



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"

CARRERA DE BIOLOGO

"ESTUDIO GENECOLOGICO EN Prosopis laevigata (Mezquite), Acacia farnesiana y Acacia schaffneri (Huizaches) DE LOS MUNICIPIOS DE BERMEJILLO, DGO. Y SANTIAGO DE ANAYA, HGO."

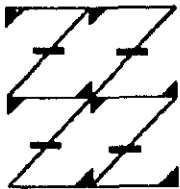
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE BIOL O G O

P R E S E N T A :

GOMEZ ACEVEDO SANDRA LUZ

UNAM FES ZARAGOZZ



LO BURGANO TIC DE NYSTKA HL*LEKON

ASESOR: BIOL. LUIS FERNANDO TAPIA PASTRANA LAB. DE GENECOLOGIA

204469

MEXICO, D.F.

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A la UNAM.

A las ACACIAS y a los MEZQUITES.

A mis padres por darme la vida.

En especial con mucho amor para mi madre: Lili.

A Monse, Rafa, Pao, Nora y Salvador.

Con un gran aprecio para Fer.

Para Toñita, Gis, Vero y Caro.

Resumen	3
Introducción	4
Familia Leguminosae (Fabaceae)	7
Género <i>Prosopis</i> “ Mezquites ”	10
<i>P. laevigata</i>	12
Género <i>Acacia</i> “ Huizaches ”	14
<i>A. farnesiana</i>	16
<i>A. schaffneri</i>	18
Importancia de los estudios genecológicos	20
Estudios citogenéticos	21
Cariotipos	23
Contenidos de ADN	24
Teoría nucleotípica	27
Problemática	29
Hipótesis	31
Objetivos	32
Material y método	33
Resultados	35
Discusión	50
Conclusiones	60
Bibliografía	63
Anexo (descripción del área de estudio)	74

El objetivo de la presente investigación fue encontrar posibles relaciones entre factores ecogeográficos y cambios a nivel de complemento cromosómico en tres especies de leguminosas de amplia distribución, variabilidad morfológica y diversidad genética: *Prosopis laevigata* (Willd.) M.C.Johnst. (mezquite), *Acacia farnesiana* (L) Willd. y *Acacia schaffneri* (S. Watson) F.J.Hern. (huizaches). Las zonas de muestreo fueron Santiago de Anaya, Hgo. (20° 16' L.N. BS1kw(i)gw") y Bermejillo, Dgo. (25° 49' L.N. BWhw(w)(e)). El análisis citogenético se realizó en ápices de raicillas empleando un método de aplastado y otro de extendido en superficie y secado al aire. Los parámetros evaluados fueron las longitudes cromosómicas totales, el cariotipo, la polisomatía y el peso de las semillas de las especies mencionadas.

En *P. laevigata* se corroboró un $2n=28$, y diferencias interpoblacionales estadísticamente significativas ($\alpha= 0.01$) en las longitudes cromosómicas totales sin modificación de la fórmula cariotípica $2m + 10sm + 2st$; y la frecuencia de polisomatía no rebasó el 10%. El peso de las semillas no mostró diferencias significativas.

Por otra parte, en ambas especies del género *Acacia* se registraron números diploides $2n=26$ sin encontrar diferencias interespecíficas estadísticamente significativas ($\alpha= 0.01$) en las longitudes cromosómicas totales; sin embargo, se obtuvieron dos fórmulas cariotípicas ($9m + 2 sm + 2 st$ para *A. farnesiana* y $9m + 4 sm$ para *A. schaffneri*). En ambas especies la polisomatía ($4n=52$) tuvo una frecuencia similar y no rebasó el 30%. Las diferencias en el peso de las semillas no fue significativo.

Los resultados obtenidos se analizan bajo la óptica de la teoría nucleotípica y sus implicaciones en la adecuación de los organismos a su entorno.

México ostenta el privilegio de poseer en su territorio un universo vegetal de excepcional diversificación, variedad e importancia. Se presentan dentro de sus límites geográficos prácticamente todos los tipos de vegetación que se conocen en el planeta, lo cual se manifiesta en el notable esplendor de formas de vida que en particular exhibe la flora de las zonas áridas (Rzedowski, 199 a).

Las zonas ecológicas áridas y semiáridas son las más extensas del país, ocupan entre el 40 y 60 % del territorio mexicano. En estas áreas el endemismo de especies alcanza más de 60%, de modo que estos ecosistemas son el centro de origen de muchos taxa. Asimismo, las floras regionales únicas y ciertas formas de crecimiento de las plantas se combinan con los factores edáficos y topográficos, produciendo una gama de ecotipos distintos mucho mayor que la de cualquier otra zona ecológica. En efecto, los ecosistemas de las zonas áridas mexicanas se cuentan entre los de mayor complejidad ecológica a pesar de que también están entre los de mayor sencillez estructural (Challenger 1998).

Muchas especies vegetales de zonas áridas, que son de las más abundantes, conspicuas y características del paisaje mexicano, son de distribución restringida o casi restringida al país, como por ejemplo algunas especies de mezquites (*Prosopis*) entre otros. Otros ejemplos claros de especies neoendémicas se encuentran en grupos evolutivamente muy activos, como es el caso de *Acacia*, *Mammillaria*, *Quercus*, *Salvia* y muchos otros más. Es importante enfatizar el hecho de que el grueso de los endemismos de la flora mexicana posee un área de distribución relativamente vasta (mayor de 100 000 km²), pues éstos se extienden a lo largo de amplias provincias fisiográficas o ecológicas, como son la Altiplanicie Mexicana, la zona árida sonorensis, la Sierra Madre Occidental, o aún de conjuntos muy grandes y que funcionan como verdaderas islas y penínsulas ecológicas, además de haberse favorecido también por los eventos y condiciones climáticas del pasado geológico (Rzedowski 1991 b)

Por otra parte, los matorrales xerófilos, característicos de las zonas áridas ocupan aproximadamente el 40% de la superficie del país, se distribuyen predominantemente al norte, donde cubren la mayor parte de la península de Baja California y el oeste de Sonora, así como la mayor parte del Altiplano mexicano, abarcando las porciones orientales de los estados de Chihuahua, Durango y Zacatecas, casi todo Coahuila, el norte y sur de Nuevo León, partes del occidente de Tamaulipas, la mayor parte de San Luis Potosí, norte de Guanajuato, la mayor parte del norte de Querétaro y casi todo el centro de Hidalgo. Al sur existe un fragmento aislado que abarca el sureste de Puebla hasta el noroeste de Oaxaca (Challenger, 1988).

El matorral xerófilo se desarrolla donde el promedio de precipitación pluvial oscila entre 100 y 400 mm distribuidos en una temporada de lluvias de hasta cinco meses. De acuerdo con datos de la SARH (1992) se incluyen en esta categoría a los desiertos, áreas sin vegetación aparente, el mezquital, el huizachal, el chaparral y el mismo matorral xerófilo. Cabe señalar que los matorrales xerófilos mexicanos son florísticamente muy diversos, tanto en número de especies como en endemismos a nivel de género y especie. Rzedowski (1991a) estima que este tipo de vegetación puede contener hasta 6,000 especies de fanerógamas y un 60% de especies endémicas al país.

Como ya se mencionó, la principal característica climática de estas zonas es su bajo promedio anual de precipitación pluvial (raramente la precipitación anual máxima excede los 400 mm), sin embargo esta condición generalmente se asocia con temperaturas extremas, de tal suerte que la vegetación está expuesta a temperaturas sumamente calurosas y/o frías debido a la presencia de marcadas fluctuaciones diurnas y estacionales, las cuales pueden involucrar intervalos de hasta 20° C. En estos ambientes el agua es el principal factor ambiental que limita la productividad de las plantas; sin embargo, otras características ambientales, como vientos fuertes y secos, cambios bruscos de temperatura durante el día, deficiencias de nutrimentos minerales en el suelo y la presencia de sales y sustancias tóxicas agudizan la falta del agua (Pimienta *et al.* 1995).

Con base en estos parámetros, la mayoría de los matorrales xerófilos más áridos se localizan dentro del tipo climático BW, mientras que los menos áridos se desarrollan en el tipo climático BS del sistema de Köppen modificado por García (1988). Esas condiciones se dan dentro de los límites altitudinales que van desde el nivel del mar hasta poco más de 3000 msnm, según la localidad (Challenger, 1998).

Asimismo se ha propuesto que en las zonas áridas y semiáridas del norte del país, las plantas han sufrido una evolución profunda dando origen a una flora moderadamente rica, de sello propio y de formas biológicas especializadas (Rzedowski, 1991 b).

El párrafo anterior señalaría la necesidad de conservar estas áreas con diversos fines, sin embargo, la ganadería y sus actividades asociadas, así como la extracción sin control de plantas han perturbado más de la mitad de estas frágiles zonas ecológicas y aún cuando la pérdida de cualquier hábitat es lamentable, la severa perturbación de estas áreas es una amenaza constante para la singular biodiversidad mexicana. Asimismo, la expansión de la frontera agrícola, actividad que originalmente no se practicaba en terrenos áridos y semiáridos y la sobreexplotación de especies autóctonas útiles como las cactáceas, las agaváceas y las leguminosas ha contribuido a diezmar aún más este tipo de comunidades (Ortega *et al.* 1991, Challenger, 1998).

FAMILIA LEGUMINOSAE (FABACEAE)

La familia Leguminosae es, después de las familias Asteraceae y Orquidaceae, una de las más grandes, cuenta con 650 géneros y 18000 especies (Polhill y Raven, 1981). En México es la segunda familia en importancia después de las Asteraceae y se encuentra representada por 135 géneros y 1724 especies de las cuales 893 (51.8 %) son endémicas, de aquí que se considere que México es uno de los mayores centros secundarios de radiación de leguminosas. Además de formar una parte importante de la extensa vegetación de México, se encuentran presentes en todo el país y en todos los hábitats posibles, siendo más numerosas en zonas tropicales. Esta riqueza y diversidad constituyen un reto formidable para estudios ecológicos, taxonómicos, filogenéticos, citológicos y evolutivos (Sousa y Delgado, 1998).

Actualmente la familia Leguminosae está dividida en tres subfamilias y de las 18,000 especies que la componen, dos tercios aproximadamente, pertenecen a la subfamilia Papilionoideae. La mayor parte de las leguminosas que tienen interés para el consumo humano pertenecen a esta subfamilia. Las otras subfamilias son: Caesalpinioideae, compuesta principalmente por árboles de zonas tropicales y Mimosoideae, a la que pertenecen principalmente árboles pequeños y arbustos de las zonas tropicales semiáridas y de las regiones subtropicales (FAO, 1982).

Entre las características especiales de esta familia destacan las siguientes: a) poseen mecanismos ágiles de reproducción y de dispersión de semillas, b) producen importantes cantidades de metabolitos secundarios, c) representan comunidades subclímax en áreas perturbadas, d) bajo el impacto humano tienden a desarrollar razas ecológicas (ecotipos), taxonómicas o químicas, e) tienen pocos depredadores y, f) presentan una amplia distribución. Asimismo se les reconoce una gran plasticidad genotípica y fenotípica (Ortega *et al.*, 1991).

Por otra parte, el fenómeno de poliploidía (complementos cromosómicos consistentes de tres o más juegos básicos) es raro en algunas familias y común en otras. Algunos géneros están caracterizados por ausencia completa de poliploidía, mientras que de otros es característica (de Wet, 1971). Una evaluación de la frecuencia de especies poliploides dentro de las leguminosas conocidas citogenéticamente señala un valor de 20% (Bir y Sidhu, 1967). No obstante, es común encontrar células poliploides entre las células diploides de tejidos vegetativos de muchas plantas, lo cual se considera como polisomatía (Atchison, 1948; de Wet, 1971).

Consideradas en conjunto, estas características colocan a las especies del grupo en el centro de atención de estudios genecológicos y evolutivos (Ortega *et al.*, 1991).

- Importancia económica y ecológica de las leguminosas.

Las leguminosas se cultivan en todo el mundo, incluyendo especies adaptadas a climas muy diversos: de templados a tropicales y de húmedos a áridos. Las semillas maduras secas, juegan un importante papel en los regímenes alimentarios de la mayoría de los habitantes del mundo y como fuente de alimentación humana y animal sólo son superadas en importancia por los cereales. Igualmente las hojas, los brotes, las vainas verdes y maduras, los tubérculos y las semillas germinadas son en muchos casos aprovechables. Por otro lado, los trabajos genéticos para la obtención de variedades mejoradas de leguminosas no han sido tan intensos como en el caso de los cereales y sólo en los últimos años se han organizado programas integrados de investigación para desarrollar las posibilidades de estas plantas (FAO, 1982).

Las leguminosas desempeñan papeles relevantes dentro de la alimentación. Su potencial como alimento para el humano o animales domésticos, especialmente como fuente de proteínas y lípidos, ha sido probado en diferentes estudios (Ortega *et al.*, 1991)

Actualmente se considera que hay varios géneros importantes de leguminosas que deben ser impulsados para su utilización en México tanto para consumo como para reforestación de áreas verdes. Entre éstos se cuentan *Prosopis*, *Acacia*, *Cassia*, *Mimosa* y *Phaseolus* entre otras (Chacalo y Fernández, 1995).

En efecto, en algunos lugares las especies de los géneros *Prosopis* (Mezquites) y *Acacia* (Huizaches), se han utilizado con fines de reforestación en zonas áridas y semiáridas, así como para fijar arenas movedizas por la propiedad que tienen las raíces de extenderse y penetrar a gran profundidad (Niembro, 1990). Las características que les permiten habitar en zonas áridas es que son esclerófilas, con hojas pequeñas y ramificación abundante, poseen espinas, son caducifolias, tienen baja proporción de transpiración y enormes raíces, es por eso que su factor limitante podría ser no solamente el agua, sino las condiciones del suelo como la escasez del mismo y la salinidad (Signoret, 1970).

Al igual que otras leguminosas, los mezquites y huizaches son componentes clave de los ecosistemas áridos y semiáridos pues modifican gradualmente el ambiente. Crean bajo sus copas las llamadas islas de fertilidad, es decir, zonas de mayor acumulación de nutrimentos y en las que existe más sombra, temperaturas menos elevadas y una mayor disponibilidad de agua y materia orgánica en comparación con otras zonas abiertas. Estas características son similares a las que existen en sitios ubicados bajo el dosel de muchos árboles desérticos y hacen de estas leguminosas especies nodrizas (Durand, 1996).

Género *Prosopis* (mezquites)

Prosopis es un género perteneciente a la subfamilia Mimosoideae con 45 spp, la mayoría son americanas, distribuidas en dos áreas ampliamente separadas: la argentino-paraguayo-chilena, la cual representa el mayor centro de radiación para el género y el área México-texana, considerada como un centro secundario (Burkart, 1976). Gran parte de las especies son morfológicamente muy variables y a menudo se asemejan unas con otras (Rzedowski, 1988).

La distribución de este género es disyunta, con especies que habitan en regiones secas de África, Asia y América. La especie más mesófila, *P. africana* (Guil., Perr. y Rich) Taubert, ubicaría el origen del género en África con subsecuente migración rumbo a Asia y América (Burkart, 1976).

Actualmente hay tres teorías acerca de la distribución de este género. Solbrig (1972) sugiere que se debe a dispersión de larga distancia por parte de las plantas y la existencia de una antigua continuidad en regiones áridas. Burkart (1976) lo atribuye a la posibilidad de una antigua flora desértica común al norte y sur de América. Finalmente, Rzedowski (1988) propone una evolución convergente de especies tanto en áreas secas como de ancestros que habitaron climas más húmedos.

Sea cual fuera el origen de esta distribución, en nuestro país existen 10 especies de este género (Schinini, 1981; Sousa y Delgado, 1998). Forman comunidades de composición simple y de amplia distribución geográfica y ecológica (0-2500 m.s.n.m.) y son, actualmente en menor grado, el estrato arbóreo dominante en muchas de las regiones áridas y semiáridas del territorio nacional. Así, tenemos que en los 34 millones de hectáreas del territorio nacional cubiertas por matorrales xerófilos, una de las especies que se incluyen como componente importante del paisaje es el mezquite (Romahn, 1992).

- Usos del mezquite.

Los mezquites son de considerable interés para el hombre, proporcionan combustible y material para construcción, ofrecen sombra, alimento y otros satisfactores para los humanos y para sus animales domésticos. Esto se ve reflejado en varias comunidades indígenas, ya que desde la época prehispánica utilizaban sus hojas, raíces, yemas y cortezas con fines caseros y medicinales (Gómez *et al.*, 1970).

Lo anterior hace del mezquite un recurso altamente aprovechable y del cual se obtienen beneficios, a pesar de que no se le ha dado la importancia debida. Potencialmente posee gran valor comercial, forestal y alimenticio. Actualmente a nivel rural, las vainas y semillas son utilizadas como complemento en la alimentación, principalmente para el ganado. Su madera, por ser muy dura, es utilizada en las construcciones rurales, en los mangos de herramientas e implementos agrícolas, decoración, parquet, entre otros, además para obtener carbón de excelente calidad. El rendimiento forestal es de 75-100 m³/ha (Olguín, 1994).

De sus exudados se obtiene una goma con propiedades semejantes a la goma arábica, misma que es utilizada ampliamente para la elaboración de dulces, pastas, y en la industria farmacéutica y alimentaria para dar viscosidad a diversas mezclas y para fijar aromas. Los taninos que ofrece la corteza son empleados para curtir pieles y como astringente en la medicina tradicional. Las flores son una fuente muy valiosa de néctar para la producción de miel de excelente calidad (Gómez *et al.*, 1970).

