

94 2EJ.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

COMPARACION DE CARIOTIPOS DE CINCO ESPECIES DE DOS SUBGENEROS DE *Datura* EN MEXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

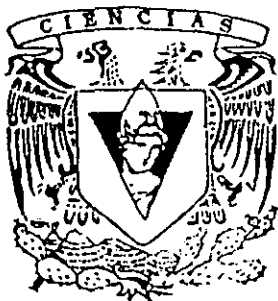
B I O L O G A

P R E S E N T A

ILIANA RAMIREZ KRAUSS

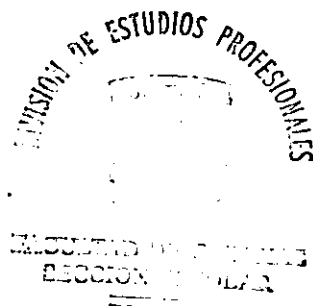
270502

DIRECTOR DE TESIS: Dr. ROBERT A. BYE BOETTLER



MEXICO, D. F.

1999



TESIS CON
'ALLA EL ...



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
P r e s e n t e

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:

"Comparación de cariotipos de cinco especies de dos subgéneros de Datura en México"

realizado por Iliana Ramírez Krauss

con número de cuenta 8723503-6 , pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis

Propietario Dr. Robert A. Bye Boettler

Propietario M. en C. Pedro Mercado Ruaro

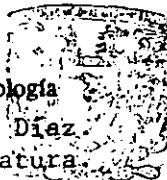
Propietario M. en C. Angélica Ramírez Roa

Suplente Dra. Patricia Ramos Morales.

Suplente M. en C. Nelly Diego Pérez

[Handwritten signatures]
FACULTAD DE CIENCIAS
U.N.A.M.

Edna M. Suarez D.
Consejo Departamental de Biología
Dra. Edna María Suarez Díaz
Coordinadora de Licenciatura



DEPARTAMENTO
DE BIOLOGIA

DEDICATORIA

A mi madre: Patricia Krauss Monter por todo el apoyo brindado durante la realización de mis estudios y esta tesis (Gracias por comprar el boleto).

A mis hermanos: Armando y Alfredo Ramírez Krauss por su apoyo moral

A mis amigas de toda la vida: Elba Hinojosa, Catalina Jimenez y Renata Rosales quienes me brindaron su estímulo y apoyo moral.

A Elvira Yáñez Guerrero por todo su apoyo moral y estímulo brindado

Y en especial a Vladimir Rangel M quien con paciencia y cariño me estimuló para concluir esta tesis.

El presente trabajo se llevó a cabo bajo la dirección del Dr. Robert A. Bye Bottler. Se desarrolló en el invernadero del Laboratorio de Etnobotánica, el Laboratorio de Citogenética, el Laboratorio de Apoyo a la Investigación y el área de Computo del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM, así como en Laboratorio de Fanerogamia del mismo Instituto.

Recibió apoyo económico y logístico del Proyecto P008 “Biodiversidad de *Datura* (Solanaceae) México” (Robert Bye B.) de La Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad CONABIO 1994-1995, del cual formó parte esta Tesis.

Recibió también apoyo del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) al ser becario como “Ayudante de Investigador Nacional Nivel III” del Dr. Robert Bye Boettler en el periodo de 1995-1997.

Mis más sinceros agradecimientos:

Al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) al nombrarme becario como "Ayudante de investigador Nacional Nivel III (Robert Bye)" para la realización de este trabajo.

A la Comisión Nacional para el uso de la Biodiversidad CONABIO por su apoyo económico y logístico al proyecto P008 al Proyecto de "Biodiversidad de *Datura* (Solanaceae) México", dirigido por el Dr. Robert Bye B. Del cual formó parte esta Tesis.

Al Dr. Robert Bye Boettler por su paciencia y dedicación a la dirección de esta tesis y en general por su gran apoyo hacia mi persona.

Al M. en C. Pedro Mercado Ruaro por su apoyo para la realización del trabajo fotográfico, sus enseñanzas y comentarios durante la realización de este trabajo en Laboratorio de Fanerogamia del Instituto de Biología de la UNAM y por su tiempo y dedicación a la revisión del mismo.

