (Santiago de Anaya, Hidalgo)	28 (91,23%)	56 (8,77%)	-	32,46 \pm 2,81	0,80-1,65	2m+10sm+2st	0,9671
<i>P. laevigata</i> (Bermejillo, Durango)	28 (90,00%)	56 (10,00%)	-	45,82 \pm 5,37	1,20-2,24	2m+10sm+2st	0,9651
<i>A. schaffneri</i> (Santiago de Anaya, Hidalgo)	26 (71,92%)	52 (27,45%)	78 (0,63%)	31,92 \pm 6,91	0,89-2,02	9m + 4sm	0,9431
<i>A. farnesiana</i> (Bermejillo, Durango)	26 (73,05%)	52 (24,72%)	78 (2,23%)	36,85 \pm 5,27	1,06-2,51	9m+2sm+2st	0,9499

zado de degradación por erosión, a consecuencia del sobrepastoreo y sobreexplotación del estrato arbóreo (principalmente mezquites y huizaches).

Por otra parte, cien semillas tomadas al azar de cada individuo fueron pesadas y puestas a germinar en cajas petri con algodón humedecido con agua destilada a una temperatura constante de 31° C en estufa. Cuando las raicillas alcanzaron una longitud de 1 a 1,5 cm fueron separadas y pretratadas en solución de 8-hidroxiquinoleína 0,002M durante 5 horas en oscuridad. Pasado este tiempo fueron fijadas al menos durante 24 horas en solución Farmer (Etanol-Ácido acético 3:1).

Para la obtención de núcleos en metafase se empleó una metodología de extendido en superficie y secado al aire (splash), donde luego del pretratamiento, sesenta meristemos de cada individuo fueron macerados en una mezcla de pectinasa 20% + celulasa 2% durante 2 horas a 37°C. El meristema radicular fue separado mediante centrifugación a 1500 rpm durante 10 minutos y luego transferido a solución fresca de KCl 0,075 M durante 20 minutos y lavado dos veces en solución fresca. El meristema radicular se fijó nuevamente en solución Farmer y dos o tres gotas se dejaron caer sobre portaobjetos previamente desengrasados. Las laminillas se secaron al aire (Tapia-Pastrana & Mercado-Ruaro, 2001).

Para la tinción se utilizó Giemsa 10% y las preparaciones se hicieron permanentes empleando resina sintética. Los mejores campos fueron fotografiados en un microscopio óptico Carl Zeiss Axioskop usando película Kodak Technical Pan. Las medidas cromosómicas se obtuvieron con la ayuda de un calibrador digital (Mitutoyo Digimatic CD-6" C) sobre 10 fotografías con la misma magnificación por población y por especie (excepto para *A. schaffneri* donde sólo se utilizaron 8). Los cariotipos se realiza-

ron utilizando los cinco mejores campos y se aplicó el sistema propuesto por Levan et al. (1964) basado en la proporción de brazos largos y cortos para ubicar el centrómero. Los índices de asimetría intracromosómica se basaron en la propuesta de Romero (1986).

Las medias de las longitudes cromosómicas diploides totales y de los pesos de las semillas fueron evaluadas estadísticamente para cada género empleando una prueba t (que asume varianzas desconocidas pero iguales, $p=0,01$ y 18 g.l.) dado que se requería probar la veracidad de un supuesto, en este caso, que en la población de Bermejillo, Durango, se presentarían cromosomas más grandes y semillas de mayor peso.

RESULTADOS

Prosopis laevigata (Santiago de Anaya, Hidalgo). Se revisaron 1083 núcleos en metafase, de los cuales 988 (91,23 %) presentaron 2n= 28 y 95 (8,77 %) 2n= 56. El cariotipo se estableció como 2m + 10sm + 2st, así como la presencia constante de un par cromosómico (st mayor) con porción satélite. La longitud cromosómica diploide total fue de 32,46 \pm 2,81 μm con un intervalo cromosómico de 0,80-1,65 μm e índice de asimetría intracromosómica de 0,9671 (cariotipo asimétrico) (Tabla 2 y Figs. 2A y 3A). El peso de las semillas fue de 41,56 \pm 6,64 mg (Tabla 3).