***Prosopis laevigata* (Willd.) M. C. Johnst.**

Nombre común: mezquite.

Prosopis laevigata (Willd.) M. C. Johnst. es el mezquite típico del centro y sur de México (Altiplanicie, depresión del Balsas y planicie costera nororiental). En cuanto a su morfología y afinidades ecológicas no se trata de una entidad uniforme debido a la plasticidad fenotípica manifestada de un sitio a otro o de un año al siguiente (Galindo *et al.*, 1992; Rzedowski, 1988). Esto es, en un extremo se encuentran plantas de tierra caliente, creciendo en climas semi-húmedos, mientras que otras poblaciones prosperan en altitudes próximas a 2500 m, y hacia el norte forman parte de matorrales xerófilos, donde la precipitación apenas llega a 300 mm anuales en promedio (Rzedowski, 1988).

En el país se le puede encontrar en los estados de Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Morelos, Querétaro, Oaxaca, Puebla, Veracruz, Hidalgo, San Luis Potosí, Tamaulipas y Chihuahua (Mc Vaugh, 1987). En algunos estados de la República, principalmente en las zonas rurales, se emplea el agua resultante de la cocción de las hojas para el tratamiento de granos, asimismo, las hojas y ramas hervidas se utilizan para lavar los ojos cuando se presenta irritación y se usan a manera de emplastos para tratar problemas de incontinencia infantil, y dolor de estómago (Aguilar *et al.*, 1999).

Al igual que otras especies pertenecientes al género, en *P. laevigata* los individuos son arbóreos o arbustivos, su tronco generalmente es recto, aunque es común encontrar árboles torcidos. El tamaño del fuste es de 2.5 - 3 m. Con frecuencia los árboles exhiben un escurrimiento negro que da la impresión de corteza quemada, debido a la exudación de una goma o resina de olor penetrante. Las ramas son ascendentes y el último tercio de éstas declina y queda colgante dando a la copa un aspecto irregular. Las hojas son bipinnadas de 7 a 12 cm de largo, incluyendo el peciolo, compuestas por dos pares de folíolos primarios o pinnas opuestas. Las inflorescencias son racimos de 4 a 10 cm de largo. Las flores son perfectas, de color amarillo pálido,

cada inflorescencia puede tener de 25 a 300 flores dependiendo de su tamaño. Las flores son glabras, actinomorfas, el cáliz mide 1 mm de largo y tiene 5 denticillos; los pétalos, cinco, miden 4 mm, con el ápice agudo; 10 estambres que miden 7 mm y están unidos en la base, muy cerca del nectario; el estigma mide 7 mm y el ovario súpero, unilocular y alargado, con muchos óvulos (Burkart, 1976; Galindo, 1986; Gómez *et al.* 1970).

Las flores en plantas del género *Prosopis* son hermafroditas, sin embargo exhiben protoginia, es decir el estigma es receptivo antes de que el polen sea liberado, por lo que pueden considerarse como flores unisexuales, favoreciéndose de este modo la alogamia. Además se ha reportado dicogamia y heterostilia, lo cual generalmente imposibilita la autofecundación de los óvulos. Considerando la morfología de la flor y el hecho de que la polinización sea efectuada por insectos, se ha establecido que las especies de mezquite son alógamas obligatorias, lo que explicaría en parte, su gran variabilidad morfológica intraespecífica y en consecuencia la dificultad de su clasificación taxonómica (Burkart, 1976; Galindo, 1986; Hunziker *et al.*, 1986).

La producción de vaina se lleva a cabo inmediatamente después de que las flores han sido fecundadas. El fruto es comprimido o túrgido, de tamaño muy variable (de 7 a 20 cm de largo), mas o menos constreñido entre las semillas, con forma linear o curva, de color amarillo, café, rojo y negro. Las semillas son de color café claro. La diseminación de las mismas es zoófila y endozóica, es decir a través del tracto digestivo de animales como borregos y cabras (Signoret, 1970).

Género *Acacia* (huizaches)

Acacia es un género pantropical, con representantes en zonas tropicales, subtropicales y la mayoría de las islas oceánicas, pertenece a la subfamilia Mimosoideae, y es uno de los géneros más grandes entre las Leguminosae (Atchison, 1948). Está representada por 1250 especies, 900 de las cuales son exclusivamente australianas, 120 africanas y 230 americanas (Rico, 1994).

México posee 85 especies de las cuales 46 son endémicas, encontrando un número mayor de ellas en las regiones áridas y semiáridas, lo que da una idea bien clara de la tolerancia ecológica del género (Rico, 1984). Asimismo, la clasificación taxonómica dentro del género, basada en caracteres morfológicos externos es complicada debido a la considerable variedad genética y a la variación de los factores ambientales (Rico, 1980; Shukor *et al.*, 1994).

Acerca de la filogenia del género, Castronova (1945) propone que las acacias americanas son evolutivamente intermedias entre los grupos australianos y asiático-africanos, consideración basada principalmente en la talla cromosómica y la duplicación somática (Atchison, 1948). Asimismo, Ghimpu (1929) y Castronova (1945) han propuesto a Australia, América y Asia como centros de diversificación para el género *Acacia*.

- Usos de las *Acacias*.

Las especies de este género son muy importantes económicamente por su alto valor forestal, industrial, ornamental, forrajero, maderable y silvícola entre otros. Por ejemplo, *Acacia arabica* (India), *A. catechu* (Asia e India) y *A. decurrens* (Australia) han sido explotadas principalmente para la obtención de taninos. En Sudán, África, Nigeria, India y Australia, las *Acacias* se emplean como fuente para la extracción de gomas de

alta calidad (*Acacia senegal*). Además de su utilidad directa, sus componentes químicos son empleados en perfumería (Atchison, 1948; Gómez *et al.*, 1970).

Juegan papeles ecológicos muy importantes y algunas especies tienen diversos usos en las zonas áridas de África, Medio Oriente y en el continente americano (Rico, 1994). Algunas especies de este género se utilizan para el control de la erosión eólica e hídrica dado que son buenas estabilizadoras del suelo y protectoras de cuencas hidrológicas, además pueden prosperar en plantaciones cercanas a la costa por su resistencia a la salinidad, lo que las hace organismos indispensables para el control de dunas. *Acacia melanoxylon* es muy utilizada en Australia como cortina rompefuego, dada la resistencia al mismo. Además de esta especie, entre las más recomendadas como rehabilitadoras de ambientes forestales se encuentra también *A. dealbata* (Farfán, 1988). El valor potencial del género queda demostrado en *A. auriculiformis*, con rendimiento de 10-20 m³/ha de madera y un poder calorífico de 4850 kcal/kg (Olguín, 1994).

Dentro del territorio nacional se emplean principalmente las vainas para obtener tintas, además de ser alimento para ganado a pesar de que algunas contienen cantidades considerables de alcaloides tóxicos. Asimismo el forraje de algunas especies de este género es comparable al valor alimenticio de la avena (Farfán, 1988).

A pesar de que el huizache es una planta muy apreciada en Australia, África y en varios países europeos, y están consideradas por la IUFRO (International Union of Forestry Research Organisations) como especies prioritarias de usos múltiples (Joly *et al.*, 1992; Wickneswari y Norwati, 1993), en nuestro país no se le ha dado la importancia debida pues su utilización es mínima e inclusive algunos habitantes lo consideran perjudicial ya que les impide sembrar vegetales que, en su opinión podrían tener mayor rendimiento (Gómez *et al.*, 1970; Niembro, 1990). Sin embargo, *Acacia albidá*, por su capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico, puede triplicar o cuadruplicar el rendimiento de los cultivos, principalmente de mijo y sorgo (Farfán, 1988).

***Acacia farnesiana* (L) Willd.**

Nombres comunes : huizache, huixachin, güisache, aroma, espino, flor de niño,
“ yah gecad ”, “ ya-gii ” y “ xemb (huave) “.

Las *Acacias*, llamadas huizaches en nuestro país, son uno de los elementos más comunes en nuestras zonas áridas, semiáridas, templadas y tropicales, y tal vez uno de los menos estudiados. Particularmente en México, la especie pantropical *Acacia farnesiana*, es el huizache más demandado debido a las propiedades aromáticas de sus flores, de las que se extrae la esencia para la fabricación de pomadas aromáticas. En las poblaciones rurales, la infusión de las flores es utilizada como remedio para casos de dispepsia, disentería, dolor de cabeza, inflamaciones de la piel y de la membrana mucosa (Niembro 1990). En caso de diabetes, los frutos se serenan en agua y se toma en ayunas. La corteza se hierve y se toma el té cuando hay dolor de riñones (Aguilar *et al.*, 1999).

Esta especie tiene la propiedad de florecer dos veces al año, lo que la hace aún más valiosa, pues no sólo se aprovechan las flores, sino también las vainas (18% de taninos), semillas (con 12.6 g de proteínas/ 100 g), cortezas (18% o más de taninos), goma, madera y hojas (con 8.0 g de proteínas / 100 g) como forraje de cabras y otro tipo de ganado que habita en las regiones áridas del país. Su madera es dura y susceptible de pulimento. El jugo de las vainas se emplea para pegar porcelana (Gómez *et al.*, 1970).

Se considera a esta especie como un elemento de importancia ecológica, puesto que su área de distribución abarca sitios bajo condiciones muy diferentes de altitud (0 a 2600 msnm), de temperatura (5 a 30°C) y de precipitación (100 a 900 mm anuales) (Rico, 1980). Forma parte del bosque tropical caducifolio, del bosque espinoso y del bosque de encinos, es muy abundante como ruderal. En lo que se refiere a los suelos, prospera en varios tipos, incluyendo los desérticos que pueden ser profundos o someros, aunque está mejor adaptada a los profundos (Gómez *et al.* 1970).

Generalmente se presenta en forma de arbusto (no mayor de 3 m de altura) y ocasionalmente arbóreo (de hasta 9 m), muy ramificados desde la base, con ramas y tallo glabros o hispídulos, armados con espinas estipulares, rectas por lo general blanquecinas y algunas veces pardo rojizas cuando jóvenes. Hojas de 2 a 5 (-8.5) cm de largo; estípulas espiniformes de hasta 3.5 cm de largo; pecíolos estrigulosos a tomentosos, acanalados de 0.5 a 7.5 cm de largo, con una glándula cercana a la base o a medio pecíolo, circular, sésil; raquis hispídulo de 2 a 4 cm de largo, con 2 a 5 pares de pinnas, opuestas, de 1.5 a 3.5 cm de largo; folíolos de 9 a 20 pares por pinna, de linear oblongos a angostamente oblongos, base oblicua, agudos o ligeramente mucronados hacia el ápice, de 2 a 4 mm de largo, 1 a 1.5 mm de ancho, glabros en ambas superficies, algunas veces ligeramente estrigulosos, venación reticulada con una vena principal subcentral (central hacia el ápice). Capítulos solitarios; pedúnculos de hispídulos a tomentosos de 1 a 2 cm de largo; un involucre formado por 5 brácteas inmediatamente debajo del capítulo; cabezuelas de 1.2 cm de diámetro en la antesis; flores amarillas, aromáticas, sésiles, cáliz infundibuliforme, estriguloso más densamente en los lóbulos, 5-lobulado un poco más de un cuarto de su tamaño; corola uniforme, menos del doble que el tamaño del cáliz, estambres glandulares; ovario glabro, sésil. Legumbre túrgida, casi cilíndrica, recta, algunas veces ligeramente curva, valvas coriáceas, negras o pardo oscuras, glabras de 5 a 7 cm de largo, 0.8 a 1.2 cm de ancho y 7 a 10 mm de grueso, indehiscente, la base aguda, ápice agudo, algunas veces con un rostro pequeño, septado, con un tejido compacto y resistente. Es una especie característica por sus espinas estipulares blanquecinas (Rico, 1980).

Su distribución abarca desde el sur de Estados Unidos, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Zacatecas, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Guerrero, Michoacán, Colima, Nayarit, Sinaloa, Hidalgo, Puebla, Morelos y Tlaxcala (Rico, 1980; Niembro, 1990).

Acacia schaffneri (S. Watson) F.J. Hern.

Esta especie se ha empleado básicamente para alimentar ganado equino y bovino, obteniendo excelentes resultados puesto que los animales con esta dieta presentan un aspecto más vigoroso que aquellos alimentados exclusivamente de rastrojo y grama. Además se ha comprobado que las vainas son de buena palatabilidad para el ganado. Los frutos constituyen una buena fuente de energía ya sea como suplemento o como alimento principal. Del mismo modo, las vainas tienen un contenido importante de proteína cruda (15.26 %) y de carbohidratos (Farfán, 1988).

Por otra parte, en Veracruz se calcula que el volumen comercializable de vainas de esta especie podría ascender a 200 toneladas al año, lo que representaría entradas de recursos económicos para el campesino (Farfán, 1988).

Se le puede localizar desde el sur de Texas, Baja California Norte, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Veracruz, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Michoacán, Distrito Federal, Puebla, Oaxaca y probablemente en Chiapas (Rico, 1980).

Generalmente el porte es arbóreo o arbustivo de hasta de 4 m de alto, las ramas y tallo son hispídulos formando una copa redondeada, armado con espinas estipulares rectas. Hojas pequeñas de 1 a 4 cm de largo; estípulas espiniformes hasta de 3.5 cm de largo y de 2.5 mm de diámetro en la base, blanquecinas o rojizas; pecíolos hispídulos, acanalados de 2.5 a 5 mm de largo, con una glándula cercana al primer par de pinnas o entre ellas, circular, sésil; raquis hispídulo de 0.3 - 0.8 a 2.5 cm de largo con 2 a 5 pares de pinnas opuestas de 0.8-1 a 1.3 cm de largo, una glándula entre cada par de pinnas o algunas veces sólo entre el último par; folíolos de 9 a 20 pares por pinna, linear oblongos, la base truncada y ligeramente oblicua, agudos hacia el ápice, de 2 a 3 mm de largo, de 0.5 a 1.0 mm de ancho, glabros en el haz, hispídulos en el envés, márgenes ciliados, venación pinnada, con vena central. Inflorescencias solitarias o en fascículos axilares, de 2 a 3 capítulos; pedúnculos hispídulos de 1 a 1.7 cm de largo, con una

bráctea apresada estrigulosa, triangular de 1 mm de largo cercana al capítulo; cabezuelas de 1 cm de diámetro en la antesis; flores amarillas, sésiles; cáliz estriguloso, 5-lobulado un cuarto de su tamaño; corola estrigulosa, del doble o un tercio más grande que el tamaño del cáliz, 5-lobulada hasta un cuarto de su largo; bráctea floral estrigulosa, clavada de 0.75 a 1.25 mm de largo, caduca; estambres glandulares; ovario sésil o casi glabro. Legumbre túrgida, compresada no plana, por lo general algo curva, algunas veces recta y ligeramente constreñida entre las semillas, valvas gruesas, coriáceas, pardo oscuras, apresado hispídulas de 5 a 10 cm de largo, 0.5 a 1.4 cm de ancho y 0.3 a 0.6 cm de grueso, indehiscente en ambas suturas, con un endocarpo resinoso y septos esponjosos pero fuertes, base y ápice agudos. Semillas circulares, pardo oscuras, de 6.5 a 7.5 mm de largo, 6 mm de ancho y 4.5 a 5 mm de grueso. Florece de junio a enero y fructifica de julio a febrero. Ocupa diversos hábitats entre los 20 y 2500 m.s.n.m. como son: bosque de encino, bosque de pino-encino, matorral espinoso, matorral crasicauale, pastizal. Es abundante sobre todo en lugares muy perturbados o erosionados (Rico, 1980).

Esta especie es frecuentemente confundida con *A. farnesiana*, pero por lo general, *A. schaffneri* es un árbol con las hojas y las pinnas más pequeñas. La posición de la glándula peciolar es diferente, en *A. farnesiana* se localiza cercana a la base o en la parte media del peciolo y en *A. schaffneri* es entre el primer par de pinnas o muy cercana a éstas (Rico, 1980).

IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS GENECOLÓGICOS

El término genecología fue propuesto en 1923 por Turesson y se aplicó originalmente al estudio de la variación intraespecífica de las plantas en relación con el ambiente. En este sentido, tales estudios se caracterizan por una síntesis de enfoques genéticos, ecológicos y taxonómicos considerando a las especies como unidades genéticamente complejas, cuya distribución y composición se encuentra ampliamente determinada por su constitución genotípica y por factores ecológicos (Heslop-Harrison, 1964).

Es pues, el objetivo de esta ciencia poner al descubierto los patrones de funcionalidad ecológica intraespecífica y elucidar los mecanismos por medio de los cuales se alcanzan los niveles de adecuación que exhiben los individuos en las poblaciones, y en este sentido, apoya sólidamente a la ecología como ciencia descriptiva. Como toda disciplina sintética, la genecología puede separarse en componentes dependiendo de los propósitos específicos de estudio. Así, cuando el objetivo primario es la búsqueda de los mecanismos de variación, selección y las interacciones genotipo-ambiente, interactúa aún más con la genética (Heslop-Harrison, 1964).

Lo anterior explica la necesidad de que en los estudios genecológicos se incluyan especies vegetales de amplia distribución que muestren variación espacial en caracteres morfológicos y fisiológicos; que tal variación pueda correlacionarse con diferencias de hábitats y, finalmente que la variación correlacionada ecológicamente pueda ser atribuible a la acción de la selección sobre poblaciones localmente adaptadas a partir de la variación genética disponible de la especie y no sólo a la respuesta plástica al ambiente (Heslop-Harrison, 1964).