A la M. en C. Angélica Ramírez Roa por su valiosa colaboración en la revisión de esta Tesis

A la Dra. Patricia Ramos Morales por su colaboración en la revisión de esta Tesis y por sus valiosos comentarios.

A la M. en C. Nelly Diego Pérez por su apoyo y colaboración en la revisión de este trabajo.

A la Biol. Esthela Sandoval Zapotitla titular del Laboratorio de Apoyo hacia la Investigación del Jardín Botánico de la UNAM y a todo el personal que labora en este Laboratorio por su excelente apoyo y estímulo durante la realización de este trabajo.

Al Biol. Jorge Saldivar Sandoval Técnico Académico responsable del área de Computo del Jardín Botánico de la UNAM, por su asesoría en el manejo de las imágenes para la elaboración de los cariotipos y por la edición final en computadora.

A la Dra. Guadalupe Palomino Hasbach por su apoyo y colaboración en la realización de este trabajo en el Laboratorio de Citogenética del Jardín Botánico de la UNAM.

Al Dr. Martin Ricker por su apoyo brindado en el rubro estadístico para este trabajo.

A todas las personas que de alguna u otra manera han contribuido a que este trabajo se vea concluido.

Contenido

I. RESÚMEN	3
II. INTRODUCCION	3
Importancia de <i>Datura</i> en México	3
Antecedentes	5
Taxonomía	5
Cromosomas y <i>Datura</i>	7
Cromosomas y Taxonomía	8
Objetivos	14
Hipótesis	14
III. METODOLOGÍA	15
Semillas	15
Germinación	15
Técnica de Mitosis	16
Elaboración de Cariotipos	17
Aplicación de pruebas estadísticas	19
Descripción de las Especies Estudiadas	20
Descripción	20
Distribución en México	20
IV. RESULTADOS	26
V. DISCUSIÓN	39
VI. CONCLUSIONES	42
VII. BIBLIOGRAFIA	43

Resumen

El presente trabajo muestra el análisis cariotípico de cinco especies de dos subgéneros de *Datura*: *D. discolor*, *D. inoxia*, *D. metel*, *D. stramonium* y *D. quercifolia*, de esta última especie se reporta por vez primera el cariotipo e idiograma.

El género *Datura* es conocido comúnmente con el nombre de toloache y se caracteriza por la presencia de alcaloides en todas las partes de la planta. México se considera el centro de origen y distribución de este género, el cual tiene gran importancia etnobotánica y médica. El presente estudio se realizó para apoyar al conocimiento de la biosistemática del género

Para el estudio de los cromosomas se realizó un pretratamiento en ápices radicales con una solución acuosa de 8-hidroxiquinoleína 0.002 M 5 horas a 18°C. Posteriormente se fijaron en solución Farmer. La tinción fue con Feulgen luego de hidrolizar los ápices en HCl 1N a 60°C por 10 minutos. Se elaboraron el cariotipo e idiograma de las cinco especies de *Datura* para posteriormente analizar y discutir los resultados de los siguientes parámetros: longitud total de la cromatina, presencia de cromosomas con constricción secundaria, índices de asimetría (F% y TF%) y número fundamental. Se confirmó el número cromosómico de $2n = 24$ y el número fundamental (n. f.) = 24. Las cinco especies presentan en su totalidad cromosomas metacéntricos, un par de cromosomas con satélites (constricciones secundarias). No se observaron cromosomas supernumerarios ni poliploidías. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las 5 especies en estudio. Se relacionaron, en cuanto a longitud del genoma se refiere, *D. discolor* con *D. inoxia* (siendo éstas las de mayor tamaño con respecto a las otras especies) y *D. quercifolia* con *D. stramonium* (siendo las que presentaron el genoma menor). *Datura metel* se ubicó en un punto intermedio sin estar relacionada estadísticamente con ninguna de las especies analizadas. No hay similitudes entre *D. stramonium* y *D. discolor*.

INTRODUCCIÓN

Importancia de *Datura* en México

Datura L. (Solanaceae) es un género del Nuevo Mundo con una distribución natural relativamente restringida a México, extendiéndose tan lejos como el sudoeste de los Estados Unidos en el norte y Centro América en el sur (Symon & Haegi, 1991), toda esta región corresponde a Megaméxico (Rzedowski, 1983). A partir de la conquista, algunas especies tienen una distribución amplia en el mundo como una maleza, por ejemplo *D. stramonium* o cultivada, como lo es *D. metel* (Holm *et al.*, 1977; Symon & Haegi, 1991).