P. laevigata (Bermejillo, Durango). Se observaron 1121 metafases típicas, 1009 de ellas diploides (90 %) 2n= 28 y 112 (10 %) tetraploides 2n= 56. La fórmula cariotípica es similar a la de la población anterior, sin embargo, la longitud cromosómica diploide total fue estadísticamente diferente (t, $\alpha=0,01$, n= 10) con 45,82 \pm 5,37 μm e intervalo cromosómico de 1,20-2,24 μm . El índice de asimetría

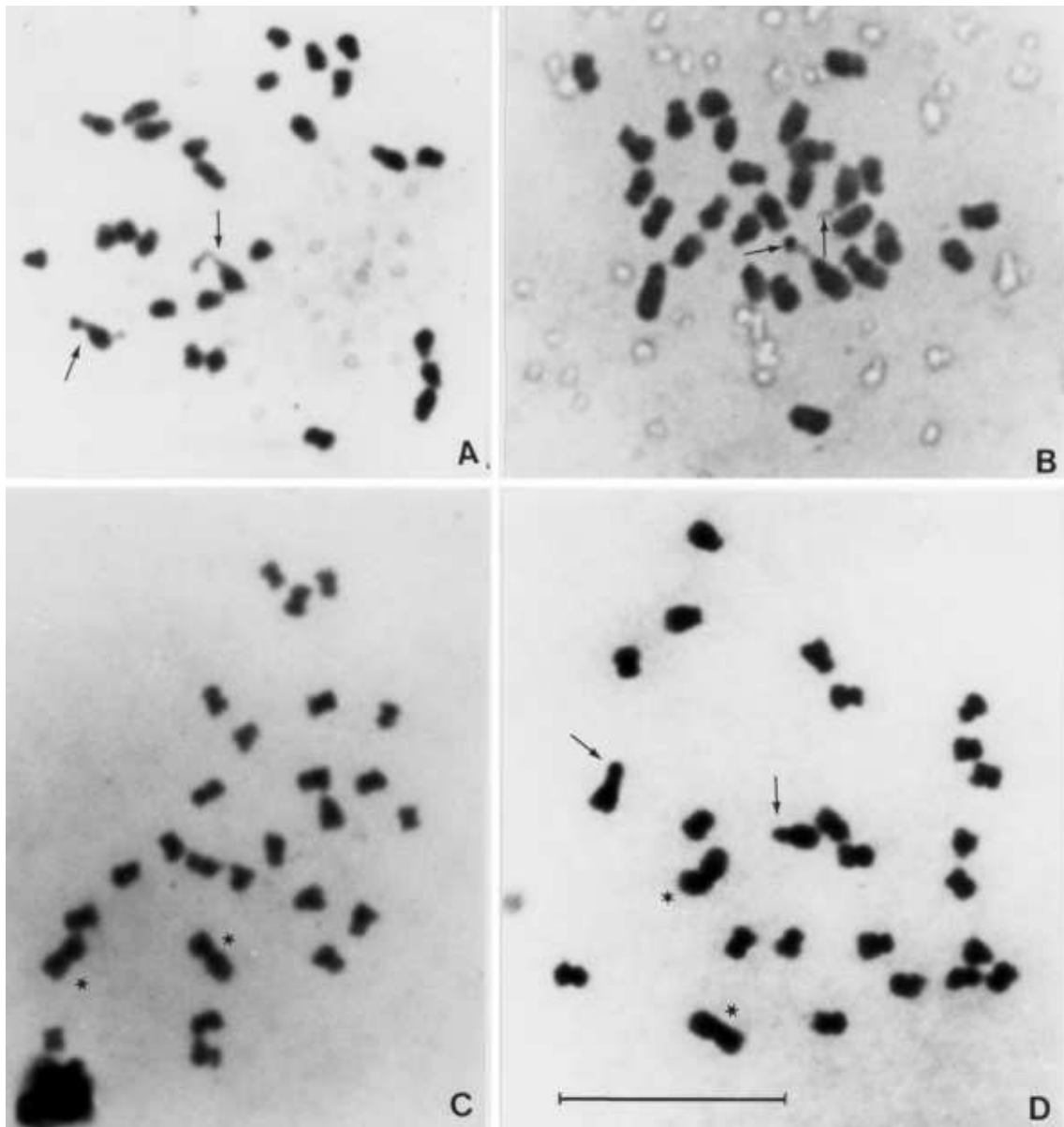


Fig. 2.- Núcleos metafásicos de las especies estudiadas. A: *Prosopis laevigata* (Santiago de Anaya, Hidalgo) $2n=28$. B: *P. laevigata* (Bermejillo, Durango) $2n=28$. C: *Acacia schaffneri* (Santiago de Anaya, Hidalgo) $2n=26$. D: *A. farnesiana* (Bermejillo, Durango) $2n=26$. Las flechas señalan los cromosomas que portan la región satélite. En C y D, los asteriscos corresponden a los cromosomas de mayor tamaño. En todos los casos, la barra equivale a $10\ \mu\text{m}$.