Actualmente se han sumado un conjunto de evidencias que permiten aceptar como un hecho establecido que las especies vegetales, en general, muestran diferenciación ecológica sobre una fuerte base genética (Levin y Funderburg, 1979; Grime y Mowforth, 1982; Kenton *et al.*, 1986; Cullis, 1990; Tapia *et al.*, 1999).

- Estudios citogenéticos.

Como se sabe, el cromosoma eucariótico es una molécula de extraordinaria longitud y es igualmente extraordinario en su variedad morfológica y potencial genético. A pesar de su naturaleza molecular aparentemente uniforme, está diferenciado tanto en forma como en función: cada una de sus partes juega un papel en la vida de la célula, puede responder genéticamente de un modo altamente selectivo y discriminante en una variedad de células. Por otra parte, los cromosomas somáticos en metafase, tanto en células animales como en células vegetales también son usados normalmente en estudios citotaxonómicos, en los análisis cariológicos que incluyen longitud y número de cromosomas, posición de centrómeros y constricciones secundarias y cualquier otra peculiaridad topográfica que pueda servir como marcador distintivo para la identificación (Swanson *et al.*, 1981).

Asimismo, los estudios citogenéticos proporcionan una de las herramientas para el conocimiento biológico de los recursos genéticos, y comprende esencialmente el análisis de la variabilidad y la determinación de la base genética de los cromosomas, permitiendo conocer qué tan plásticos son los genotipos entre y dentro de las diferentes áreas en un rango ecológico; tomándose en consideración el sistema reproductivo, ciclo de vida y grado de intercambio genético entre las poblaciones (Palomino, 1986). En este sentido, es posible determinar diferencias y/o afinidades entre los taxa y sus patrones de divergencia, variaciones en los niveles de ploidía, el esclarecimiento de afinidades genéricas y específicas, centros de origen, así como de los patrones evolutivos de las especies vegetales (Grant, 1987; Kenton *et al.*, 1986), información que resulta básica para la realización de programas de fitomejoramiento mediante la manipulación de los genotipos (Kenton, 1986).

Actualmente se han sumado un conjunto de evidencias que permiten aceptar como un hecho establecido que las especies vegetales, en general, muestran diferenciación ecológica sobre una fuerte base genética (Levin y Funderburg, 1979; Grime y Mowforth, 1982; Kenton *et al.*, 1986; Cullis, 1990; Tapia *et al.*, 1999).

- Estudios citogenéticos.

Como se sabe, el cromosoma eucariótico es una molécula de extraordinaria longitud y es igualmente extraordinario en su variedad morfológica y potencial genético. A pesar de su naturaleza molecular aparentemente uniforme, está diferenciado tanto en forma como en función: cada una de sus partes juega un papel en la vida de la célula, puede responder genéticamente de un modo altamente selectivo y discriminante en una variedad de células. Por otra parte, los cromosomas somáticos en metafase, tanto en células animales como en células vegetales también son usados normalmente en estudios citotaxonomicos, en los análisis cariológicos que incluyen longitud y número de cromosomas, posición de centrómeros y constricciones secundarias y cualquier otra peculiaridad topográfica que pueda servir como marcador distintivo para la identificación (Swanson *et al.*, 1981).

Asimismo, los estudios citogenéticos proporcionan una de las herramientas para el conocimiento biológico de los recursos genéticos, y comprende esencialmente el análisis de la variabilidad y la determinación de la base genética de los cromosomas, permitiendo conocer qué tan plásticos son los genotipos entre y dentro de las diferentes áreas en un rango ecológico; tomándose en consideración el sistema reproductivo, ciclo de vida y grado de intercambio genético entre las poblaciones (Palomino, 1986). En este sentido, es posible determinar diferencias y/o afinidades entre los taxa y sus patrones de divergencia, variaciones en los niveles de ploidía, el esclarecimiento de afinidades genéricas y específicas, centros de origen, así como de los patrones evolutivos de las especies vegetales (Grant, 1987; Kenton *et al.*, 1986), información que resulta básica para la realización de programas de fitomejoramiento mediante la manipulación de los genotipos (Kenton, 1986).

Al respecto, es importante mencionar que sólo entre el 15 y 20% de las angiospermas han sido estudiadas citológicamente, y para muchas de ellas el único dato existente es el número cromosómico (Grant, 1987), proporción que hasta el momento permanece sin modificación. Lo anterior cobra mayor significado si se considera la rápida extensión de la "civilización", pues se estima que la pérdida por esta causa será de 1 de cada 6 especies de plantas con flor antes de la mitad del presente siglo (Grant, 1987).

Como ya se mencionó, las características citológicas más utilizadas son el recuento de cromosomas y la estructura de los mismos (cariotipos), las cuales proveen información respecto al número básico o fundamental de un grupo, proporcionando un indicador rápido de similitud genética entre poblaciones o especies (Kenton *et al.*, 1986).

Otro parámetro citológico susceptible de evaluar es la cuantificación de ADN, bien sea de manera directa por citometría de flujo y citofotometría estática, cuyos métodos han mostrado proveer estimaciones relativamente precisas de la talla del genoma en una variedad de organismos (Raina y Rees, 1983; Salimuddin y Ramesh, 1994; Renzaglia *et al.*, 1995 y bibliografía allí citada), o por métodos indirectos como la longitud y/o volumen cromosómico total en metafase mitótica y meiótica, cuya correspondencia ha sido por demás comprobada (Rees *et al.*, 1966; Nagl y Ehrendorfer, 1974; Bennett *et al.*, 1983; Sims y Price, 1985; Poggio *et al.*, 1986).

Estas estimaciones no sólo son aplicadas al estudio de relaciones filogenéticas y taxonómicas (Benett y Smith, 1976; Price, 1976 y Benett *et al.*, 1982), sino que también son consideradas en cuestiones ecológicas (Bennett, 1987), de biología celular y molecular (Rees y Durrant, 1986), de fisiología y desarrollo (Thompson, 1990; Bharathan, 1996), así como en paleontología (Masterson, 1994), mostrando una interpretación más precisa de la interacción genómica y su asociación a determinadas áreas o hábitats (Price *et al.*, 1973, 1986; Bennett y Smith, 1976; Kenton y Heywood, 1984)

- Cariotipos.

El término cariotipo se refiere al grupo de características que permiten la identificación de un conjunto cromosómico, como son el número, tamaño y forma de los cromosomas en una célula u organismo (Ayala y Kieger, 1984) y se representa por la serie ordenada de los pares de cromosomas homólogos por tamaño decreciente. Es característico de una especie, de un género o de grupos más amplios (De Robertis y De Robertis, 1981).

Los cromosomas son el material hereditario organizado en forma de cuerpos filamentosos de aspecto bacilar (Santander, 1976). Su morfología se observa mejor en metafase y anafase, períodos en los cuales la contracción cromosómica alcanza su máximo (De Robertis y De Robertis, 1981). No son estructuras estáticas que definen a cada grupo taxonómico, sino que forman parte de un sistema dinámico moldeado por procesos evolutivos (Kenton, 1986). Al respecto, se ha señalado que el tamaño y forma de los cromosomas puede ser de importancia funcional y adaptativa (Bennett *et al.*, 1982, Seal y Rees, 1982), así que la adquisición de un determinado cariotipo no sería un proceso fortuito (Poggio y Naranjo, 1990).

La elaboración de cariotipos es de gran ayuda en la delimitación taxonómica, ya sea para el esclarecimiento de familias, géneros, especies, etc. (Jackson, 1971). La información obtenida a partir de este tipo de análisis es relevante para comprender el papel que juegan los rearrreglos cromosómicos en la evolución y especiación de las plantas (Ortega *et al.*, 1991).

Para un análisis individual y comparativo de cariotipos es necesaria una esquematización ordenada de los distintos elementos cromosómicos en metafase, la cual puede consistir de un cariograma o un idiograma. El primero consiste en la representación del complejo cromosómico a través del arreglo de fotomicrografías de cada uno de los cromosomas dispuestos en pares de homólogos y en series de tamaño decreciente. En cambio, en el idiograma, cada par cromosómico es representado por

una línea o barra indicando la posición del centrómero, la localización del satélite y otras marcas citológicas. Esta representación se integra con la información de varias células (García-Velázquez, 1988).

En relación a los géneros *Prosopis* y *Acacia*, sus complementos cromosómicos se han caracterizado por incluir numerosos cromosomas pequeños, razón por la cual sus estudios citogenéticos se han limitado únicamente al conocimiento del número cromosómico y no a un análisis detallado del cariotipo (Atchison, 1948; Hunziker *et al.*, 1975).

- Contenidos de ADN.

Anteriormente se tenía como premisa que los contenidos de ADN diferían entre las especies, pero que dentro de la misma especie los valores se mantenían constantes, sin embargo, varios trabajos han demostrado la existencia de una considerable variación a nivel de familia (Gramineae, Compositae y Leguminosae, entre otras), género e incluso intraespecífico (Price, 1976; Raina y Rees, 1983; Greenlee *et al.*, 1984; Price, 1988). En algunos casos, tal variación es debida a fenómenos de poliploidía y en otros es independiente del número cromosómico (Raina y Rees, 1983). En base a ésta última consideración, se ha propuesto que existen mecanismos por los cuales el genoma puede variar: amplificaciones y deleciones de material altamente repetido, las cuales están consideradas como dos de las modificaciones más importantes que contribuyen al cambio evolutivo. Los incrementos en el ADN se han propuesto como más ventajosos en comparación con las disminuciones (Hinegardner, 1976).

El continuo interés respecto a las variaciones de ADN es consecuencia de las grandes diferencias, aún no explicadas, que existen tanto a nivel intragenérico como intraespecífico (Grant, 1987). Referente a las primeras, los géneros más representativos son *Vicia* (Raina y Rees, 1983), *Lolium*, *Festuca* (Seal y Rees, 1983) y *Lathyrus* (Narayan, 1982). Ejemplificando las diferencias intraespecíficas se tienen a *Poa annua*

una línea o barra indicando la posición del centrómero, la localización del satélite y otras marcas citológicas. Esta representación se integra con la información de varias células (García-Velázquez, 1988).

En relación a los géneros *Prosopis* y *Acacia*, sus complementos cromosómicos se han caracterizado por incluir numerosos cromosomas pequeños, razón por la cual sus estudios citogenéticos se han limitado únicamente al conocimiento del número cromosómico y no a un análisis detallado del cariotipo (Atchison, 1948; Hunziker *et al.*, 1975).

- Contenidos de ADN.

Anteriormente se tenía como premisa que los contenidos de ADN diferían entre las especies, pero que dentro de la misma especie los valores se mantenían constantes, sin embargo, varios trabajos han demostrado la existencia de una considerable variación a nivel de familia (Gramineae, Compositae y Leguminosae, entre otras), género e incluso intraespecífico (Price, 1976; Raina y Rees, 1983; Greenlee *et al.*, 1984; Price, 1988). En algunos casos, tal variación es debida a fenómenos de poliploidía y en otros es independiente del número cromosómico (Raina y Rees, 1983). En base a ésta última consideración, se ha propuesto que existen mecanismos por los cuales el genoma puede variar: amplificaciones y deleciones de material altamente repetido, las cuales están consideradas como dos de las modificaciones más importantes que contribuyen al cambio evolutivo. Los incrementos en el ADN se han propuesto como más ventajosos en comparación con las disminuciones (Hinegardner, 1976).

El continuo interés respecto a las variaciones de ADN es consecuencia de las grandes diferencias, aún no explicadas, que existen tanto a nivel intragenérico como intraespecífico (Grant, 1987). Referente a las primeras, los géneros más representativos son *Vicia* (Raina y Rees, 1983), *Lolium*, *Festuca* (Seal y Rees, 1983) y *Lathyrus* (Narayan, 1982). Ejemplificando las diferencias intraespecíficas se tienen a *Poa annua*

80%, *Gibasis venustala* 60%, *Collinsia verna* 288%, *Microseris douglasii* y *M. bigelovii* con 25%, entre otras, de tal forma que en el presente se acepta que tales fenómenos no deben ser vistos como excepcionales (Price, 1991; Salimuddin y Ramesh, 1994).

En plantas superiores, la variación en los contenidos de ADN puede ser de hasta 2500 veces, cuyo valor mínimo se reporta para *Cardamine amara* (1C= 0.05 pg) y el máximo en *Fritillaria assyriaca* (1C= 124.7 pg). En el grupo de las angiospermas, la variación no sobrepasa de 600 veces, con menos de 0.2 pg (1C) en *Arabidopsis thaliana* hasta 127.4 pg (1C) en *Fritillaria assyriaca* (Bennett y Leitch, 1997), asimismo, la familia Leguminosae se caracteriza por presentar una gran variación en los contenidos de ADN (Rees y Hazarika, 1967; Chooi, 1971; Bennett, 1972).

Es importante señalar que la variación masiva en la cantidad de ADN puede ser inducida por factores ambientales y estas diferencias pueden ser parte de un mecanismo adaptativo en respuesta a ambientes cambiantes (Price, 1976, 1988; Raina y Rees, 1983) resultando en duplicaciones o deleciones del material genético, principalmente de secuencias altamente repetidas (Price, 1976; Walbot y Cullis, 1985). De este modo, la talla promedio de los cromosomas se incrementa o disminuye con el incremento o disminución del ADN nuclear, por tanto, no es sorprendente que la longitud cromosómica total refleje el contenido de ADN (Smith y Bennett, 1975; Price, 1976; Levin y Funderberg, 1979; Nishikawa *et al.*, 1979; Bennett *et al.*, 1983; Poggio *et al.*, 1986, 1992; Poggio y Naranjo, 1990; Cavallini y Natali, 1991).

La cantidad de ADN ejerce un efecto profundo en la mayoría de los aspectos de desarrollo y distribución de las plantas. No sólo se correlaciona positivamente con el tamaño genómico sino que también determina el volumen total de los complementos cromosómicos en mitosis y meiosis, así como la duración del ciclo celular mitótico y meiótico y el volumen celular (Van't Hof y Sparrow 1963; Bennett, 1972). Determina además, el ciclo de vida (Bennett, 1972, 1976, 1987), el contenido de proteínas, el ARN nuclear, el peso celular, el peso y talla de la semilla, la simetría del cariotipo y la talla celular entre otras (Bennett, 1987).

En efecto, se han señalado variaciones del genoma en estrecha correlación con la latitud geográfica -clinas geográficas- (Bennett y Smith, 1976; Levín y Funderburg, 1979; Kenton, 1984; Kenton *et al.*, 1986). Asimismo, en algunos grupos o familias de angiospermas, entre ellas las Leguminosae, se presenta una tendencia a mostrar genomas de mayor longitud en correspondencia con una mayor latitud (clinas ADN/latitud), o bien cambios en el ADN como respuesta al estrés ambiental (Grant, 1976; Cullis, 1990; Price *et al.*, 1986). Relaciones similares se han tratado de establecer con respecto a la altitud; sin embargo, los resultados son contradictorios y se han realizado principalmente en herbáceas (Price, 1988). Finalmente, Bennett (1972) y Price (1976) señalaron que el contenido de ADN es mayor en las plantas perennes en comparación con las plantas anuales.

Esta teoría fue propuesta por Bennett en 1971 y hace referencia al valor-C como la cantidad de ADN existente en un genoma haploide que no ha replicado (1C), en consecuencia, un núcleo diploide que no ha replicado contiene dos veces la cantidad de ADN y por lo tanto, tiene un valor-C de 2. Bennett (1971) considera que existen características asociadas con el valor-C que afectan o controlan el fenotipo de una planta, a los cuales ha referido como "características nucleotípicas" (Tabla 1). Estos caracteres "no-génicos" son considerados independientes del contenido informacional codificante (Grant, 1987). En este sentido, el efecto nucleotípico del contenido de ADN se manifiesta independientemente de alguna capacidad genética específica o codificante, ya que ésta depende sólo de la cantidad total de ADN (Bennett, 1972).

Tabla 1. Características asociadas positivamente con el valor-C.

1. Longitud total, volumen y masa de cromosomas metafásicos.
2. Volumen nuclear, celular.
3. Peso y desarrollo de la semilla.
4. Duración de los ciclos celulares mitóticos y meióticos.
5. Proporción y duración de la síntesis de ADN.
6. Factores climáticos (temperatura, agua, estrés).
7. Factores ecológicos y fenológicos.
8. Latitud y altitud.
9. Arreglo cromosómico espacial, entre otros.

(Tomado de Grant, 1987)

En términos muy generales, conforme se avanza en la escala evolutiva aumentan los valores-C, de este modo, las bacterias poseen menos ADN que las levaduras y éstas a su vez menos ADN que los insectos y así sucesivamente (Watson, 1983). Sin embargo, en organismos superiores la falta de correlación positiva general entre la talla del genoma, la complejidad morfológica y el avance filogenético han sido nombrados como la paradoja del valor-C (Thomas, 1971). Así, en las angiospermas, los valores-C son altamente diversos, aún entre taxas estrechamente relacionados y con uniformidad morfológica (Price, 1988).

Al respecto, Bennett y colaboradores (1982) sugirieron que las variaciones en el valor-C tienen significados remarcablemente adaptativos y ecológicos. En efecto, bajas cantidades de ADN (2C) presuponen tamaños celulares menores, lo cual es muy importante para la adaptación de las plantas. Se ha sugerido que el poseer células pequeñas puede ayudar a resistir el estrés hídrico y altas temperaturas debido a que este tipo de células mantienen la turgencia y promueven el desarrollo de hojas pequeñas (Price, 1988). En este sentido, bajas cantidades de ADN han sido correlacionadas con el fenómeno de especialización y adaptación a ciertos nichos ecológicos (Greenle *et al.*, 1984; Cullis, 1990), puesto que esto permite acompletar el ciclo celular más rápido en comparación con las especies de mayor contenido de ADN (Kenton *et al.*, 1986). Asimismo, genomas de talla grande parecen ser indicadores de flexibilidad evolutiva (Cullis, 1990).