En la mayor parte de México las especies del género *Datura* son muy conocidas y utilizadas por la gente. Se les conoce con varios nombres comunes: toloache, hierba del diablo, hierba hedionda, toloahi, toloatzin, tolohuatzihuitl, entre otros (Díaz, 1976). Como resultado de su alto valor comercial y también cultural, esta planta ha sido estudiada genética y químicamente.

Desde antes de la conquista de México en 1520, *Datura* se emplea como medicamento por lo que los toloaches poseen gran importancia económica y etnobotánica dentro de las plantas medicinales existentes en México. Los códices Badiano, de la Cruz, Florentino y "La Historia Natural de la Nueva España" de Francisco Hernández hacen referencia a *D. stramonium*, *D. inoxia*, y *D. ceratocaula*, las que fueron usadas por sus propiedades medicinales y psicotrópicas (Bye, 1982). Entre los usos más comunes hoy en día, se encuentra el tratamiento de enfermedades de la piel, hemorroides, várices, úlceras e inflamaciones (Bye y Linares, 1987).

De entre las plantas medicinales con importancia económica, el género *Datura* es reconocido médicamente por su alto contenido de alcaloides que presenta en toda la estructura de la planta (Avery *et al.*, 1959), entre los que predominan los derivados del núcleo tropano: hiosciamina, escoploamina y atropina. Las concentraciones de estos compuestos pueden variar dependiendo del estadio ontogénico en que se encuentre el embrión o plántula y de las condiciones del medio ambiente. La concentración de alcaloides es diferente también de una especie a otra y depende además del órgano analizado (Brachet & Ducourtioux 1981). La atropina es un alcaloide que presentan las especies de *Datura* y es ampliamente empleado por la medicina para dilatar la pupila y contrarrestar el efecto provocado por la morfina (Avery *et al.*, 1959).

Si la planta es ingerida, los síntomas son somnolencia, falta de lucidez, desorientación, percepción distorsionada y demencia. Estos efectos eran

conocidos por las tribus indígenas de América y la planta era utilizada en las ceremonias religiosas, en la adivinación oracular y en la predicción de eventos futuros. Los Aztecas utilizaban a *D. stramonium* y a *D. inoxia* contra varias enfermedades como la inflamación, el dolor, la fiebre, el insomnio, los tumores y las pociones de amor; consideraban sus semillas como objeto sagrado (Bye y Linares, 1987).

Como resultado de la importancia económica que representa *Datura* en la medicina y la etnobotánica, los campos en los que se le analiza se han diversificado, incluyendo a la taxonomía y en la evolución. A modo de apoyo a estos trabajos, los científicos se han referido al estudio de los cromosomas y la citología de esta especie.

Antecedentes

Taxonomía

El género *Datura* consiste de hierbas que poseen tallos vigorosos, en su mayoría, erectos, ramificados. Las hojas son pecioladas, grandes, ovadas, de escasamente sinuadas a lobadas pinnatifidas. Flores grandes, llamativas, gamopétalas, actinomórficas, cortamente pediceladas, solitarias en las axilas de las hojas. Cáliz actinomórfico. Corola infundibuliforme, de color púrpura a casi blanco. Los frutos son cápsulas largas globosas u ovoides normalmente espinosas dehiscentes. Sus semillas son numerosas, comprimidas lateralmente en forma de D ó arriñonadas; la superficie finamente punteada, ocasionalmente con una apariencia rugosa. El embrión es curvado. Las plántulas presentan germinación epigea.

Se distribuye en las regiones secas templadas y subtropicales, aunque puede haber algunas especies cosmopolitas que se presentan en forma de maleza (Matuda, 1952). Lockwood (1973) interpreta a los frutos de *Datura* como una adaptación a los ambientes xéricos.

Son 14 las especies herbáceas de *Datura* reconocidas mundialmente, las cuales están agrupadas en tres secciones, 11 de estas especies se distribuyen en México.