intracromosómica (0,9651) señala un cariotipo asimétrico (Tabla 2 y Figs. 2B y 3B). El peso de las semillas ($33,08 \pm 7,60\ \text{mg}$) fue menor en relación a la población de Santiago de Anaya, Hidalgo (Tabla 3), aunque esta diferencia no es significativa ($t, \alpha = 0,01, n=5$).

Acacia schaffneri (Santiago de Anaya, Hidalgo). Se evaluaron 317 núcleos metafásicos de los cuales

228 (71,92 %) correspondieron a un $2n=26$; 87 (27,45%) con un $2n=52$ y sólo 2 (0,63%) con $2n=78$. La longitud cromosómica diploide total fue de $31,92 \pm 6,91\ \mu\text{m}$ y el intervalo cromosómico de $0,89-2,02\ \mu\text{m}$. El cariotipo, de carácter asimétrico (0,9431) correspondió a $9m + 4sm$ e incluye un par con porción satélite (Tabla 2 y Figs. 2C y 3C). Las semillas tuvieron un peso promedio de $77,00 \pm 7,39\ \text{mg}$ (Tabla 3).

Tabla 3.- Peso promedio de las semillas.

Especie	Santiago de Anaya, Hidalgo	Especie	Bermejillo, Durango
<i>P. laevigata</i>	41,56 ± 6,64 mg	<i>P. laevigata</i>	33,08 ± 7,60 mg
<i>A. schaffneri</i>	77,00 ± 7,39 mg	<i>A. farnesiana</i>	66,37 ± 2,19 mg

A. farnesiana (Bermejillo, Durango). De 720 metafases típicas revisadas, 526 (73,05 %) mostraron $2n=26$, 178 (24,72 %) $2n=52$ y 16 (2,23 %) $2n=78$. La longitud cromosómica diploide total no fue significativamente diferente ($36,85 \pm 5,27 \mu\text{m}$, $t, \alpha = 0,01$, $n=8, 10$) en relación a *A. schaffneri*. El intervalo cromosómico corresponde a $1,06-2,51 \mu\text{m}$. El cariotipo asimétrico (0,9499) incluye $9m + 2sm + 2st$ con una porción satélite que se ubica en el par sm más grande (Tabla 2 y Figs. 2D y 3D). El peso de las semillas fue menor ($66,37 \pm 2,19 \text{ mg}$, Tabla 3) en comparación con *A. schaffneri*, no obstante, esta diferencia no fue significativa ($t, \alpha = 0,01$, $n=5$).

DISCUSIÓN

En *P. laevigata* se corroboró el número cromosómico diploide $2n=28$ (Hunziker et al., 1975) y las longitudes cromosómicas diploides totales mayores para la población norteña, resultado similar al registrado por Tapia et al. (1999), quienes realizaron aplastado o squash. La fórmula cariotípica y el nivel de polisomatía establecido aquí, confirman datos previos (Tapia-Pastrana & Mercado-Ruaro, 2001).

En relación al género *Acacia*, el estudio citogenético reveló a especies que mostraron complementos de talla media y con interesantes características morfológicas, contrario a las afirmaciones de Atchison (1948), quien mencionó que los complementos cromosómicos eran generalmente similares y tan pequeños que las diferencias morfológicas carecían de significado.

El número diploide de *A. schaffneri* obtenido concuerda con el descrito por Turner & Fearing (1960), mientras que en *A. farnesiana*, especie considerada como tetraploide con $2n=52$ (Atchison, 1948; Sharma & Bhattacharyya, 1958; Mukherjee & Sharma, 1993; Kumari & Bir, 1985; Bukhari, 1997), se observó un elevado número de núcleos diploides $2n=26$ (Tabla 2), lo que confirma a esta especie como diploide (Shandu & Mann, 1989; Zanín et al., 1998). Así, *A. farnesiana* es una especie pantropical diploide y debe incluirse en el mapa de distribución de especies diploides propuesto por Atchison

(1948). Asimismo, para ambas especies se registran niveles de polisomatía no observados con anterioridad (Tabla 2).