Las zonas áridas de nuestro país han sido gravemente alteradas por actividades tales como el sobrepastoreo, la sobreexplotación de especies vegetales maderables y la falta de planeación en el uso de los recursos propios de estas zonas. Lo anterior ha modificado también la abundancia relativa y el área de distribución de especies clave de estos ecosistemas, como mezquites y huizaches, que experimentan una acelerada pérdida de individuos élite. Paralelamente, el abatimiento de la productividad contribuye en gran medida no sólo al empobrecimiento de los pobladores de estas zonas, sino a una modificación severa de las propias comunidades vegetales y finalmente a la pérdida de especies. No obstante, algunas de nuestras especies características de zonas áridas han sido señaladas como susceptibles de mejora genética, además de representar considerable interés desde el punto de vista evolutivo pues ocupan grandes extensiones y enfrentan por tanto, condiciones climáticas y/o geográficas muy diferentes, cuyas respuestas no han sido evaluadas.

En efecto, aunque las especies pertenecientes a los géneros *Prosopis* y *Acacia*, comparten las circunstancias antes señaladas, su variabilidad genética, en la mayoría de los casos, sólo ha sido evaluada indirectamente mediante análisis de caracteres morfológicos, sin embargo, presentan problemas en su delimitación taxonómica, en sus patrones de distribución y en el esclarecimiento de sus relaciones filogenéticas. En consecuencia, se conoce muy poco acerca de la extensión y organización de la diversidad en sus sistemas genéticos, por lo que una mejor caracterización citogenética resultaría muy útil en la interpretación de su distribución y evolución, así como en programas exitosos de mejora genética.

En vista de que el estudio de los sistemas genéticos posibilita una interpretación más precisa de la interacción genotipo-ambiente y su probable efecto sobre la remodelación del complemento cromosómico, en esta investigación se realiza un estudio genecológico en especies pertenecientes a dos géneros estrechamente emparentados y

con un amplio intervalo de distribución. Para el género *Prosopis* existen ya antecedentes en esta dirección, sin embargo, en el género *Acacia* no se han realizado estudios referentes al contenido de ADN o a variaciones en la longitud cromosómica total que indiquen correlaciones entre condiciones ecológicas-ambientales y algún tipo de variación genética o citogenética.

Lo anterior se debe en parte a que ambos géneros presentan características citogenéticamente desfavorables cuando se emplea la técnica tradicional de aplastado. Sin embargo, la aplicación de una metodología alternativa de extendido en superficie y secado al aire como la aquí propuesta, facilitará el estudio de uno de los niveles de organización básica del genoma, como son los cariotipos, permitiendo además la búsqueda de modificaciones en los mismos como respuesta a factores ambientales.

Hoy día se ha establecido que los genomas de algunas especies vegetales sufren variaciones que involucran cambios en los niveles de ploidías y modificaciones en sus características nucleotípicas cuando se enfrentan a ambientes estresantes o bien como respuesta a diferentes tipos de clinas ecológicas, geográficas o ambientales. En las angiospermas existe una amplia variación en la cantidad de ADN nuclear entre familias, géneros e incluso en el nivel intraespecífico, particularmente en leguminosas. Sin embargo, estas correlaciones han sido poco estudiadas en poblaciones vegetales de zonas áridas. Si la extensión de este fenómeno incluye a estas últimas sería de esperar cambios nucleotípicos en función de clinas latitudinales, que podrían reflejarse en un aumento o disminución en el contenido de ADN e indirectamente ser evaluados como modificaciones en las longitudes cromosómicas totales que resultarían de especialización del genoma y adaptación a ciertos nichos ecológicos, en individuos de poblaciones geográficamente distantes pertenecientes a *Prosopis laevigata*, *Acacia farnesiana* y *A. schaffneri*, especies que además de pertenecer a géneros estrechamente emparentados poseen gran capacidad de adaptabilidad y plasticidad genética.

Objetivo general

- ◆ Evaluar la interacción genotipo-ambiente en tres especies de leguminosas de zonas áridas: *Prosopis laevigata* (Willd.) M.C.Johnst, *Acacia farnesiana* (L.) Willd. y *Acacia schaffneri* (F.J.) Hem., procedentes de Bermejillo, Dgo. y de Santiago de Anaya, Hgo.

Objetivos particulares

- ◆ Comparar la eficiencia de la metodología tradicional de aplastado y de otra alternativa de extendido en superficie y secado al aire.
- ◆ Obtener los cariotipos mitóticos de las tres leguminosas señaladas.
- ◆ Analizar las tallas de los complementos cromosómicos (en preparaciones de ápices radiculares) y sus posibles cambios en relación con los factores ecológicos y climáticos propios de cada municipio.
- ◆ Obtener el nivel de ploidía y la proporción de polisomatía.
- ◆ Analizar la variabilidad interpoblacional de la longitud de los complementos cromosómicos y del peso de las semillas.
- ◆ Proponer un modelo de remodelación cariotípica (si ésta se encuentra) para especies claves de nuestras zonas áridas.

Para la identificación taxonómica de las especies bajo estudio, se elaboraron los especímenes de herbario mismos que fueron corroborados mediante comparación con ejemplares depositados en el Herbario MEXU.

Para la evaluación citológica, se colectaron aproximadamente 200 frutos maduros de cinco individuos de porte arbóreo de *Prosopis laevigata* (Santiago de Anaya, Hgo. y Bermejillo, Dgo), *Acacia farnesiana* (Bermejillo, Dgo.) y *A. schaffneri* (Santiago de Anaya, Hgo.) durante los meses de julio a septiembre de 1998. Cien semillas tomadas al azar por cada individuo fueron pesadas en una balanza analítica (OHAUS. Analytical standard) y se dispusieron en cajas petri con algodón humedecido en agua destilada e incubadas en estufa a 31° C hasta obtener raíces de 1.0 a 1.5 cm de largo. Éstas fueron separadas y se sometieron a un pretratamiento en solución de 8-hidroxiquinoleína 0.002M durante 5 horas. Pasado este tiempo se enjuagaron en agua destilada y fueron fijadas en solución Farmer (Etanol - Ác. acético 3:1) por lo menos durante 24 horas.

Preparaciones por aplastado.

Siguiendo la técnica tradicional de aplastado (squash) se tomaron 10 raicillas fijadas de cada especie y por cada población, mismas que fueron sometidas a hidrólisis ácida (HCl 1N) en baño maría a 60°C durante 12 min. (mezquite) y 18 min. (huizaches). Las raíces se lavaron con agua destilada y teñidas con Feulgen por 1 hora. Para obtener un contraste mayor de los cromosomas, el aplastado se realizó en aceto-orceína 2%. Los cubreobjetos se removieron siguiendo el método del hielo seco (Conger y Fairchild, 1953) y las preparaciones se deshidrataron en etanol y se montaron en resina sintética.

Preparaciones por secado al aire.

Para la técnica alternativa se tomaron entre 70-90 raicillas previamente pretratadas. Los ápices radicales se disecaron y fueron sometidos a una digestión enzimática en una

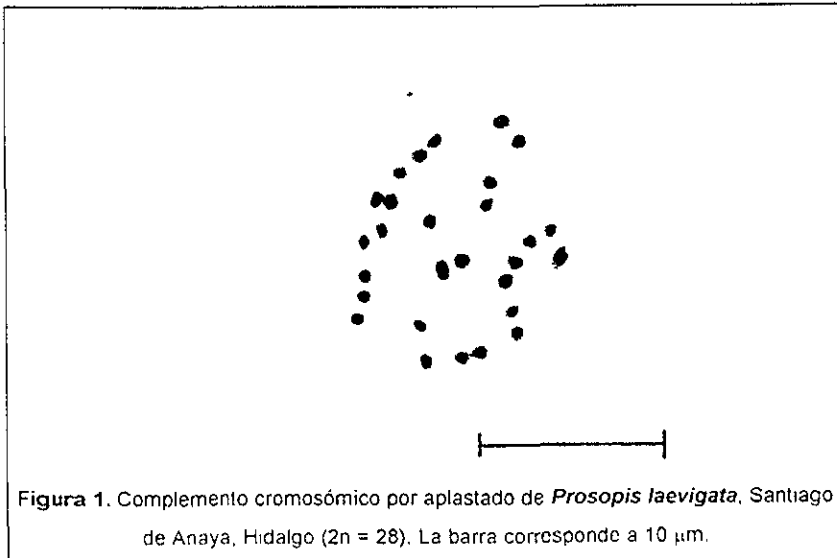
mezcla de pectinasa 30% + celulasa 4% a 37°C durante 1.20 hrs. (mezquite) y 1.45 hrs. (huizaches). Durante el transcurso de la digestión, los ápices radicales fueron también dispersados mecánicamente con ayuda de una espátula y/o con tijeras finas. Al finalizar el tiempo de digestión enzimática, el sobrenadante fue recuperado con la ayuda de una pipeta Pasteur y centrifugado a 1500 rpm durante 10 minutos a fin de obtener el botón celular. Este último fue sometido a choque hipotónico en solución fresca de KCl 0.075 M a 37°C durante 30 minutos, seguido de tres lavados sucesivos con la misma solución. Finalmente se realizaron tres lavados sucesivos con fijador Farmer antes de la preparación de laminillas. Las preparaciones se realizaron dejando caer sobre portaobjetos previamente desengrasados tres gotas del botón celular bien distribuidas y se esperó que secan al aire. Posteriormente las laminillas fueron teñidas con colorante Giemsa al 10% y se hicieron permanentes utilizando resina sintética (Tapia, 1998).

La revisión de las preparaciones se realizó en un microscopio óptico Zeiss K7 de rutina, con objetivo de 100X. Se seleccionaron 10 metafases típicas por cada especie y por cada población (excepto para *A. schaffneri* en donde sólo se seleccionaron 8) y se fotografiaron con película Kodak Technical Pan. La medición de los cromosomas se realizó sobre fotografías con la misma magnificación con ayuda de un calibrador digital (Mitutoyo Digimatic Caliber CD-G"BS) y se les aplicó un análisis estadístico "t" con 99.99% de confianza. Para la elaboración de los cariotipos únicamente se utilizaron los cinco mejores campos.

La identificación morfológica de los cromosomas y la obtención de los cariotipos se realizó empleando el sistema propuesto por Levan *et al.* (1964), que se basa en la proporción entre los brazos largos y cortos de los cromosomas para ubicar la posición del centrómero. Asimismo, los índices de asimetría intracromosómica se basaron en la propuesta de Romero (1986) quien formula una escala en donde valores cercanos a cero indican mayor simetría y los cercanos a uno señalan hacia asimetría del cariotipo.

Complemento cromosómico por aplastado.

Al aplicar este método a las especies bajo estudio las características cromosómicas finas (centrómero, constricción secundaria y porciones satélites) no pudieron apreciarse claramente. Lo anterior se debió a que la separación entre núcleos fue mínima y en los pocos núcleos metafásicos que se pudieron considerar fue difícil realizar conteos cromosómicos. Además en muchos casos los cromosomas se presentaban en dos planos. Asimismo fue común observar en los cromosomas metafásicos una tendencia a agruparse en el centro del núcleo. Lo anterior impidió la elaboración del cariotipo y la posibilidad de evaluar las longitudes cromosómicas. Por las mismas razones no se intentó evaluar el porcentaje de células polisomáticas (Figura 1)



Complementos cromosómicos por extendido en superficie y secado al aire.

La aplicación del método de extendido en superficie y secado al aire por el contrario, ofreció excelentes resultados pues se logró una total separación entre los núcleos. En el interior de los mismos los cromosomas estaban óptimamente distribuidos y la penetración del colorante fue buena, lo que facilitó tanto la observación como el conteo de los mismos. Asimismo la cantidad de núcleos en metafase típica fue bastante elevado en comparación con el número de los mismos apreciables mediante el método de aplastado. Con esto, no sólo fue posible evaluar sin lugar a dudas el número cromosómico de cada especie ($2n= 28$ para *Prosopis laevigata* y $2n= 26$ para *Acacia farnesiana* y *A. schaffneri*), sino también la morfología de cada cromosoma y la posición del centrómero (aspecto fundamental para la elaboración del cariotipo) mismos que fueron fácilmente apreciables. Por otra parte, en la mayoría de los campos se logró apreciar la presencia de constricciones secundarias y sus respectivas regiones portadoras del satélite (Figura 2), características que en conjunto posibilitaron la elaboración de los idiogramas correspondientes. Por otra parte, el registro de núcleos poliploides y su nivel de ploidía se realizó con relativa facilidad.

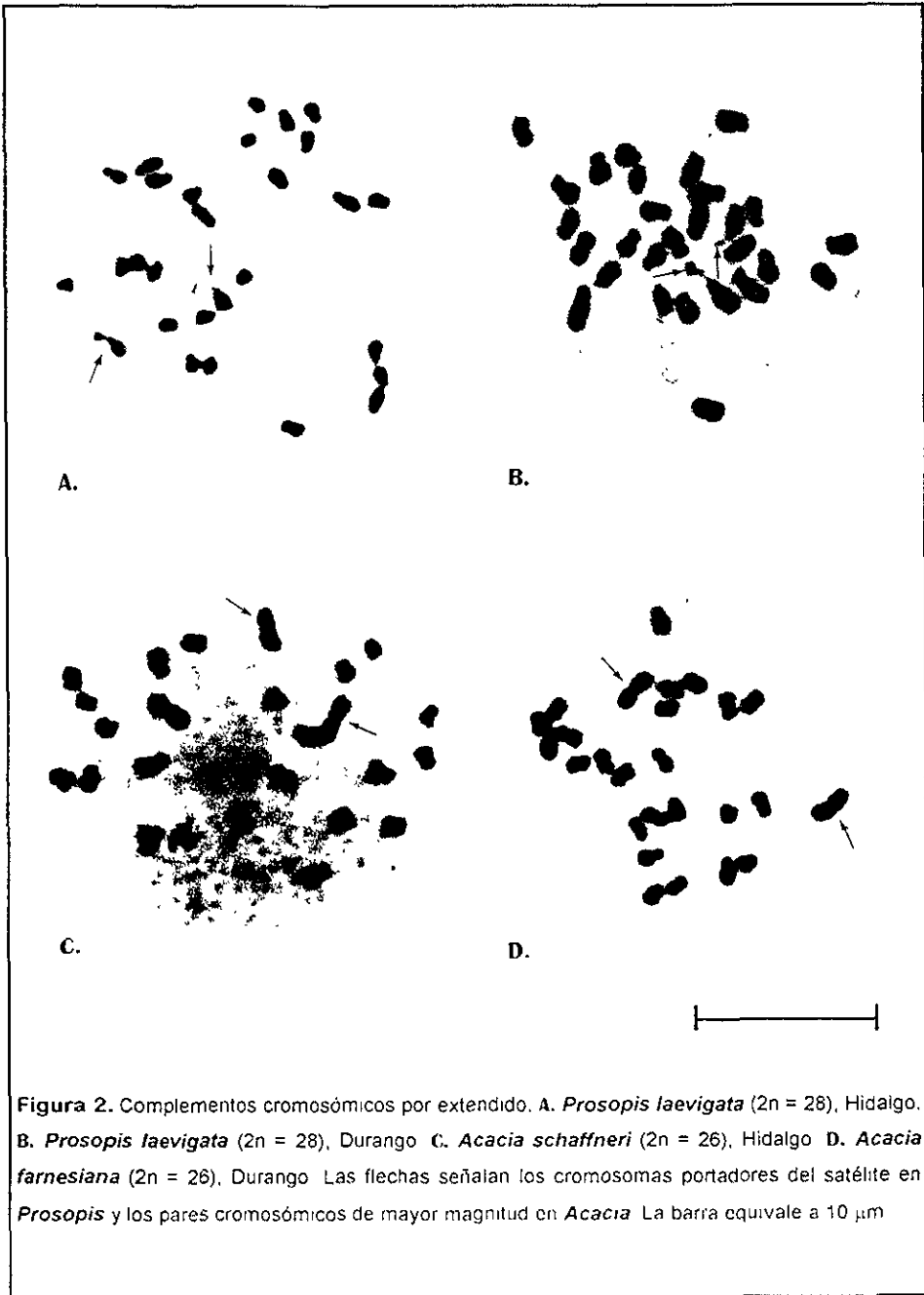


Figura 2. Complementos cromosómicos por extendido. A. *Prosopis laevigata* (2n = 28), Hidalgo. B. *Prosopis laevigata* (2n = 28), Durango C. *Acacia schaffneri* (2n = 26), Hidalgo D. *Acacia farnesiana* (2n = 26), Durango Las flechas señalan los cromosomas portadores del satélite en *Prosopis* y los pares cromosómicos de mayor magnitud en *Acacia* La barra equivale a 10 μ m

De esta manera se registraron, para *P. laevigata* de Santiago de Anaya, Hgo. un total de 1083 núcleos en metafase típica, de los cuales 95 (8.77 %) fueron tetraploides. En el caso de la población de Bermejillo, Dgo. se observaron 1121 núcleos incluyendo 112 (10%) tetraploides (Cuadro 1).