La posición taxonómica de las especies mexicanas de *Datura* según Safford (1921) es:

Subclase Asteridae

Familia Solanaceae

Género *Datura* L.

Sección *Ceratocaulis* Bernhardt

D. ceratocaula Ortega

Sección *Datura* L.

D. quercifolia HBK.

D. stramonium L.

var. *stramonium*

var. *stramonium* f. *inermis* (Jacq.) Hupka

var. *tatula* (L.) Torrey

Sección *Dutra* Bernhardi

D. discolor Bernh.

D. inoxia Miller

D. kymatocarpa Barclay

D. lanosa Barclay ex Bye

D. metel L.

D. pruinosa Greenman

D. reburra Barclay

D. wrightii Regel

* La Sección *Brugmansia* no comprende especies mexicanas, además de no ser herbácea.

En este estudio se analiza a: *Datura discolor*, *D. inoxia*, *D. metel*, *D. quercifolia* y *D. stramonium*.

Bernhardi (1833) segregó el género *Datura* en cuatro secciones: **Brugmansia*, *Stramonium* (Safford la define como Sección *Datura*), *Dutra* y *Ceratocaulis*. Esta clasificación fue la que utilizó Safford (1921).

Hoy en día se conoce a *Brugmansia* Pers. como un género cercano a *Datura* (Lockwood, 1973).

Las especies de *Datura* son generalmente reconocidas como nativas de la parte centro y sur de Norteamérica y las islas adyacentes. Hasta 1991, la literatura ha citado a otras especies de *Datura*, dentro de América a *D. velutinosa* en Cuba (Fuentes, 1980b) y fuera de América a *D. ferox* (similar a *D. quercifolia*) en China y *D. leichardtii* F. Muell (similar a *D. pruinosa*) en Australia (Symon & Haegi, 1991). *Datura metel* es una especie cultivada con varias formas hortícolas; inicialmente se atribuye su origen al continente asiático.

Por las evidencias encontradas (arqueológicas, morfológicas y climáticas, así como por el tipo de dispersión de semillas por hormigas), se tiene la certeza de que América fue una fuente de introducción del género *Datura* al resto del mundo (Symon & Haegi, 1991). En México se han encontrado la mayor parte de las especies de *Datura* que integran al género, además de las evidencias arqueológicas y antropológicas de antes y después de la conquista para el uso de esta especie en nuestro país (Simon & Haegi, 1991; Bye & Linares, 1987). Así, México se ha propuesto como el centro de origen y evolución de todas las especies de *Datura* (Symon & Haegi, 1991).

Cromosomas y *Datura*

Ya se han realizado estudios citogenéticos en el género *Datura* y se han dado a conocer los números cromosómicos en *D. discolor*, *D. inoxia*, *D. ceratocula*, *D. stramonium*, *D. wrightii*, *D. lecharditti*, *D. pruinosa*, *D. quercifolia* y *D. meteloides*, todas con $2n=24$ (Avery *et al.*, 1959; Federov, 1974; Goldblatt, 1981; Moore, 1982). Rara vez se presenta la poliploidía, por lo que se considera que su condición normal en la naturaleza es la diploidía (Avery *et al.*, 1959). *Datura stramonium* ha sido analizada genéticamente por Blakeslee (Avery *et al.*, 1959). En 1980 Bara propone el número básico para *Datura* de $x=12$. Otro estudio realizado fue el de Viveros (1985) y Palomino *et al.* (1988), quienes llevaron a cabo el estudio citogenético de *D. stramonium*, *D. discolor*, *D. inoxia*, *D. wrightii*, y *D. lanosa*, reportando por vez primera el cariotipo de esta última. Viveros y Palomino discutieron la relación taxonómica existente entre *D. stramonium* perteneciente a la Sección *Datura* y *D. discolor* perteneciente a la Sección *Dutra*, basándose en el tamaño de los cromosomas, la posición del centrómero y la presencia de cuatro pares de cromosomas con satélite tanto en *D. stramonium* como en *D. discolor*, concluyendo la similitud de estas dos especies.

El estudio más reciente es el realizado por Badr *et al.* (1997) sobre las relaciones taxonómicas de la familia Solanaceae, que incluye análisis cariotípicos de algunas especies del género *Datura* cultivadas en los jardines botánicos de Egipto, entre ellas a *D. inoxia*, *D. stramonium* y *D. metel*, y la confirmación del número cromosómico ($2n = 24$) y el número básico ($x=12$) para el género.