En este estudio se muestran por primera vez cariotipos detallados de *A. schaffneri* y *A. farnesiana*, donde resalta el tamaño del primer par de cromosomas respecto a los doce restantes, comparativamente más pequeños, peculiaridad quizá propia de las especies americanas, mostrando que la diversificación cromosómica es importante en la especiación del género, pues en trabajos realizados en especies asiáticas, africanas y australianas, el tamaño de los cromosomas aparenta ser más uniforme (Atchison, 1948; Shukor et al., 1994; Coulad et al., 1995), requiriéndose un muestreo más amplio que confirme lo anterior. Referente a las longitudes cromosómicas diploides totales, aunque éstas no mostraron diferencias estadísticamente significativas, la mayor magnitud correspondió a la población norteña con *A. farnesiana*, comportamiento similar al exhibido por *P. laevigata* (Tabla 2).

En este sentido, se ha considerado que el estrés más efectivo que promueve la reorganización cromosómica es el que involucra factores climáticos y ecológicos (Cullis, 1990), en consecuencia, las variaciones en las longitudes cromosómicas pueden interpretarse como fenómenos de especialización evolutiva y adaptación a ciertos nichos ecológicos (Greenle et al., 1984; Cullis, 1990). La tendencia a aumentar el contenido de ADN ofrecería un mayor repertorio de respuestas de origen genético u ontogenético para enfrentar un medio de mayor variabilidad como lo es Bermejillo, Durango, presuponiendo un cierto nivel de flexibilidad evolutiva (Levin & Funderburg, 1979; Cullis, 1990; Tapia et al., 1999). En contraparte, una longitud cromosómica menor promovería ciclos celulares más cortos y periodos de actividad fenológica más breves (Bennett, 1972; Ledig & Korbobo, 1983), situación acorde a las características climáticas de Santiago de Anaya, Hidalgo.

Respecto a la polisomatía, Atchison (1948) señaló que ésta no suministraba un carácter suficiente-