En relación con *A. schaffneri* (Santiago de Anaya, Hgo.) de 317 núcleos metafásicos revisados, 228 (71.92 %) fueron núcleos diploides $2n=26$, 87 (27.45 %) núcleos tetraploides y 2 (0.63 %) hexaploides. Con respecto a *A. farnesiana* (Bermejillo, Dgo.) se registraron 720, de los cuales 526 (73.05 %) fueron núcleos diploides $2n=26$, 178 (24.72 %) tetraploides y 16 núcleos (2.23 %) del tipo hexaploide (Cuadro 1).

Cuadro 1. Proporción de células diploides y poliploides.

	SANTIAGO DE ANAYA, HGO.		BERMEJILLO, DGO.	
	<i>P.laevigata</i>	<i>A. schaffneri</i>	<i>P. laevigata</i>	<i>A. farnesiana</i>
% 2n	91.23	71.92	90.00	73.05
% 4n	8.77	27.45	10.00	24.72
% 6n	-	0.63	-	2.23

No obstante las ventajas del método de extendido en superficie y secado al aire, en las especies del género *Acacia* se presentaron algunas dificultades al momento de extraer el sobrenadante luego de la digestión enzimática, puesto que no había una óptima separación entre la fase semisólida y la fase acuosa que contendría a los protoplastos, debido a la formación de una fase ligeramente viscosa. Asimismo, la tinción de los cromosomas no fue tan intensa como en aquellos de *Prosopis laevigata*, siendo quizás consecuencia del problema antes señalado.

Longitudes Cromosómicas Totales (LCT).

Al evaluar la longitud cromosómica total promedio de las poblaciones de *Prosopis*, se encontró que la magnitud mayor corresponde al complemento cromosómico de la población de Bermejillo, Dgo. ($45.82 \pm 5.37 \mu\text{m}$), con intervalo promedio de longitud cromosómica de $1.203 - 2.245 \mu\text{m}$ y la magnitud menor a la población de Santiago de Anaya ($32.4677 \pm 2.81 \mu\text{m}$) con intervalo promedio de longitud cromosómica de $0.803 - 1.659 \mu\text{m}$ (Cuadro 2). Estas magnitudes fueron comparadas estadísticamente ($t, \alpha = 0.01, n = 10$), siendo las longitudes cromosómicas totales significativamente mayores para la población de Bermejillo, Dgo.

Para el género *Acacia* la magnitud mayor en cuanto a la longitud cromosómica total promedio corresponde a *A. farnesiana* con $36.856 \pm 5.27 \mu\text{m}$, con intervalo promedio de longitud cromosómica de $1.061 - 2.517 \mu\text{m}$ y la menor magnitud a *A. schaffneri* con $31.920 \pm 6.91 \mu\text{m}$ y con intervalo promedio de longitud cromosómica de $0.890 - 2.027 \mu\text{m}$ (Cuadro 2). A pesar de que el análisis estadístico ($t, \alpha = 0.01, n = 8,10$) no reveló diferencias significativas, de cualquier modo, las longitudes totales son mayores en Bermejillo.

Cuadro 2. Longitudes Cromosómicas Totales promedio

	SANTIAGO DE ANAYA, HGO.		BERMEJILLO, DGO.	
	<i>P. laevigata</i>	<i>A. schaffneri</i>	<i>P. laevigata</i>	<i>A. farnesiana</i>
LCT μm	32.46	31.92	45.82	36.85
S	2.81	6.91	5.37	5.27

S = Desviación estándar

Cariotipos.

a) *Prosopis*

En los mezquites de ambas poblaciones las fórmulas cariotípicas fueron similares incluyendo 2 pares de cromosomas metacéntricos, 10 pares de cromosomas submetacéntricos y 2 pares de cromosomas subtelocéntricos. Así, $2m + 10 sm + 2 st$ es la fórmula cariotípica de *P. laevigata*. Las tablas 2 y 3 muestran los valores promedio de 5 placas metafásicas. Los 28 cromosomas de *P. laevigata* de Santiago de Anaya y Bermejillo, con sus idiogramas correspondientes, se muestran en las figuras 3 y 4 respectivamente.

Es de señalar que en los complementos cromosómicos de ambas poblaciones fue constante la presencia de un par único de cromosomas con porción satélite, la cual se encuentra en el par subtelocéntrico (st) de mayor magnitud (figs. 3 y 4), siendo la correspondiente constricción secundaria de longitud muy variable, por lo que en algunos campos no fue apreciable. Esta característica fue más conspicua en *P. laevigata* del municipio de Bermejillo.

Por otra parte, el índice de asimetría intracromosómica (Romero, 1986) para *Prosopis laevigata* procedente de Santiago de Anaya, Hgo. fue de 0.9671 y de 0.9651 para la población de Bermejillo, Dgo. describiendo así cariotipos de tipo asimétrico.

Tabla 2. Medidas cromosómicas promedio de *Prosopis laevigata* , Santiago de Anaya, Hidalgo.

No.	LCT μ m	LBL μ m	LBC μ m	r	N
1	1.178	0.687	0.491	1.39	m
2	1.010	0.562	0.448	1.25	m
3	1.542	1.056	0.486	2.17	sm
4	1.398	0.949	0.449	2.11	sm
5	1.293	0.903	0.390	2.31	sm
6	1.216	0.820	0.396	2.07	sm
7	1.105	0.734	0.371	1.97	sm
8	1.068	0.737	0.331	2.22	sm
9	1.033	0.732	0.310	2.33	sm
10	0.981	0.682	0.299	2.28	sm
11	0.951	0.649	0.302	2.14	sm
12	0.895	0.620	0.275	2.25	sm
13	1.182	0.926	0.256	3.61	st *
14	0.920	0.750	0.170	4.41	st

No. = Par cromosómico.

LCT = Longitud Cromosómica Total en μ m.

LBL = Longitud Brazo Largo en μ m.

LBC = Longitud Brazo Corto en μ m.

r = Proporción entre brazos largos y brazos cortos.

N = Nomenclatura cromosómica propuesta por Levan *et al.*, 1964 (m= metacéntrico, sm=submetacéntrico y st= subtelocéntrico).

* = Par cromosómico con porción satélite.

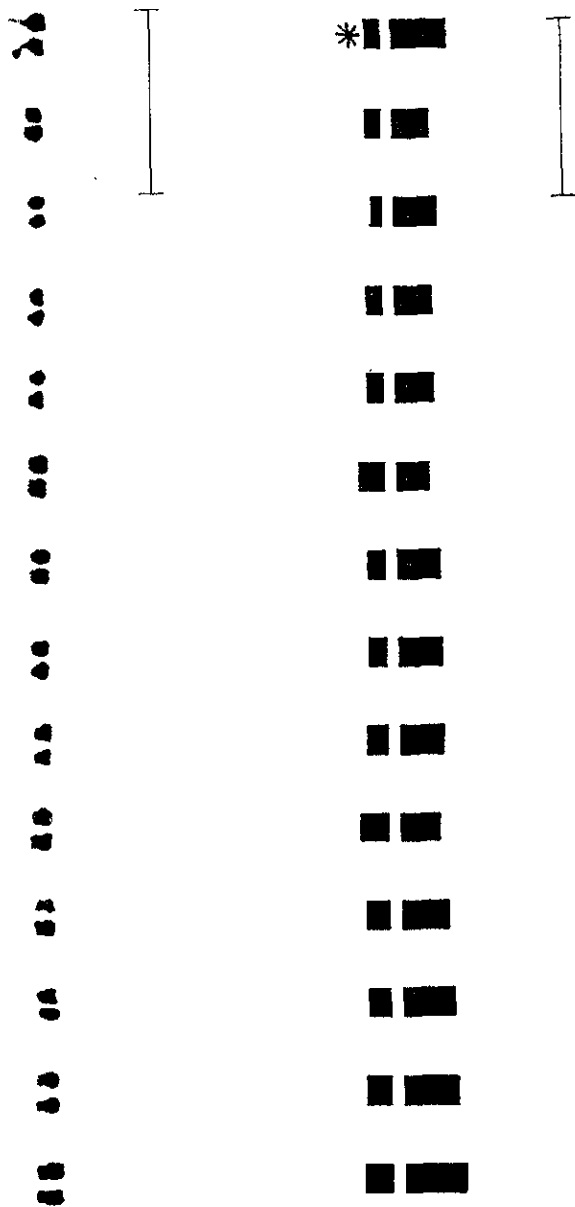


Figura 3. *Prosopis laevigata*. Santiago de Anaya, Hidalgo
 Carotipo: 2m + 10sm + 2st (barra equivalente a 10 μ m)
 Idiograma (barra equivalente a 3 μ m)
 El asterisco indica la porción satélite

Tabla 3. Medidas cromosómicas promedio de *Prosopis laevigata*, Bermejillo, Durango.

No.	LCT μ m	LBL μ m	LBC μ m	r	N
1	1.731	0.953	0.778	1.22	m
2	1.447	0.790	0.657	1.20	m
3	2.220	1.520	0.700	2.17	sm
4	1.946	1.316	0.630	2.08	sm
5	1.873	1.282	0.591	2.16	sm
6	1.809	1.189	0.620	1.91	sm
7	1.692	1.120	0.572	1.95	sm
8	1.625	1.090	0.535	2.03	sm
9	1.589	1.059	0.530	1.99	sm
10	1.540	1.056	0.484	2.18	sm
11	1.471	1.001	0.470	2.12	sm
12	1.367	0.914	0.453	2.01	sm
13	1.901	1.485	0.416	3.56	st *
14	1.363	1.073	0.290	3.70	st

No. = Par cromosómico.

LCT = Longitud Cromosómica Total en μ m.

LBL = Longitud Brazo Largo en μ m.

LBC = Longitud Brazo Corto en μ m.

r = Proporción entre brazos largos y brazos cortos.

N = Nomenclatura cromosómica propuesta por Levan *et al.*, 1964 (m= metacéntrico, sm=submetacéntrico y st= subtelocéntrico).

* = Par cromosómico con porción satélite.

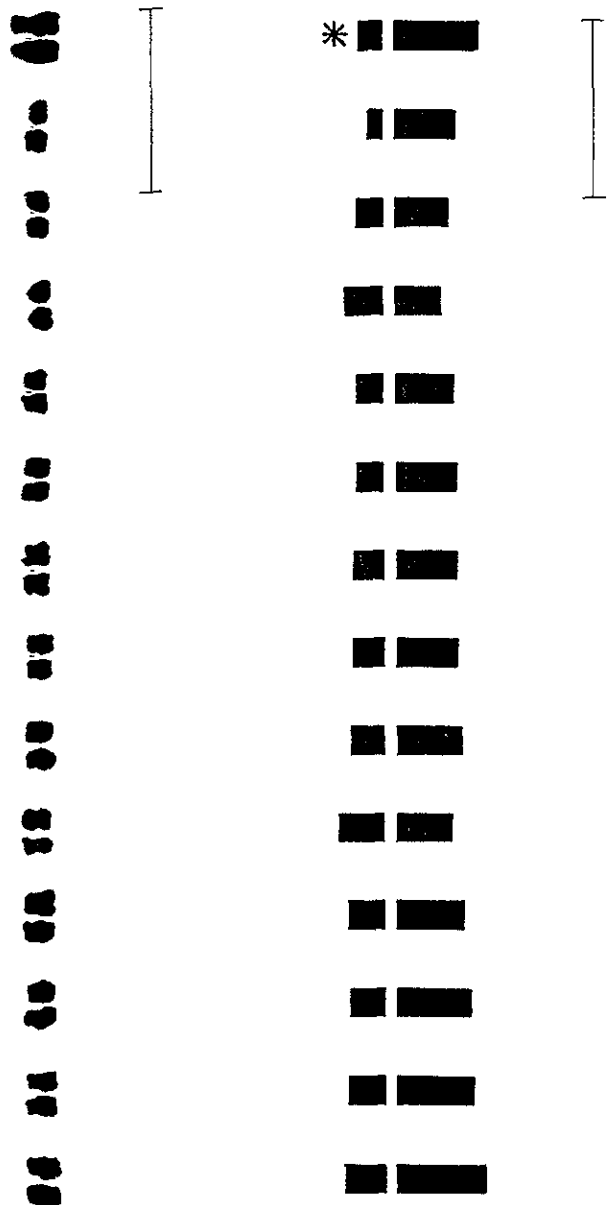


Figura 4. *Prosopis laevigata*. Bermejillo, Durango.
 Cariotipo: $2m + 10sm + 2st$ (barra equivalente a $10 \mu m$)
 Idiograma (barra equivalente a $3 \mu m$)
 El asterisco indica la porción satélite

b) *Acacia*

Por otra parte, la tabla 4 resume las características del complemento cromosómico de *Acacia schaffneri*. Nuevamente siguiendo a Levan *et al.* (1964) el complemento incluye a nueve pares de cromosomas metacéntricos y cuatro pares de cromosomas submetacéntricos. Por tanto $9m + 4sm$ es la fórmula cariotípica propuesta para *A. schaffneri*. Cabe señalar que en esta especie, cuando fue posible visualizar porciones satélite, éstas únicamente se presentaban en un solo par del complemento. El cariotipo y su idiograma correspondiente se muestran en la figura 5. Asimismo, el índice de asimetría intracromosómica (Romero, 1986) fue 0.9431 (asimétrico).

Tabla 4. Medidas cromosómicas promedio de *Acacia schaffneri*, Santiago de Anaya, Hidalgo.

No.	LCT μm	LBL μm	LBC μm	r	N
1	2.296	1.207	1.089	1.10	m
2	1.490	0.789	0.701	1.12	m
3	1.425	0.767	0.658	1.16	m
4	1.390	0.746	0.644	1.15	m
5	1.329	0.726	0.603	1.20	m
6	1.267	0.688	0.579	1.18	m
7	1.203	0.676	0.527	1.28	m
8	1.136	0.611	0.525	1.16	m
9	1.047	0.569	0.478	1.19	m
10	1.465	0.962	0.503	1.91	sm
11	1.429	0.929	0.500	1.85	sm
12	1.282	0.856	0.426	2.00	sm
13	1.106	0.745	0.361	2.06	sm

No. = Par cromosómico.

LCT = Longitud Cromosómica Total en μm .

LBL = Longitud Brazo Largo en μm .

LBC = Longitud Brazo Corto en μm

r = Proporción entre brazos largos y brazos cortos

N = Nomenclatura cromosómica propuesta por Levan *et al.*, 1964 (m=metacéntrico y sm=submetacéntrico)

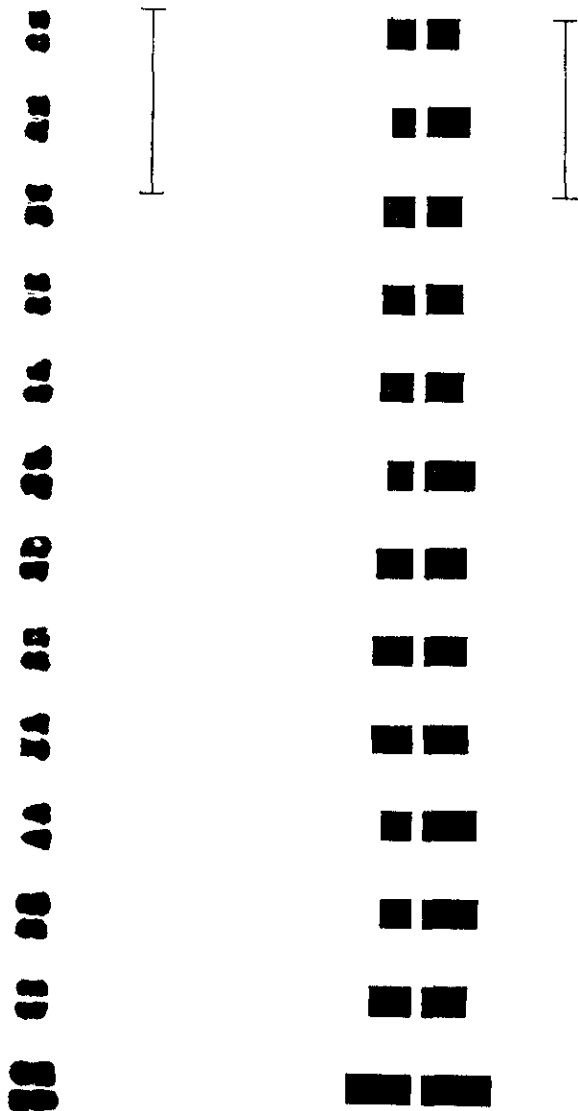


Figura 5. *Acacia schaffneri*. Santiago de Anaya, Hidalgo
 Cariotipo: 9m + 4sm (barra equivalente a 10 μ m).
 Idiograma (barra equivalente a 3 μ m).

En relación a *A. farnesiana* las características de su complemento cromosómico se resumen en la tabla 5. Su fórmula cariotípica incluye 9 pares de cromosomas metacéntricos, 2 pares de cromosomas submetacéntricos y 2 pares de cromosomas subtelocéntricos. En consecuencia, la fórmula cariotípica es $9m + 2sm + 2st$. También fue constante la presencia de un par cromosómico con porción satélite, en este caso correspondiente al par submetacéntrico de mayor magnitud. Cariotipo e idiograma se presentan en la figura 6. Según Romero (1986) el cariotipo es asimétrico (0.9499).

Tabla 5. Medidas cromosómicas promedio de *Acacia farnesiana*, Bermejillo, Durango.