De las especies antes mencionadas las de interés en este trabajo son *D. discolor*, *D. inoxia* y *D. metel* de la Sección *Dutra* y *D. quercifolia* y *D. stramonium* de la Sección *Datura*.

Se han utilizado los datos obtenidos sobre cromosomas para distinguir la variación intraespecífica de las especies similares morfológicamente. En comparaciones citológicas de poblaciones de cromosomas de *D. stramonium* se distinguen cromosomas y arreglos que fueron reconocidos para la mayoría de las especies. Bakeslee (Avery *et al.*, 1959) definió a los cromosomas que fueron observados por vez primera en *D. stramonium* como "tipos primarios" con el fin de distinguirlos en forma y tamaño de otras especies del género. También demostró que hay al menos 10 cromosomas homólogos entre *D. ferox* y *D. quercifolia*. Estas observaciones apoyan totalmente el punto de vista de que estas dos especies están relacionadas muy cercanamente o aún más, que son con-específicas (Avery *et al.*, 1959). Extensos estudios de *Datura* demostraron que los híbridos entre *D. ferox* y *D. quercifolia* producen semillas viables (Avery *et al.*, 1959), demostrando así la alta homología genética y cromosómica que existe entre estas dos especies.

El número cromosómico del género *Datura* es constante. El número haploide para todas las especies es de $n = 12$, con la formación de doce bivalentes, los cuales difieren en tamaño (Avery *et al.*, 1959). También existen diferencias en la fórmula cariotípica (Avery *et al.*, 1959). La frecuencia del intercambio de fragmentos cromosómicos en *D. stramonium* y la relación de este fenómeno para la formación de nuevos tipos a partir de cruza puras ha llevado a la hipótesis de que los intercambios de segmentos son en su mayoría responsables de la formación de nuevas especies en el género *Datura* (Avery *et al.*, 1959).

Los diploides ($2n$) son la condición normal en *Datura*, igual que en otras plantas con flores. A pesar de esto, la poliploidía se puede presentar raramente en *Datura* por procesos distintos, como en los haploides que pueden ser obtenidos de diploides por procesos raros de partenogénesis. Y los tetraploides pueden originarse espontáneamente de diploides por un proceso de doblamiento del número de cromosomas o pueden ser producidos por posteriores tratamientos con alcaloides. Los diploides son así el estándar por el cual otros tipos son comparados y derivados (Avery *et al.*, 1959). El aspecto general de las plantas tetraploides es más robusto y frondoso que los diploides. En todas las especies de *Datura* los tetraploides han producido flores más grandes que en los diploides (Avery *et al.*, 1959).

Cromosomas y taxonomía

Diferentes tipos de datos cromosómicos han sido usados taxonómicamente en el género *Datura* para discutir las relaciones taxonómicas del género, incluyendo el número cromosómico, tamaño y la forma de los cromosomas, así como su comportamiento durante la meiosis (Viveros, 1985; Palomino *et al.* 1988; Badr *et al.*, 1997). Viveros y Palomino discutieron la relación taxonómica existente entre *D. stramonium* y *D. discolor*, quienes pertenecen a dos secciones diferentes, basándose en el tamaño de los cromosomas, la posición del centrómero y la presencia de satélites. Badr *et al.*, discutieron las relaciones taxonómicas de las Solanaceas con las Cestridaceas basándose también en caracteres citogenéticos.

Debido a que los cromosomas sólo son visibles durante la división del núcleo, las fuentes de observación más importantes para obtener datos cromosómicos de valor taxonómico son la mitosis y la meiosis (Stuessy, 1990).

Mitosis.

La mitosis es un proceso de división nuclear por el cual una célula origina a dos células hijas cada una con el complemento cromosómico idéntico al de la célula progenitora. Los cromosomas se duplican durante un periodo particular dentro del ciclo celular llamado síntesis, posteriormente se lleva a cabo la mitosis (Alberts *et al.*, 1983).