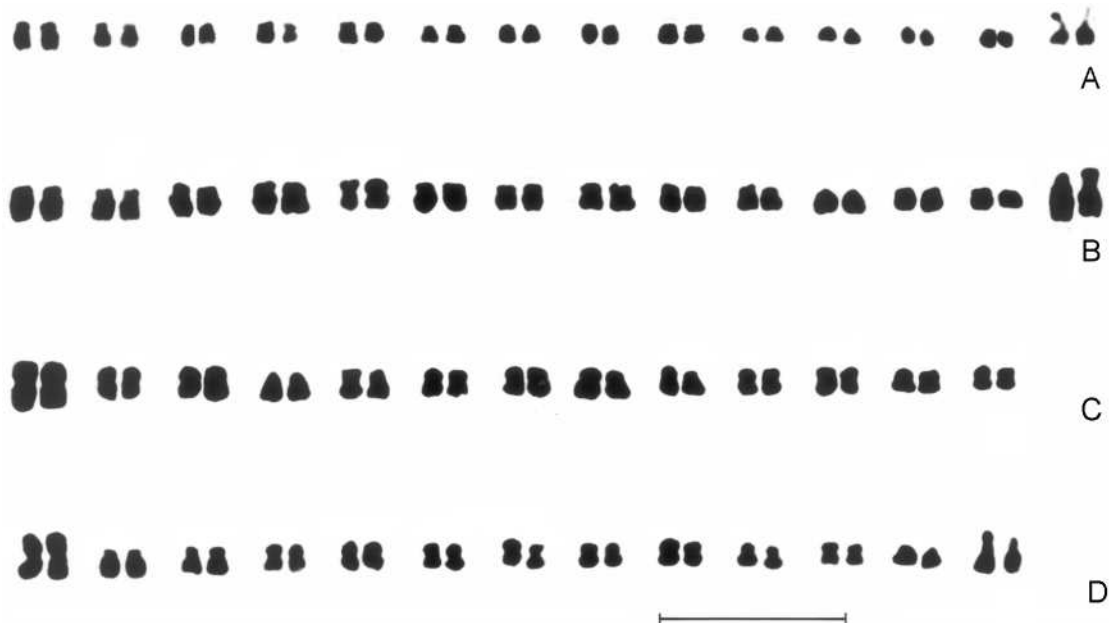


Fig. 3.- Cariotipos de las especies estudiadas. A: *Prosopis laevigata* (Santiago de Anaya, Hidalgo) 2m + 10sm + 2st. B: *P. laevigata* (Bermejillo, Durango) 2m + 10sm + 2st. C: *Acacia schaffneri* (Santiago de Anaya, Hidalgo) 9m + 4sm. D: *A. farnesiana* (Bermejillo, Durango) 9m + 2sm + 2st. En todos los casos, la barra equivale a 10 μ m.

mente constante a considerar, sin embargo, nuestros resultados (alrededor del 10% para *Prosopis* y poco más del 24% en *Acacia*) indican la necesidad de incluirla como un carácter adicional en futuros estudios sistemáticos para ambos géneros.

Asimismo, aunque algunos estudios han mostrado una correlación existente entre el peso de la semilla y la cantidad de ADN en especies de los géneros *Vicia*, *Allium* y *Crepis* (Bennett, 1972; Jones & Brown, 1976; Davies, 1977), en la presente investigación no se observó tal correlación.

Finalmente, la información obtenida permite confirmar que la longitud cromosómica total y los cariotipos son datos importantes en estudios evolutivos, ecológicos y en el análisis del potencial evolutivo de las plantas, información que, contemplada sobre una base genecológica, ofrece la oportunidad de entender el origen, las interrelaciones y la evolución de la biodiversidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dra. Lourdes Rico Arce (Royal Botanic Gardens, Kew) y al Dr. Alfonso Delgado Salinas (Instituto de Biología, UNAM) la revisión crítica del manuscrito y sus valiosos comentarios y a la Biól. Carmen Loyola quien fotografió los cariotipos.

BIBLIOGRAFÍA

- Atchison, E. 1948. Studies in the Leguminosae. II. Cytogeography of *Acacia* (Tourn.) L. *Amer. J. Bot.* 35: 651-655.
- Bennett, M. D. 1972. Nuclear DNA content and minimum generation time in herbaceous plants. *Proc. Roy. Soc. London, Ser. B, Biol. Sci.* 181: 109-135.
- , Smith, J. B., Ward, J. P. & Finch, R. A. 1982. The relationship between chromosome volume and DNA content in unsquashed metaphase cells of barley, *Hordeum vulgare* cv. Tullen 346. *J. Cell Sci.* 56: 101-111.
- , Heslop-Harrison, J. S., Smith, J. B. & Ward, J. P. 1983. DNA density in mitotic and meiotic metaphase chromosome of plants and animals. *J. Cell Sci.* 63: 173-179.
- Burkart, A. 1976. A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). *J. Arn. Arb.* 57: 217-249, 450-485.
- Bukhari, Y. M. 1997. Cytoevolution of taxa in *Acacia* and *Prosopis* (Mimosaceae). *Aust. J. Bot.* 45: 879-891.
- Coulad, J., Brown, S. C. & Siljak-Yakovlev, S. 1995. First cytogenetic investigation in population of *Acacia heterophylla*, endemic from la Réunion island, with reference to *A. melanoxylon*. *Ann. Bot.* 75: 95-100.
- Cullis, C. A. 1990. DNA rearrangements in response to environmental stress. *Advances Genet.* 28: 73-97.