No.	LCT μm	LBL μm	LBC μm	r	N
1	2.362	1.245	1.117	1.11	m
2	1.431	0.801	0.630	1.27	m
3	1.370	0.769	0.601	1.27	m
4	1.349	0.769	0.580	1.32	m
5	1.317	0.759	0.558	1.36	m
6	1.278	0.732	0.546	1.34	m
7	1.240	0.698	0.542	1.28	m
8	1.211	0.678	0.533	1.27	m
9	1.148	0.628	0.520	1.20	m
10	1.627	1.073	0.554	1.93	sm *
11	1.393	0.925	0.468	1.97	sm
12	1.466	1.129	0.337	3.35	st
13	1.177	0.924	0.253	3.65	st

No. = Par cromosómico.

LCT = Longitud Cromosómica Total en μm .

LBL = Longitud Brazo Largo en μm .

LBC = Longitud Brazo Corto en μm .

r = Proporción entre brazos largos y brazos cortos.

N = Nomenclatura cromosómica propuesta por Levan *et al.*, 1964 (m=metacéntrico, sm=submetacéntrico y st= subtelocéntrico).

* = Par cromosómico con porción satélite.

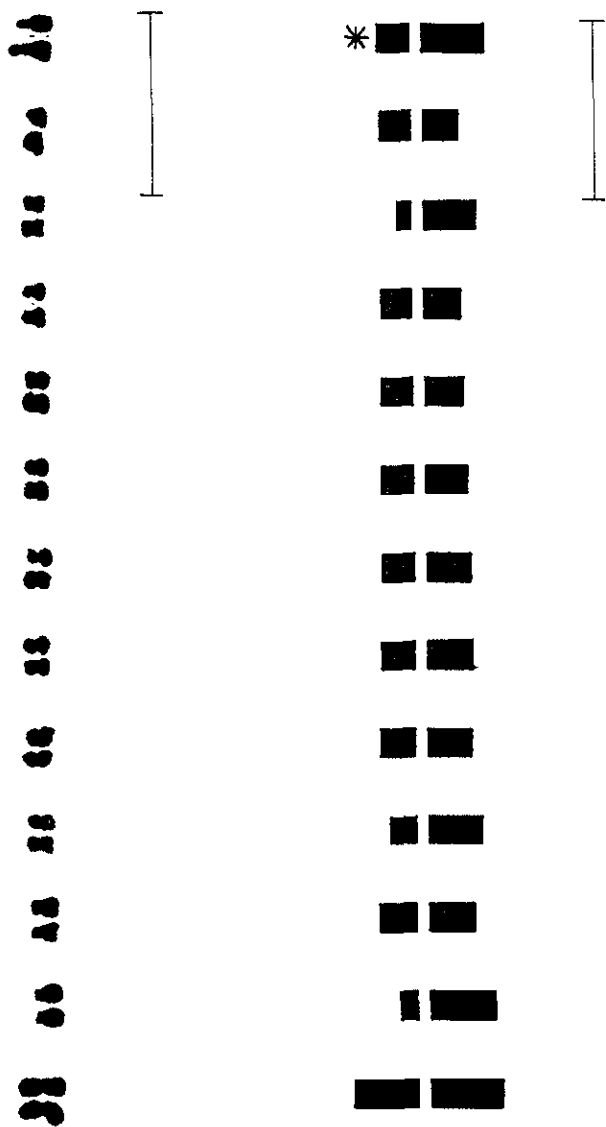


Figura 6. *Acacia farnesiana* Bermejillo, Durango.
 Cariotipo: $9m + 2sm + 2st$ (barra equivalente a $10 \mu m$).
 Idiograma (barra equivalente a $3 \mu m$).
 El asterisco indica la porción satélite.

Peso de las semillas.

En cuanto al carácter peso de la semilla, entre las poblaciones de *Prosopis laevigata* una prueba de comparación de medias (t , $\alpha = 0.01$, $n = 5$) no señaló diferencias significativas entre la población de Santiago de Anaya ($41.56 \pm 6.64\text{mg}$) y la de Bermejillo ($33.08 \pm 7.60\text{ mg}$) (Cuadro 3).

Un comportamiento similar se presentó entre las semillas de *Acacia schaffneri* ($77.00 \pm 7.39\text{ mg}$) y *A. farnesiana* ($66.37 \pm 2.19\text{ mg}$) pues nuevamente el mayor peso correspondió a la especie procedente de Santiago de Anaya (Cuadro 3) sin que ésta diferencia fuera estadísticamente significativa (t , $\alpha = 0.01$, $n = 5$).

Cuadro 3. Peso promedio de las semillas.

	SANTIAGO DE ANAYA, HGO.		BERMEJILLO, DGO.	
	<i>P. laevigata</i>	<i>A. schaffneri</i>	<i>P. laevigata</i>	<i>A. farnesiana</i>
PESO mg	41.56	77.00	33.08	66.37
S	6.64	7.39	7.60	2.19

S = Desviación estándar.

El uso de la metodología de aplastado para la observación de cromosomas de especies vegetales ha sido por mucho tiempo una herramienta fundamental dentro de los estudios citogenéticos, ofreciendo abundante información acerca del comportamiento cromosómico tanto en mitosis como en meiosis, principalmente en especies de interés comercial como es el caso del maíz, arroz, centeno, haba, cebolla, tomate, lenteja y trigo entre otros (García-Velázquez, 1988). Como es bien sabido, los casos anteriores corresponden a plantas cuyos complementos cromosómicos tienen características bastante favorables para el análisis citogenético, a saber, cromosomas grandes y poco numerosos, por lo que también han sido exhaustivamente empleadas en estudios citogenéticos incluyendo aquellos de orden evolutivo. No obstante, también es conocido que la mayor parte de las especies silvestres se caracterizan por poseer cromosomas pequeños y numerosos, situación que ha limitado en cierta medida el alcance de la información obtenida luego de aplicar el procedimiento clásico de aplastado. Lo anterior explica, en parte, que la mayoría de los estudios citogenéticos en estas plantas esté pobremente documentado y se limite al establecimiento del número cromosómico somático de las especies en turno (Atchison, 1948; Hunziker *et al.*, 1975; Turner y Fearing, 1960; Ward, 1984; Castagnaro *et al.*, 1990; Shukor *et al.*, 1994).

La observación de los detalles cromosómicos finos es difícil y en consecuencia la elaboración de los cariotipos fracasa pues en muchos casos la distribución de los cromosomas en el interior del núcleo celular es inadecuada y los cromosomas se observan en dos planos. Tampoco está excluida la posibilidad de conteos cromosómicos erróneos por vecindad de dos núcleos metafásicos con aproximadamente el mismo grado de contracción cromosómica. Además, la evaluación de la talla de los cromosomas es difícil, puesto que muchas veces el tamaño que alcanzan los cromosomas individuales depende de la posición que ocupen al interior del núcleo y de la fuerza que se aplique a la preparación durante el aplastado. Algunos de los inconvenientes señalados anteriormente se presentaron durante los intentos para obtener núcleos metafásicos adecuados para la evaluación citogenética de las especies

estudiadas en este trabajo al aplicar la técnica clásica de aplastado y tinción con orceína-acética, ya que como era de esperarse (Atchison, 1948; Hunziker *et al.*, 1975) los núcleos mitóticos en metafase de *Prosopis laevigata* así como los de *Acacia farnesiana* y *A. schaffneri*, se caracterizaron por poseer cromosomas pequeños y numerosos, dificultándose la interpretación de las imágenes bajo el microscopio.

Las dificultades señaladas han llevado a los citogenetistas a ensayar métodos alternativos para la obtención y análisis de cromosomas vegetales, mismos que toman como punto de partida los avances logrados en la citogenética animal, desde donde se han adaptado técnicas como las de extendido en superficie y secado al aire (Geber y Schweizer, 1987; Hizume *et al.*, 1980; Jamieson *et al.*, 1986). Lo anterior ha permitido ampliar el conocimiento de aquellas especies hasta hace poco consideradas como citogenéticamente desfavorables, ya que se logran preparaciones sustancialmente de mejor calidad, apreciándose claramente características tales como el número cromosómico, la morfología de los cromosomas, presencia de satélites, etc.. Esto posibilita realizar estudios cuyos objetivos incluyan el establecimiento de relaciones filogenéticas, taxonómicas, evolutivas y además abre la posibilidad de realizar análisis donde se evalúan las relaciones genotipo-ambiente.

En efecto, la aplicación de un método de extendido en superficie y secado al aire corroboró para *Prosopis laevigata* y *Acacia schaffneri* un número diploide de $2n = 28$ y $2n = 26$ respectivamente y posibilitó establecer $2n = 26$ para *A. farnesiana*, rectificando la propuesta de Atchison (1948) de $4n = 52$ permitiendo además la elaboración de los cariotipos de las tres especies, mismos que hasta el momento no han sido registrados en la bibliografía especializada.

En el caso particular del género *Prosopis*, los estudios citogenéticos se habían limitado a la comparación del número cromosómico entre las especies incluidas a las cuales se mencionaba como poseedoras de cromosomas que por talla y número impedían la elaboración de cariotipos (Hunziker *et al.*, 1975; Tapia *et al.*, 1999). Por otra parte, Hunziker y colaboradores (1975) y Burkart (1976) hacen mención de la aparente similitud entre los complementos cromosómicos de las especies citogenéticamente

estudiadas y señalan que los procesos de especiación del género *Prosopis* no involucran remodelación cromosómica. Sin embargo, aseveraciones como la anterior sólo quedan en mera especulación cuando no se cuenta con estudios detallados sobre la arquitectura cromosómica. En este sentido, estudios como el presente abren la posibilidad de analizar el papel de la remodelación cromosómica en la especiación de un género.

Por otra parte, la proporción de núcleos diploides observados (Cuadro 1) no deja lugar a dudas sobre el carácter diploide de la especie, mismo que es compartido por las demás especies del género, con excepción quizá de *P. juliflora* (Hunziker *et al.*, 1975) la cual es señalada como una raza tetraploide $4n=56$. A este respecto debe señalarse que en vista de que esta especie fue estudiada empleando el método de aplastado existe la posibilidad de que se trate de un error de conteo producto de las limitaciones inherentes al método previamente señaladas.

En este sentido, vale la pena señalar que en la evaluación de los núcleos poliploides fueron tomados varios criterios para considerarlos como tales: a) la identificación clara de 56 cromosomas, b) adecuada distribución de los mismos y preferentemente circunscritos a un área definida, c) cromosomas con el mismo grado de contracción y d) que el complemento presentara dos pares de cromosomas con satélites. La reunión de las características anteriores evitó totalizar núcleos aparentemente poliploides resultado de una probable fusión de protoplastos.

De esta forma, es importante resaltar que en un estudio previo, Hunziker y colaboradores (1975) analizaron 12 especies sudamericanas de *Prosopis*, entre ellas *P. laevigata* del estado de Hidalgo, y reportaron la presencia de polisomatía en 6 de ellas (*P. algarobilla*, *P. argentina*, *P. hassleri*, *P. nigra*, *P. patagonica* y *P. juliflora*), haciendo énfasis de la ausencia de tal fenómeno en *P. laevigata*, lo cual difiere con los resultados obtenidos en este estudio, en donde para ambas poblaciones de mezquite la proporción es alrededor del 10%. En ese mismo trabajo se hace referencia en particular a *P. juliflora*, especie en la cual la polisomatía representa el 10% para una población colombiana y el 100% en otra procedente de Haití.

Cabe mencionar que este tipo de poliploidía somática intra-individuo, frecuentemente está asociada con el proceso de diferenciación en plantas superiores e incluye partes somáticas conspicuas de la planta, especialmente aquellas células y tejidos con diferentes grados de diferenciación y función. Sin embargo, la condición diploide se mantiene en las células embrionales, ápices, procambium y aquellas líneas celulares que aseguran la continuidad genética de la especie. En general se piensa que niveles fijos de ploidía son característicos de ciertos tejidos (Rieger *et al.* 1991). A este respecto, se debe mencionar que la polisomatía es también frecuente en otros géneros de Mimosoideae (Hunziker *et al.*, 1975 y bibliografía allí citada).

Respecto a las diferencias en las longitudes cromosómicas promedio encontradas entre los mezquites de Durango e Hidalgo podemos señalar que en un estudio previo donde se siguió un gradiente latitudinal y empleando una técnica convencional de aplastado, Tapía *et al.* (1999) registraron diferencias significativas entre las longitudes cromosómicas totales de *P. laevigata* pertenecientes a poblaciones situadas en latitudes intertropicales y templadas. En el mismo trabajo, los autores señalan una posible relación entre un gradiente ecogeográfico y modificaciones en la longitud total de la cromatina en donde además podrían existir adaptaciones correlacionadas con demandas del ambiente físico. Sin embargo, también señalan la necesidad de realizar estudios de mayor extensión que permitan esbozar posibles patrones de remodelación cromosómica resultantes de la estrecha relación genoma-ambiente. En consecuencia, este tipo de estudios deben corroborarse empleando metodologías alternativas como el extendido en superficie y secado al aire que no sólo ofrecen mayor confiabilidad en la evaluación de la talla cromosómica, sino que además ofrecen la oportunidad de comparar cariotipos en busca de cambios en la arquitectura cromosómica interpoblacional, si tales existen.

En efecto, la presente investigación confirma la existencia de diferencias interpoblacionales en la longitud cromosómica total de dos poblaciones de *P. laevigata*, sin que ésta diferencia involucre cambios aparentes en la morfología cromosómica de la especie pues las fórmulas cariotípicas no se ven afectadas (Tablas 2 y 3 y Figuras 3 y

4). De esta manera, queda la posibilidad de que fenómenos de ganancia y/o pérdida de ADN estén en juego cuando *P. laevigata* enfrenta diferentes ambientes dentro de su intervalo de distribución. La propuesta anterior encuentra apoyo en diversas investigaciones que han mostrado la existencia de cambios en el contenido de ADN en especies vegetales en respuesta a factores ambientales (Grime y Mowforth, 1982; Price *et al.*, 1986; Cullis, 1990; Price, 1991).

En efecto, el estrés más efectivo que genera la reorganización cromosómica es el que involucra factores climáticos y ecológicos (Cullis, 1990). Esta afirmación adquiere mayor sentido si consideramos las condiciones ambientales que prevalecen en el Valle del Mezquital, no sólo consecuencias de la aridez, sino de un profundo deterioro ecológico debido al sobrepastoreo, erosión e irregular distribución anual de las lluvias, lo que ocasiona condiciones desfavorables para el establecimiento de la cubierta vegetal (Signoret, 1970; Tapia *et al.*, 1999). Por lo tanto, sería de esperarse una respuesta genotípica en términos de reducción del material genético en los complementos cromosómicos, puesto que bajo la hipótesis nucleotípica, biotipos de bajo contenido de ADN deben seleccionarse en ambientes que favorecen el desarrollo rápido y/o el escape al estrés (Cavallini y Natali, 1991). Evidentemente, este mecanismo de reducción en la longitud cromosómica queda puesto de manifiesto en la especie *P. laevigata* ya que como se ha podido notar existe una diferencia significativa en las longitudes totales.

Además, tales cambios pueden interpretarse como fenómenos de especialización evolutiva y adaptación a ciertos nichos ecológicos (Greenle *et al.*, 1984; Cullis, 1990), ya que cambios de esa naturaleza involucran modificaciones en los ciclos de vida anuales de las plantas. En consecuencia, sería de esperar que una menor longitud cromosómica total promoviera ciclos celulares más cortos y períodos de actividad fenológica más breves, dependientes del nucleotipo (Bennett, 1972; Ledig y Korbobo, 1983).

Al respecto, existen ciertas consideraciones sobre la estabilidad ambiental en relación con el genoma, y se ha propuesto que en ambientes muy variables hay una tendencia a aumentar el contenido de ADN, probablemente para tener un mayor repertorio de respuestas de origen genético u ontogenético que hagan frente a un medio de mayor variabilidad, presuponiendo esto último un cierto nivel de flexibilidad evolutiva (Levin y Funderburg, 1979; Cullis, 1990). Esto último en particular, ajusta bien para explicar la mayor longitud cromosómica total en la población de Bermejillo, pues en nuestro país, las latitudes más norteñas caracterizan a ambientes de mayor variabilidad en el fotoperíodo, marchas diurnas y mensuales de temperatura y humedad, frecuencia de heladas u otras variaciones cíclicas (García, 1988).

Complementando lo anterior diversos estudios han mostrado que en muchos géneros de angiospermas la especiación se acompaña por cambios masivos en la talla cromosómica y cantidad de ADN (Narayan, 1982; Seal y Rees, 1982; Raina y Rees, 1983). Paralelamente, Shukor *et al.* (1994) proponen que las diferencias en longitudes cromosómicas proveen un efectivo método de identificación taxonómica, máxime cuando las diferencias anatómicas son limitadas.

Por otro lado, en nuestro país los estudios citogenéticos sobre el género *Acacia* son escasos (Atchison, 1948; Turner y Fearing, 1960; Ward, 1984; Kuman y Bir, 1985), sin embargo éstos, junto con los resultados obtenidos por otros autores en especies australianas y africanas (Shukor *et al.*, 1994; Mukherjee y Sharma, 1993) confirman a un género con $n=x=13$, en donde además se presentan especies con diferentes niveles de ploidía (52, 104). Aquí conviene señalar que Atchison (1948) revisando las relaciones citogeográficas de aproximadamente 38 especies del género encontró que todas las especies australianas, hindúes y sudamericanas con la excepción de la pantropical *A. farnesiana*, eran diploides con $2n=26$, asimismo reconoce que las especies africanas tropicales conocidas citológicamente son poliploides con $2n=52$, en tanto, entre las especies del oeste asiático y del norte y sur de África se hallan especies diploides y poliploides. Asimismo, en *Acacia*, la única correlación observada entre poliploidía y diversificación específica y geográfica señala que en las especies africanas tropicales

todos los complejos segregantes son poliploides (Atchison, 1948), no existiendo correlación entre poliploidía y agresividad. Otra conclusión vertida por el mismo autor es la inexistencia de diploides pantropicales, aunque algunas tengan intervalos de distribución extensos.