Para que una célula se pueda dividir con éxito, se han de producir dos procesos distintos. En primer lugar los cromosomas ya duplicados, se han de alinear, separar y desplazar hacia los extremos opuestos de la célula. En segundo lugar el citoplasma se ha de segmentar asegurando que cada célula hija reciba no sólo un conjunto completo de cromosomas, sino también de los elementos y los orgánulos citoplasmáticos necesarios (Alberts *et al.*, 1981).

Dentro del ciclo celular la división nuclear o mitosis se estructura en seis etapas (Alberts *et al.*, 1981):

- Profase
- Prometafase
- Metafase
- Anafase
- Telofase
- Citocinesis

Todas las etapas de la mitosis forman una secuencia dinámica continua.

Durante la metafase, pueden observarse en un cromosoma las llamadas constricciones secundarias, además del centrómero. Las constricciones secundarias son pequeñas estrangulaciones observables sobre las cromátidas cuya función o significado son desconocidos en algunos casos. Una clase de constricción secundaria es el organizador nucleolar, región muy especial que aparece sólo en algunos cromosomas del complemento y que en células somáticas aparece ópticamente vacía por no presentar avidéz por los tintes normales utilizados para teñir el ADN. En ocasiones el organizador nucleolar separa del resto del cromosoma un trozo más o menos corto del brazo mediante una fibra cromática muy fina. El nombre de esta constricción secundaria indica su relación específica con el nucleolo (Dyer, 1979; Lacadena, 1981).

Uno de los criterios para comparar taxonómicamente a las especies es la morfología de los cromosomas. La morfología de un cromosoma se observa y se estudia en la metafase mitótica (cuando los cromosomas se han contraído al máximo). Las principales estructuras que pueden observarse en un cromosoma metafásico como resultado de esta diferenciación son el centrómero y las constricciones secundarias (Stebbins, 1971; Dyer, 1979). El número cromosómico diploide ($2n$), que es el número de cromosomas que presenta una especie en sus células somáticas, ha sido usado frecuentemente en los trabajos taxonómicos debido a su fácil observación y a su naturaleza discreta, además de que con el número cromosómico se puede detectar si hay cierto tipo de mutaciones como las

aneuploidías y las poliploidías. Los números cromosómicos han variado durante la evolución de las angiospermas. La variación en los números ha sido especialmente característica de las herbáceas dicotiledóneas, más que las leñosas dicotiledóneas (Stuessy, 1990).

El número de brazos y su tamaño con respecto a la posición del centrómero (metacéntricos, submetacéntricos, telocéntricos) sirven también de apoyo a la taxonomía y la sistemática, ya que ayudan a la distinción de especies en un mismo género que presentan igual número cromosómico (Levan *et al.*, 1964). Otro criterio taxonómico utilizado para distinguir especies es el número fundamental (n.f.) que es el número de brazos por cromosomas en un complemento cromosómico (Mathey, 1945). Este número puede variar o no en un género o familia. En la evolución cromosómica la pérdida parcial y total de cromosomas originan disminución en el número fundamental, mientras que en las poliploidías se incrementa, en las translocaciones puede tanto aumentar como disminuir, en las inversiones pericéntricas disminuye, o no cambia según en que región del cromosoma se lleve a cabo la inversión.

El número básico u operacional (x = número básico) es el número haploide más pequeño de una serie poliploide encontrado en un género, familia etc. Este número puede ser o no constante dentro de una categoría sistemática (Sota, 1982).

Los números básicos tienen gran importancia en el ámbito taxonómico ya que relacionan la existencia de numerosas taxa poliploides existentes dentro de las angiospermas. Al menos el 70% de las especies de angiospermas se han originado a partir de un poliploide (Stuessy, 1990).

La poliploidía es un aumento en el número cromosómico $2n$ (por ejemplo, puede ser duplicado y da lugar a $4n$, regularmente es un múltiplo del número básico) y se origina por cruzamiento o no reducción de los gametos (Rieger *et al.*, 1976). La poliploidía es bastante frecuente en las plantas y es uno de los mecanismos de especiación (Stebbins, 1950).