- Davies, D. R. 1977. DNA contents and cell number in relationship to seed size in the genus *Vicia*. *Heredity* 39: 153-163.
- García, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, U.N.A.M. México. 220 p.
- Greenlee, J. K., Rai, K. S. & Floyd, A. D. 1984. Intraspecific variation in nuclear DNA content in *Collinsia verna* Nutt. (Scrophulariaceae). *Heredity* 52: 235-242.
- Hunziker, J. H., Poggio, L., Naranjo, C. A., Palacios, R. A. & Andrada, A. B. 1975. Cytogenetics of some species and natural hybrids in *Prosopis* (Leguminosae). *Canad. J. Genet. Cytol.* 17: 253-262.
- Jones, R. N. & Brown, L. M. 1976. Chromosome evolution and DNA variation in *Crepis*. *Heredity* 36: 91-104.
- Kenton, A. Y. 1986. Importancia de los cromosomas en la especiación y evolución como base para el conocimiento y caracterización de especies vegetales con valor potencial, en G. Palomino H. (ed.). *La aplicación de la citogenética en el conocimiento biológico de los recursos vegetales en México*. Jardín Botánico. UNAM. México.
- Kumari, S. & Bir, S. S. 1985. Karyomorphological evolution in Mimosaceae. *J. Cytol. Genet.* 20: 16-35.
- Ledig, F. T. & Korbobo, D. R. 1983. Adaptation of sugar maple populations along altitudinal gradients : photosynthesis, respiration and specific leaf weight. *Amer. J. Bot.* 70: 256 -265.
- Levan, A., Fredga, K. & Sandberg, A. A. 1964. Nomenclature for centromeric position on chromosomes. *Hereditas* 52: 201-219.
- Levin, D. A. & Funderburg, S. W. 1979. Genome size in angiosperms temperate versus tropical species. *Amer. Naturalist* 114: 784-795.
- Mukherjee, S. & Sharma, A. K. 1993. In situ nuclear DNA content in perennial fast and slow growing acacias from arid zones. *Cytobios* 75: 33-36.
- Poggio, L. & Naranjo, C. A. 1990. Contenido de ADN y evolución en plantas superiores. *Acad. Nac. Cs. Ex. Fís. Nat. Buenos Aires*, Monografía 5: 27-37.
- Price, H. J. 1976. Evolution for DNA content in higher plants. *Bot. Rev.* 42: 27-57.
- Raina, S. N. & Rees, H. 1983. DNA variation between and within chromosome complements of *Vicia* species. *Heredity* 51: 335-346.
- Rico, A. M. de L. 1980. El género *Acacia* (Leguminosae) en Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.
- . 1984. The genus *Acacia* in Mexico. *Bull. Int. Group. Study Mimosoid.* 12: 50-59.
- Romero, Z. C. 1986. A new method for estimating karyotype asymmetry. *Taxon* 35: 526-530.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México.
- . 1988. Análisis de la distribución geográfica del complejo *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae) en Norteamérica. *Acta Bot. Mex.* 3: 7-19.
- Seal, A. G. & Rees, H. 1982. The distribution of quantitative DNA changes associated with the evolution of diploid Festuceae. *Heredity* 49: 179-190.
- Shandhu, P. S. & Mann, S. K. 1989. Soggi plant chromosome number reports - VIII - *J. Cytol. Genet.* 24: 179-183.
- Sharma, A. K. & Bhattacharyya, N. K. 1958. Structure and behaviour of chromosomes of species of *Acacia*. *Phyton* 10: 11-122.
- Shukor, N. A. Ab., Rashid, M. Abd. & Itam, K. 1994. Karyotypic comparison of *Acacia mangium* Willd., *A. auriculiformis* A. Cunn. Ex Benth. and their F₁ and F₂ hybrids. *Silvae Genet.* 43: 65-68.
- Smith, J. B. & Bennett, M. D. 1975. DNA variation in the genus *Ranunculus*. *Heredity* 35 : 231 - 239.
- Tapia, P. F., Mercado-Ruaro, P. & Monroy, A. A. 1999. Cambios en la longitud cromosómica en 3 poblaciones de *Prosopis laevigata* (Fabaceae). Implicaciones genecológicas y evolutivas. *An. Inst. Biol. Ser. Bot., Univ. Nal. Autón. México* 70: 13 - 28.
- & Mercado-Ruaro, P. 2001. A combination of the “squash” and “splash” techniques to obtain the karyotype and asses meiotic behavior of *Prosopis laevigata* L. (Fabaceae: Mimosoideae). *Cytologia* 66: 11-17.
- Turner, B. L. & Fearing, O. S. 1960. Chromosome numbers in the Leguminosae. III. Species of the southwestern United States and Mexico. *Amer. J. Bot.* 47: 603-608.
- Zanín, L. A. , Cangiano, M. A. & Losinno, H. N. 1998. Números cromosómicos en *Acacia* (Fabaceae) de la Provincia de San Luis, Argentina. *Darwiniana* 35: 45-48.

Original recibido el 14 de mayo de 2002, aceptado el 28 de mayo de 2003.