Posteriormente Turner y Fearing (1960) registraron 9 especies norteamericanas y de éstas ocho fueron diploides y una tetraploide. La última, *A. constricta* fue el único taxón tetraploide reportado de los aproximadamente 18 taxa americanos contados hasta ese momento. Años adelante, Kumari y Bir (1985) y Mukherjee y Sharma (1993) nuevamente señalaron a *A. farnesiana* como una especie tetraploide $4n=52$. Lo anterior contrasta con el número cromosómico y nivel de ploidía obtenido para la misma especie en esta investigación, donde luego de totalizar un número elevado de núcleos metafásicos (720) únicamente 178 se observaron como tetraploides, proporción cercana al 25% (Cuadro 1). Cabe remarcar que un método de extendido en superficie y secado al aire como el propuesto en esta investigación tiene la enorme ventaja de suministrar grandes cantidades de núcleos metafásicos en comparación con la técnica clásica de aplastado y que una condición necesaria para establecer con certeza tanto el número cromosómico como el nivel de ploidía de una especie vegetal es precisamente el análisis de una cantidad suficiente de núcleos en metafase típica.

En los trabajos donde se reportó tetraploidía para *A. farnesiana*, los resultados formaron parte de listados de números cromosómicos obtenidos por técnicas de aplastado y no se mencionó el número de núcleos estudiados. La existencia de polisomatía en los ápices radicales de *A. farnesiana* reportada aquí, pone en duda el nivel de ploidía asignado en otros trabajos donde pocas células han sido analizadas. En consecuencia existe la posibilidad de que en *A. farnesiana*, supuestamente tetraploide, fueran observadas únicamente células tetraploides cuando el taxón en realidad es un diploide. Lo anterior colocaría a *A. farnesiana* como una pantropical diploide de muy amplia distribución. Este resultado ubicaría también a la especie dentro del mapa de distribución de especies diploides del género *Acacia* propuesto por Atchison (1948) de donde según el autor debería ser excluida por ser tetraploide. Obviamente los estudios

meióticos sobre esta especie ayudarían al esclarecimiento de esta controversia, así como muestreos más extensos. Por otra parte, la fórmula cariotípica para la especie ($9m + 2sm + 2st$), correspondiente a un cariotipo asimétrico, es la primera propuesta para la especie.

Para el caso particular de *A. schaffneri*, los únicos antecedentes citogenéticos registrados corresponden a Ward (1984) quien sólo menciona el número haploide ($n=13$) y a Turner y Fearing (1960) quienes proporcionaron el número diploide $2n= 26$, ratificado en este trabajo. El fenómeno de polisomatía también fue observado en esta especie, pues de los 317 núcleos revisados, 87 (aproximadamente 27%) fueron tetraploides y menos del 1% hexaploides. Vale la pena señalar que las proporciones anteriores son muy similares a las halladas para *A. farnesiana*, confirmando de manera indirecta para ésta última su registro como especie diploide. Al igual que para *A. farnesiana*, la fórmula cariotípica propuesta aquí para *A. schaffneri* ($9m + 4sm$) correspondiente a un cariotipo asimétrico, también es la primera propuesta para la especie.

Por otra parte, cabe mencionar que la presencia de un par cromosómico con porción satélite no había sido registrada en la literatura para las especies del género, por lo que su presencia como marcador citogenético deberá considerarse en futuros estudios. Destaca también un par de cromosomas más grande que el resto del complemento cromosómico para ambas especies de *Acacia* (Figuras 5 y 6), rasgo que podría ser característico en la evolución de las especies americanas del género. Esto último deberá corroborarse cuando se analicen cariotipos de más especies americanas.

Los resultados obtenidos en *A. farnesiana* y *A. schaffneri* cobran especial significado si recurrimos a Atchison (1948) quien negó un "significado obvio" en los intentos por hallar diferencias morfológicas entre los complementos cromosómicos de las especies de *Acacia*, pues en su opinión éstos eran generalmente similares y con cromosomas demasiado pequeños. El mismo autor justificó esta posición señalando que las funciones ópticas de los instrumentos y de los individuos no son suficientemente constantes para realizar comparaciones precisas.

Por otro lado, estudios previos sobre diversidad genética realizados con aloenzimas en especies australianas e indonésicas han puesto de manifiesto que el género *Acacia* en particular exhibe un gran dinamismo no sólo a nivel estructural sino también a nivel genético, lo cual se ha traducido en marcadas diferencias interpoblacionales generadas incluso como resultado de enfrentar diferentes microhábitats. (Wickneswari y Norwati, 1993; Playford *et al.*, 1993). Asimismo, Muhammad y Khan (1951) al comparar especies australianas y africanas no encuentran diferencias en el número cromosómico somático, sin embargo observan que las acacias australianas poseen cromosomas más largos que las acacias africanas, con cromosomas de longitud mayor a los 3 μm para las primeras y de 1 μm para las últimas, en tanto que las acacias americanas se ubican en una magnitud intermedia 1-3 μm , intervalo dentro del cual se ubicarían las magnitudes cromosómicas de *A. farnesiana* (1.061 - 2.517 μm) y *A. schaffneri* (0.890 - 2.027 μm). Es necesario señalar aquí que si bien las longitudes cromosómicas totales entre ambas acacias no mostraron diferencia estadística significativa, sí se registraron mayores magnitudes en *A. farnesiana* tanto en la longitud cromosómica total como en el intervalo cromosómico. La interpretación de lo anterior podría encontrar el mismo fundamento que el discutido para explicar las diferencias halladas en *Prosopis laevigata* en relación a este parámetro.

Aunque de forma parcial, los resultados obtenidos de estudios citogenéticos en el género *Acacia* (incluido el presente) muestran que la amplia variabilidad genética observada en las especies del género se acompaña también por una importante variabilidad cromosómica. En otras palabras, los datos sugieren que la divergencia y evolución en *Acacia* se acompaña de rearrreglos cromosómicos causados por cambios estructurales.

Por otra parte, se señaló con anterioridad (Atchison, 1948) que era improbable que la ocurrencia de células polisomáticas pudiera suministrar un carácter específico suficientemente constante para usarse como una herramienta en sistemática. Sin embargo, los resultados obtenidos aquí indican que cuando el fenómeno de polisomatía se presenta en un grupo y es constante (alrededor del 10% para *Prosopis* y poco más del 24% en *Acacia*) podría constituir un carácter taxonómico a considerar.

Finalmente, algunos estudios han mostrado una correlación existente entre la cantidad de ADN y peso de la semilla (Bennett, 1972; Davies 1977), sin embargo, en la presente investigación no se observó dicha correlación para ninguna de las especies señaladas. Un caso similar se reportó para *Microseris douglasii*, cuyas plantas mostraron hasta 20% de variación en el contenido de ADN y sin embargo éstos porcentajes no se reflejaron sobre las diferencias en el tamaño del fruto (Price *et al.*, 1986).

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación resta por señalar las siguientes conclusiones:

1. Se confirman los números cromosómicos somáticos reportados para *P. laevigata* ($2n = 28$) y *A. schaffneri* ($2n = 26$) y se rectifica el número cromosómico y nivel de ploidía reportados para *A. farnesiana*, quedando ésta última como una especie diploide $2n = 26$. Un análisis meiótico complementaría de manera definitiva el dato anterior.

2. Este estudio confirma una diferencia significativa ($\alpha = 0.01$) entre las longitudes cromosómicas de poblaciones de *Prosopis laevigata* situadas en regiones geográficas con características climáticas diferentes, siendo un ejemplo más de la estrecha relación genoma-ambiente. Tales cambios no afectan la arquitectura cromosómica de la especie según se evidencia por la fórmulas cariotípicas obtenidas. Si bien la mecánica de tales cambios se explicaría en función de aumentos y/o disminuciones en los contenidos de ADN, se requieren de muestreos más amplios que incluyan otras condiciones (quizás en zonas subtropicales y tropicales) que permitan modelar un patrón de evolución cromosómica más completo.

3. Entre *A. farnesiana* y *A. schaffneri* no existen diferencias estadísticamente significativas ($\alpha = 0.01$) entre sus longitudes cromosómica totales, sin embargo, tanto éste parámetro como el intervalo de longitud cromosómica fue mayor para la primera. Comportamiento relativamente similar al mostrado por las poblaciones de *Prosopis*. Además, los resultados obtenidos indican la presencia de remodelación cromosómica vía diferenciación cariotípica en los procesos de especiación del género. Aunque a primera vista las diferencias climáticas parecen no jugar un papel primordial en la adecuación a sus hábitats esto debe confirmarse en estudios interpopulacionales que involucren a ambas especies.

4. Se puede asegurar que las longitudes cromosómicas muestran plasticidad y que la variación observada en este estudio fue debida a efectos ambientales.

5. En ninguna de las poblaciones estudiadas se pudo establecer una correlación entre la longitud cromosómica total y el peso de las semillas.

6. *Prosopis laevigata* sí presenta polisomatía, en una proporción del 10%.

7. El registro y constancia de características citológicas y cariotípicas propias de las especies estudiadas, tales como los porcentajes de polisomatía y la presencia de satélites, deberán incluirse como caracteres a comparar en futuros estudios citotaxonómicos de los géneros *Prosopis* y *Acacia*.

8. El tamaño notablemente diferente del primer par cromosómico encontrado en las especies de *Acacia* aquí estudiadas podría ser considerado como un marcador citogenético de las especies americanas del género, lo cual también tendrá que ser corroborado en estudios de mayor extensión.

9. La información presentada permite inferir que la longitud cromosómica total es un dato importante en estudios evolutivos, ecológicos y en el análisis de potencial de desarrollo de plantas silvestres útiles.

10. Una metodología de extendido como la empleada aquí ofrece resultados muy superiores al método tradicional de aplastado no sólo en cantidad de núcleos en metafase, sino en la calidad de los cromosomas, pues permite la distribución óptima de éstos en el núcleo y se aprecia el tamaño y forma real de cada uno, prueba de ello es la obtención de los cariotipos e idiogramas correspondientes, siendo ambos las primeras propuestas para las especies señaladas, concretando así la posibilidad de analizar patrones evolutivos en el nivel cromosómico, situación descartada hasta hace poco para estos géneros.

11. Estudios como el presente ofrecen la oportunidad de entender el origen, las interrelaciones y la evolución de la biodiversidad de nuestro país.

- Aguilar, C.A., López, V.M.E. y Xolalpa, M.S.. 1999. Herbolaria Mexicana. México Desconocido No. 5, p 45.
- Atchison, E. 1948, Studies in the Leguminosae. II. Cytogeography of *Acacia* (Tourn.) L. Amer. Jour. Bot. 35 : 651 - 655.
- Ayala, F.J. y Kieger, J.A. 1984. Genética moderna. Fondo Educativo Interamericano. México. 836 pp.
- Bennett, M.D. 1971. The duration of meiosis. Proc. Roy. Soc. Lond. B. 178 : 277 - 299.
- Bennett, M.D. 1972. Nuclear DNA content and minimum generation time in herbaceous plants. Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences 181 : 109 - 135.
- Bennett, M.D. 1976. DNA amount, latitude and crop plant distribution. Environ. Exp. Bot. 16 : 93 - 108.
- Bennett, M.D. y J.B. Smith. 1976. Nuclear DNA amounts in angiosperms. Proc. Roy. Soc. London, Ser. B, 274: 227-274.
- Bennett, M.D., J.B. Smith, J.P. Ward y R.A. Finch. 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.
- Bennett, M.D., J.S. Heslop-Harrison, J.B. Smith y J.P. Ward. 1983. DNA density in mitotic and meiotic metaphase chromosome of plants and animals. J. Cell Sci. 63: 173-179.

- Bennett, M.D.. 1987. Variation in genomic form in plants and its ecological implications. *New Phytol.* 106 (Suppl.) : 177 - 200.
- Bennett, M.D. y I.J. Leitch. 1997. Nuclear DNA amounts in angiosperms - 538. New estimates. *Annals of Botany.* 80 : 169 - 196.
- Bharathan, G. 1996. Reproductive development and nuclear DNA content in angiosperms. *American Journal of Botany* 83 : 440 - 451.
- Bir, S.S. y S. Sidhu. 1967. Cytological observations on the North Indian members of family Leguminosae. *Nucleus (Calcutta)* 10 : 47 - 63.
- Burkart, A. 1976. A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). *Journal of the Arnold Arboretum* 57 : 217 - 249; 450 - 485.
- Castagnaro, A.P., L. Poggio, C.A. Naranjo. 1990. Nuclear DNA content variation in *Phaseolus* (Fabaceae). *Darwiniana* 30 (1-4) : 195 - 200.
- Castronova, A. 1945. Estudio cariológico de dose especies de Leguminosas argentinas. *Darwiniana* 7 : 38 - 57.
- Cavallini, A. y L. Natalí. 1991. Intraspecific variation of nuclear DNA content in plant species. *Caryologia* 44 : 93 - 107.
- Chacalo, H.A. y R .Fernández N. 1995. Los árboles nativos e introducidos utilizados en la reforestación de la Ciudad de México. *Ciencia* 46 : 383-393.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. CONABIO. México. 847 p.
- Chooi, W.Y.1971.Variation in nuclear content in the genus *Vicia*.*Genetics* 68:195-211.
- Conger, A.D. y L.M. Fairchild. 1953. A quick-freeze method for making smear slides permanent. *Stain Technol.* 28: 283.

- Cullis, C.A. 1990. DNA rearrangements in response to environmental stress. *Advances in genetics* 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.
- De Robertis, E.P.D. y E.M.F. De Robertis. 1981. *Biología celular y molecular* . Ed. El Ateneo. Argentina, 613 p.
- de Wet, J.M.J. 1971. Polyploidy and evolution in plants. *Taxon* 20 (1) : 29 - 35.
- Durand, L. 1996. El palo fierro, especie clave del Desierto de Sonora. *Ciencias* 43:24-26.
- FAO. 1982. Las leguminosas en la nutrición humana. *Alimentación y Nutrición, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*, 20, 134 p.
- Farfán, V.E. 1988 Uso actual y perspectiva de dos especies del género *Acacia* en el suroeste de Puebla. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de Chapingo.
- Flores-Villela, O. y P. Gerez. 1994. Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso de suelo. CONABIO y UNAM. México.
- Galindo, A.S. 1986. Hibridación natural en el mezquite (*Prosopis laevigata* y *Prosopis glandulosa* var. *torreyana*) de la altiplanicie de San Luis Potosí. Tesis, maestría en ciencias, Centro de Botánica, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Estado de México. 112 p.
- Galindo, A.S., M.E. García y T.L. Wendt. 1992. Potencial de hibridación natural en el mezquite (*Prosopis laevigata* y *P. glandulosa* var. *Torreyana*, Leguminosae) de la altiplanicie de San Luis Potosí. *Acta Botánica Mexicana* 20 : 101 - 117.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, U.N.A.M. México. 220 p.

- García - Velázquez A. 1988. Técnicas y procedimientos de citogenética vegetal. UACH, México. 196 p.
- Geber, G. and D. Schweizer. 1987. Cytochemical heterochromatin differentiation in *Sinapis alba* (Cruciferae) using a simple air-drying technique for producing chromosome spreads. *Pl. Syst. Evol.* 158: 97-106.
- Ghimpu, V. 1929. Contribution à l'étude chromosomique des *Acacia*. *Comp. Rend. l'Acad. Sci., Paris* 187 : 1429 - 1431.
- Gómez, L.F., P.J. Signoret, y M.C. Abuín. 1970. Mezquites y Huizaches. Ediciones del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables A.C. México. 192 p.
- Grant, W.F. 1976. The evolution of karyotype and polyploidy in arboreal plants. *Taxon* 25 : 75 - 84.
- Grant, W.F. 1987. Genome differentiation in higher plants, in: *Differentiation patterns in higher plants*, Urbanska KM (Ed.) Academic Press, London.
- Greenlee, J.K., K.S. Rai y A.D. Floyd. 1984. Intraspecific variation in nuclear DNA content in *Collinsia verna* Nutt. (Scrophulariaceae). *Heredity* 52 : 235 - 242.
- Grime, J.P. y M.A. Mowforth. 1982. Variation in genome size - an ecological interpretation. *Nature* 299 : 151 - 153.
- Heslop-Harrison, J 1964. Forty years of genecology. *Adv Ecol Rech* 2 : 159 - 247.
- Hinegardner, R. 1976. Evolution of genome size. In Ayala, F.J. (ed.) *Molecular evolution* Sinauer Assoc., Inc. Sunderland.
- Hizume, M., S.Sato and A.Tanaka. 1980. A highly reproducible method of nucleolus organizing regions staining in plants. *Stain Technol.* 55. 87-90.