Las alteraciones en el genoma no siempre dan lugar a poliploidías, también dan lugar a aneuploidías que involucran el incremento o disminución en el número cromosómico (puede ser por la adición o pérdida de uno o varios cromosomas). Esto es el resultado de la duplicación de un cromosoma, o por la no-disyunción de un par cromosómico en la meiosis (Lacadena, 1981). Las poliploidías y las aneuploidías son de alta relevancia biológica, ya que de éstas puede depender el origen de una nueva especie o subespecie. Deben entenderse sus orígenes evolutivos para poder llegar a conclusiones taxonómicas (Stuessy, 1990).

Existen cambios estructurales que dan lugar a cambios en el genoma y por lo tanto son estudiados como procesos de especiación en las plantas (Jackson, 1971; Lacadena, 1981). Entre las alteraciones estructurales más importantes tenemos a las deleciones que son la pérdida de un fragmento de un cromosoma. Inversiones

que implican la ruptura de un segmento de material genético con un giro de 180° para su posterior reunión. Hay dos tipos de inversiones: las paracéntricas que no involucran al centrómero y las pericéntricas que sí lo involucran. Las translocaciones, que es el rompimiento de un segmento del cromosoma, pérdida y adición de éste a otro cromosoma (Lacadena, 1981). Todos estos cambios y alteraciones en el genoma pueden dar lugar a cambios en el cariotipo de una especie (Jackson, 1971).

El cariotipo puede ser definido como la apariencia fenotípica del complemento cromosómico, y la suma de todas las características detectables de los cromosomas. Esto incluye tanto el número como la morfología, refiriéndose a los cromosomas de un organismo o a un grupo de organismos (especie). Entre las características que se aplican al cariotipo están las siguientes: 1) número cromosómico; 2) posición del centrómero; 3) relación de brazos; 4) número y posición de constricciones secundarias y satélites; 5) tamaño absoluto de los cromosomas y 6) posición, número, tamaño, y distribución de la tinción diferencial de los segmentos heterocromáticos (Jackson, 1971; Bernard, 1976).

Al analizar estas características podemos observar la variabilidad que existe de un grupo a otro y a su vez esto puede servir de base para relacionarlos taxonómicamente (Jackson, 1971; John, 1976).

La asimetría del cariotipo, evaluada en base a los porcentajes de asimetría $TF\%$ y $F\%$ (que se refieren a la relación existente entre las longitudes de los brazos cortos y las longitudes de los brazos largos de los cromosomas, multiplicada por 100), (Sinha y Roy, 1979), en las plantas superiores, está relacionado con la variabilidad genética, esto se refiere que, a mayor simetría en el cariotipo menos variación ha tenido y a menor simetría mas variaciones han ocurrido. (Stebbins, 1958). El cariotipo nos sirve, en cuanto a sistemática se trata, como un carácter o característica especial que puede ser asociada a un complejo de caracteres que circunscriben a una familia, tribu, género, especie o raza. Estas características están relacionadas con el tamaño de los cromosomas y su número básico, así como su morfología, y a su vez están consideradas como características filogenéticas del grupo (Jackson, 1971).

Son cinco los factores que están involucrados en la evolución del cariotipo (Jackson, 1971): a) un ambiente celular que conduzca al rompimiento de los cromosomas; b) los rompimientos que ocurran deben ser principalmente en posiciones no funcionales; c) los rearrreglos que se produzcan deben resistir el rigor de la mitosis y la meiosis; d) los rearrreglos deben llevar consigo un gen adaptativo complejo o ser capaces de llevar a cabo un mecanismo que asegure su transmisión y e) el sistema creado tenga una alta probabilidad de subsistir.

Para estudiar la variación cariotípica, se utilizan criterios para comparar las similitudes y diferencias más obvias. Uno de las presentaciones más utilizadas es el idiograma, que representa el diagrama de barras del cariotipo, donde se toma

en cuenta la posición del centrómero, la longitud de los brazos y las constricciones secundarias, satélites por lo general (Stuessy, 1990).

Se ha definido como un carácter primitivo, evolutivamente hablando, a los cariotipos simétricos, y como carácter avanzado a los cariotipos asimétricos (Lewitzky, 1931). El grado de simetría o asimetría de un cariotipo está dado por el índice centromérico (Lewitzky, 1931) que se refiere a la posición del centrómero en el cromosoma y por los índices de asimetría ($F\%$ y $TF\%$; Sinha y Roy, 1979). De acuerdo con la posición del centrómero, los cromosomas son designados de la siguiente manera: telocéntricos, acrocéntricos, metacéntricos y submetacéntricos. Los cromosomas telocéntricos se originan por rupturas o fisiones de cromosomas metacéntricos y similarmente los metacéntricos se pueden originar por fusiones de los cromosomas telocéntricos (Stebbins, 1971), también se pueden formar por translocaciones e inversiones del tipo pericéntrico.