- Hunziker, J.H., L. Poggio, C.A. Naranjo, R.A. Palacios y A.B. Andrada. 1975. Cytogenetics of some species and natural hybrids in *Prosopis* (Leguminosae). *Canadian Journal of Genetics and Cytology* 17 : 253 - 262.
- Hunziker, J.H., B.O. Saidman, C.A. Naranjo, R.A. Palacios, L. Poggio y A.D. Burghardt. 1986. Hybridization and genetic variation of Argentine species of *Prosopis*. *Forest Ecology and Management* 16 : 301 - 315.
- Jackson, R.C. 1971. The karyotype in systematics. *Annual Review of Ecology and Systematics*. Vol 2 : 327 - 367.
- Jamieson, G., I.J. Evans and S.R. Barnes. 1986. An enzymic method of preparing plant chromosomes for in situ hybridization. *Stain Technol.* 61: 21-25.
- Joly, H.I., M. Zeh-Nio, P. Danthu and C. Aygalent. 1992. Population genetics of an African Acacia, *Acacia albida*. I. Genetic diversity of populations from West Africa. *Aust. J. Bot.* 40 : 59 - 73.
- Kenton, A.Y. 1984. Chromosome evolution in the *Gibasis linearis* group (Commelinaceae). III. DNA variation, chromosome evolution, and speciation in *G. venustula* and *G. heterophylla*. *Chromosoma* 90 : 303 - 310.
- 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. *In*: G. Palomino H. (ed.). III Seminario Maximino Martínez. 1986. La aplicación de la citogenética en el conocimiento biológico de los recursos vegetales en México. Jardín Botánico. UNAM. México. pp 11-36.
- Kenton, A.Y. y C.A. Heywood. 1984. Cytological studies in South American Iridaceae. *Plant Systematics and Evolution* 144 : 221 - 240.
- Kenton, A.Y., P.J. Rudall y A.R. Johnson. 1986. Genome size variation in *Sisyrinchium* L. (Iridaceae) and its relationship to phenotype and habitat. *Bot. Gaz. (Crawfordsville)* 147 (3) : 342 - 354.

- Kumari, S. y S.S. Bir. 1985. Karyomorphological evolution in Mimosaceae. *J. Cytol. Genet.* 20 : 16 - 35.
- Ledig, F.T. y D.R. Korbobo. 1983. Adaptation of sugar maple populations along altitudinal gradients : photosynthesis, respiration and specific leaf weight. *Amer. Jour. Bot.* 70 : 256 - 265.
- Levan, A., K. Fredga y A.A. Sandberg. 1964. Nomenclature for centromeric position on chromosomes. *Hereditas* 52 : 201 - 219.
- Levin, D.A. y S.W. Funderburg. 1979. Genome size in angiosperms temperate versus tropical species. *American Naturalist* 114 : 784 - 795.
- Masterson, J. 1994. Stomatal size in fossil plants: evidence for polyploidy in majority of angiosperms. *Science* 264 : 421 - 424.
- Mc Vaugh, R. 1987. *Flora Novo-Galiciana. Vol. 5 Leguminosae.* Ann Arbor The University of Michigan Press.
- Muhammad, I. y R. Khan. 1951. Study of somatic chromosomes in some *Acacia* species and hybrids. *The Pakistan J. or For.* 1 : 326 - 340.
- Mukherjee, S. y A.K. Sharma. 1993. *In situ* nuclear DNA content in perennial fast and slow growing acacias from arid zones. *Cytobios* 75 : 33 - 36.
- Nagl, W. y Ehrendorfer, F. 1974. DNA content, heterochromatin, mitotic index, and growth in perennial and annual Anthemideae (Asteraceae). *Plant Syst. Evol.* 123:35-54.
- Narayan, R.K.J. 1982. Discontinuous DNA variation in the evolution of plant species: The genus *Lathyrus*. *Evolution* 36 : 877 - 891.
- Niembro, R.A.. 1990. Árboles y arbustos útiles de México. Naturales e introducidos. Ed. Limusa. México. 206 p.

- Nishikawa, K., Y. Furura y H. Endo. 1979. Consideration of the chromosome evolution on the basis of nuclear DNA content and total chromosome length in *Lycoris*. Japanese Journal of Genetics. 54 : 387 - 396.
- Olgún, P.E. 1994. Evaluación y optimización del uso de la leña. Instituto de Ecología. México. 75 p.
- Ortega, P.R., G. Palomino H., F. Castillo G., V.A. González H. y M. Livera M. (eds.) 1991. Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México. SOMEFI. Chapingo, México.
- Palomino, H.G. 1986. Estudios citogenéticos como apoyo al conocimiento de los recursos genéticos. In: La aplicación de la citogenética en el conocimiento de los recursos vegetales en México. III Seminario Maximino Martínez. Jardín Botánico del Instituto de Biología, UNAM. 1 - 10 p.
- Pímiента, B.E., C. Robles M. y A. Domínguez de la T. 1995. Estrategias fisiológicas y reproductivas de adaptación del pitayo a la aridez. Ciencia 46 : 339-349.
- Playford, J., J.C. Bell y G.F. Moran. 1993. A mayor disjunction in genetic diversity over the geographic range of *Acacia melanoxylon* R. Br. Aust. J. Bot. 41 : 355 - 368.
- Poggio, L., A.F. Wulff y J.H. Hunziker. 1986. Chromosome size, nuclear volume and DNA content in *Bulnesia* (Zygophyllaceae). Darwiniana 27 : 25 - 38.
- Poggio, L. y C.A. Naranjo. 1990. Contenido de ADN y evolución en plantas superiores. Acad. Nac. Cs. Ex. Fis. Nat. Buenos Aires, Monografía 5 : 27-37.
- Poggio, L., J.H. Hunziker y A.F. Wulff. 1992. Cariotipo y contenido de ADN nuclear de *Pintoa chilensis* y *Sisyndite spartea* (Zygophyllaceae). Darwiniana 31 : 11 - 15.
- Polhill, R.M. y P.H. Raven. 1981. Cytology and the phylogeny of Leguminosae 427-463. In: RM Polhill y PH Raven (eds). Advances in Legume Systematics. Vol. 2, Proceedings of the International legume Conference at Kew, England. 1978. Her Majesty's Stationary Office, London.

- Price, H.J., A.H. Sparrow y A.F., Nauman. 1973. Correlations between nuclear volume, cell volume, and DNA content in meristematic cells of herbaceous angiosperms. *Experientia* 29 : 1028 - 1029.
- Price, H.J.. 1976. Evolution for DNA content in higher plants. *Bot Rev* 42 : 27-57.
- Price, H.J., J.L., Chambers, K. Bachmann y J. Riggs. 1986. Patterns of mean nuclear DNA content in *Microseris douglasii* (Asteraceae) populations. *Botanical Gazette (Crawfordsville)* 147 : 496 - 507.
- Price, H.J. 1988. Nuclear DNA content variation within angiosperm species. *Evol. Trends in Plants* 2 (1) : 53 - 60.
- Price, H.J.. 1991. Genomic stress, genome size and plant adaptation. In: Taylor GE, LF Pitelka y MT Clegg (eds.). 1991. *Ecological genetics and air pollution*. Springer - Verlag, New York. 359 p.
- Raina, S.N. y H. Rees. 1983. DNA variation between and within chromosome complements of *Vicia* species. *Heredity* 51 : 335 - 346.
- Rees, H., F.M. Cameron, M.H. Hazarika y G.H. Jones. 1966. Nuclear variation between diploid angiosperms. *Nature* 211 : 828 - 830.
- Rees, H. y M.H., Hazarika. 1967. Chromosome evolution in *Lathyrus*. In Darlington CD y KR Lewis (eds.) *Chromosomes Today* vol 2. Plenum Press, New York.
- Rees, H. y A., Durrant. 1986. Recombination and genome size. *Theoretical and Applied Genetics* 73 : 72 - 76.
- Renzaglia K.S., E.M Rasch y L.M. Pike. 1995. Estimates of nuclear DNA content in bryophyte sperm cells: phylogenetic considerations. *Amer. Jour. of Bot.* 82(1) : 18 - 25
- Rieger, R., A., Michaelis y M.M., Green. 1991. *Glossary of genetics classical and molecular*. 5a. ed. Springer - Verlag, Berlin. 253 p.

- Rico, A.M. de L. 1980. El género *ACACIA* (Leguminosae) en Oaxaca. Tesis de Licenciatura. UNAM.
- Rico, A.M. de L. 1984. The genus *Acacia* in Mexico. Bull. IGSM 12 : 50 - 59.
- Rico, A.M. de L. 1994. Nueva especie mirmecófila de *Acacia* (Leguminosae) de la península de Yucatán, México. Acta Botánica Mexicana. 26 : 7 - 10.
- Romahn, C.F.. 1992. Principales productos forestales no maderables de México. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 376 pp.
- Romero, Z.C.. 1986. A new method for estimating karyotype asymmetry. Taxon 35 (3):526 - 530.
- Rzedowski, J.. 1988. Análisis de la distribución geográfica del complejo *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae) en Norteamérica. Acta Botánica Mexicana, 3:7-19.
- Rzedowski, J.. 1991 a. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. Acta Botánica Mexicana 14 : 3-21.
- Rzedowski, J..1991 b. El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. Acta Botánica Mexicana 15 : 47-64.
- SARH. 1992. Inventario Nacional Forestal de Gran Visión. México, 1991-1992. SARH-Subsecretaría Forestal. D.F.
- Salimuddin y B. Ramesh. 1994. Karyotype, nuclear and chromosomal DNA variation in *Lens culinaris* Med. Cytologia. 59 : 7 - 15.
- Santander, G.R.1976. Introducción a la Citogenética humana. Ed. Aguilar, España.304 p.
- Schinini, A. 1981. Contribución a la flora de Paraguay. Bonplandia 5: 101-108.
- Seal, A.G. y H., Rees. 1982. The distribution of quantitative DNA changes associated with the evolution of diploid Festuceae. Heredity 49 : 179 - 190.

- Shukor, N.A.Ab., M.Abd Rashid. y K. Itam. 1994. Karyotypic comparison of *Acacia mangium* Willd., *A. auriculiformis* A. Cunn. Ex Benth and their F₁ and F₂ hybrids. *Silvae Genetica* 43 ; 2-3 : 65-68.
- Signoret, P.J. 1970. Datos sobre algunas características ecológicas del mezquite (*Prosopis laevigata*) y su aprovechamiento en el Valle del Mezquital, *In* :F. Gómez, J. Signoret, y C. Abuin. (ed.). Mezquites y huizaches, algunos aspectos de la ecología y taxonomía de los géneros *Prosopis* y *Acacia* en México. I.M.R.N.R.México.pp 73-145.
- Sims, L.E. y Price, H.J. 1985. Nuclear DNA content variation in *Helianthus* (Asteraceae). *Am. J. Bot.* 72 : 1213 -1219.
- Smith, J.B. y M.D., Bennett. 1975. DNA variation in the genus *Ranunculus*. *Heredity* 35 : 231 - 239.
- Solbrig, O.T. 1972.The floristic disjunctions between the "Monte" in Argentina and the "Sonoran desert" in Mexico and the United States. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 59: 218 -223.
- Sousa, S.M. y S.A. Delgado. 1998. Leguminosas mexicanas: fitogeografía, endemismo y orígenes. En: *Diversidad Biológica de México. Orígenes y Distribución.* Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A y Fa J compiladores. Instituto de Biología, UNAM. México. pp 449-500.
- Swanson, C.P., T. Merz, y W.J. Young. 1981. *Cytogenetics*. 2ª edición. Prentice Hall, E.U.A. 551 pp.
- Tapia, P.F.. 1998. Extendido bidimensional en citogenética vegetal. 1er. Foro de Innovación Tecnológica. 17 - 19 de Noviembre. FES - ZARAGOZA, UNAM.
- Tapia, P.F., Mercado R.P. y Monroy A.A. 1999. Cambios en la longitud cromosómica en 3 poblaciones de *Prosopis laevigata* (FABACEAE). Implicaciones genecológicas y evolutivas. *Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica* 70(1) : 13 - 28.

- Thomas, C.A. 1971. The genetic organization of chromosomes. *Annual Review of Genetics* 5 : 237 - 256.
- Thompson, K. 1990. Genome size, seed size and germination temperature in herbaceous angiosperms. *Evolutionary Trends in Plants* 4 : 113 - 116.
- Turner, B.L. y O.S., Fearing. 1960. Chromosome numbers in the Leguminosae. III. Species of the southwestern United States and Mexico. *Amer. Jour. Bot.* 47:603 - 608.
- Van't Hof, J. y A.H., Sparrow. 1963. A relationship between DNA content, nuclear volume and minimum mitotic cycle time. *P.N.A.S. USA* 49, 897 - 902.
- Walbot, V. y C.A., Cullis. 1985. Rapid genomic change in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 36 : 367 - 396.
- Ward, D.E. 1984. Chromosome counts from New Mexico and Mexico. *Phytologia* 56:55-60.
- Watson, J.D. 1983. *Biología molecular del gen*. Fondo Educativo Interamericano. 3ª edición. 739 pp.
- Wickneswari, R. y M. Norwati. 1993. Genetic diversity of natural populations of *Acacia auriculiformis*. *Aust. J. Bot.* 41 : 65 - 77.

DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO

Debido a la situación de la República Mexicana con respecto a la zona subtropical de alta presión, y a la orientación general de sus sierras, existen en nuestro país, especialmente en su mitad septentrional, amplias regiones con climas secos o áridos (*BS* o *BW*) (García, 1988).

Los climas *BW* (muy áridos) se localizan en la parte norte de la Altiplanicie Mexicana a altitudes menores de 1500 m, así como en la porción de la llanura costera del Pacífico y en las zonas litorales de la península de Baja California (García, 1988). Los climas *BS* (secos) se encuentran bordeando a los *BW* en la parte norte de la Altiplanicie, así como en los declives de la Sierra Madre Occidental y en la porción central y noroeste de Baja California. Se extienden, además, en las zonas interiores del centro y sur del país que se encuentran menos expuestas a la influencia de los vientos húmedos del mar (García, 1988).

Bermejillo, Edo. de Durango.

La superficie del estado de Durango es de 119 648 km² en donde se encuentran distribuidos 19 tipos de vegetación y debido a que la producción forestal es una de las actividades más importantes del estado, la extensión de los bosques tropicales ha ido disminuyendo, en tanto que los matorrales xerófilos han aumentado en un 14.4%, ocupando ya cerca del 38% de la superficie estatal. La flora de Durango incluye alrededor de 3,630 especies y subespecies. La zona árida duranguense forma parte del desierto chihuahuense, el cual presenta un alto número de endemismos (Flores-Villela y Gerez, 1994).

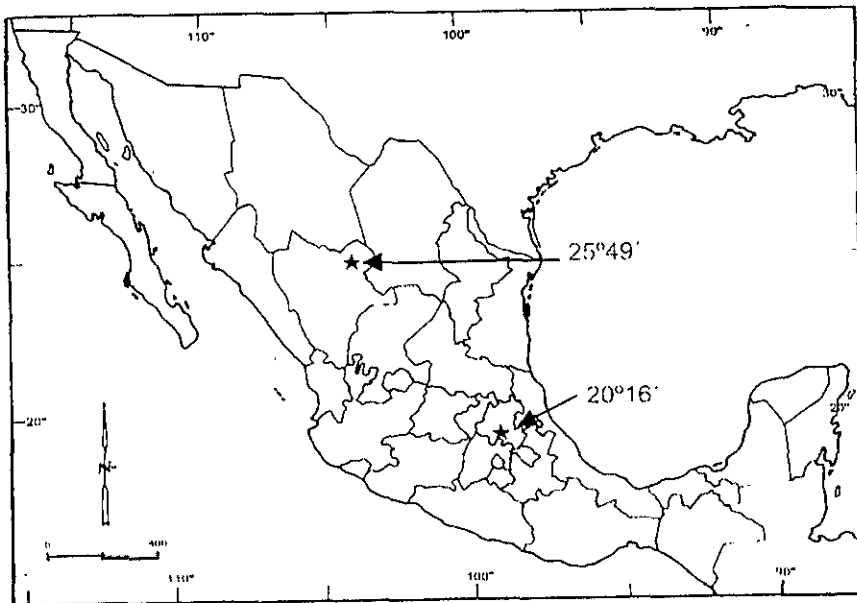
El municipio de Bermejillo se localiza a 25° 49' latitud norte y a 1325 msnm (mapa 1). El clima en esta región se caracteriza por ser de tipo seco cálido *BW*hw(w)(e), con temperatura media anual de 18.6° C y precipitación media anual de 261 mm. La oscilación anual de temperaturas medias anuales corresponde a 10.5° C con un índice de humedad (precipitación / temperatura) de 14.0 (García, 1988).

Santiago de Anaya, Edo. de Hidalgo.

La extensión del estado de Hidalgo es de 20 987 km² y pueden distinguirse 14 tipos de vegetación, 2 hábitats diversos y 3 cuerpos de agua. Los matorrales xerófilos representan el 21.77% de la superficie del estado (Flores-Villela y Gerez 1994).

Santiago de Anaya se sitúa a 2019 msnm y a 20° 16' latitud norte (mapa 1), con clima característico de tipo BS1kw(i') gw " (Templado con verano cálido). En este municipio la temperatura media anual es de 16.7° C con precipitación media anual de 435 mm y oscilación anual de temperaturas medias anuales de 6.6° C. El índice de humedad (precipitación / temperatura) corresponde a 25.9 (García, 1988).

Actualmente, la característica de esta zona que salta a primera vista es la aridez, causada principalmente por la erosión del suelo y la irregular distribución anual de la precipitación. La destrucción de la vegetación se debe al desmonte de los cerros para la agricultura, a la industria minera y del barro, al uso de leña para el hogar y al sobrepastoreo, lo que ocasiona además la falta de retención de agua y la invasión de estos sitios por nopales y magueyes (Gómez *et al.* 1970).



Mapa 1