Es común la observación de diversos tamaños entre los cromosomas de diferentes tejidos aún en las preparaciones a partir de raíces. Tomando esto en cuenta, estas diferencias pueden deberse al control genotípico del enrollamiento o del plegamiento, a la multiplicidad lateral, o al DNA repetitivo en ciertos segmentos que son desconocidos en algunas taxa, y al mismo tiempo al DNA heterocromatínico que a veces no se observa bien contraído (Jackson, 1971).

La gran variedad de rangos en el tamaño de los cromosomas de las plantas se debe a que los cromosomas o cromátidas tienen varios enrollamientos de las hélices del DNA a esto se le llama polinemia. Debido a esto la mayoría de las plantas con flores, de una u otra manera, son polinémicas, aunque en particular en el género *Datura* no se han reportado polinemias. Tanto la poliploidía como la polinemia interactúan en la evolución, en una influye en el tamaño y en la otra el número de los cromosomas. Con base a estudios realizados en plantas vasculares de tipo primitivo como los helechos y parientes (*Psilotum*, *Tmesipteris*, *Lycopodium* y *Botrychium*) comparadas con diferentes grupos de plantas con flores, se estableció que el tamaño cromosómico puede variar mucho entre los géneros de la misma familia, aún teniendo el mismo, o similar número básico (Stebbins, 1971). A bajos niveles de complejidad estructural de las plantas, la tendencia evolutiva ha sido hacia el decremento del tamaño cromosómico en especies con alta complejidad estructural y a incremento del tamaño cromosómico en especies con baja complejidad estructural (Darlington, 1973).

En algunas especies, la reducción en el tamaño de los cromosomas está precedido por la poliploidía, y esto está considerado como un caso de pre adaptación y selección mutua. Así, parece que evolutivamente la reducción en el tamaño de los cromosomas es una adaptación en alguna forma al decremento en el tamaño de las células o, de otra forma, al incremento del número de cromosomas (Darlington, 1973).

Los cromosomas más grandes aparecen en algunos grupos de plantas con flores (las Angiospermas: por ejemplo en *Alismateaceae* y las *Liliales*). Las especies con cromosomas pequeños tienen más rápida la división celular y la madurez y son capaces de un ciclo de vida corto (Darlington, 1973).

La reducción de la longitud de los cromosomas, que está frecuentemente asociada con un alto grado de evolución de una especie y la ocurrencia de la poliploidía en cierto taxón es una evidencia de que se trata de un estado avanzado en el ámbito evolutivo (Badr *et al.*, 1997).

Debido a que *Datura* es un género que presenta un alta importancia tanto económica, como médica y etnobotánica, entre otras. El motivo del presente estudio es conocer más acerca de su comportamiento citogenético para reforzar y ampliar su taxonomía, correlacionar los caracteres citogenéticos con la clasificación convencional dentro de dos subgéneros tomando en cuenta a lo ya reportado poniendo especial atención a en las especies *D. stramonium* perteneciente a la Sección *Datura* y *D. discolor* perteneciente a la sección *Dutra*, ambas especies han sido relacionadas taxonómicamente por Viveros (1985) y Palomino (1988). La relación del taxón cultivado (*D. metel*) con las especies que pertenecen al mismo subgénero. Cuatro de las cinco especies empleadas en este trabajo: *Datura discolor*, *D. inoxia*, *D. metel* y *D. stramonium*, ya han sido analizadas citogenéticamente por Viveros (1985) y Palomino *et al.* (1988) pero con diferentes poblaciones de otras localidades de la República Mexicana. Badr *et al.* (1997) analizaron a *D. stramonium*, *D. inoxia* y *D. metel* pero en poblaciones cultivadas en los jardines botánicos de Egipto. Este trabajo pretende ampliar el conocimiento del comportamiento citogenético del género *Datura* en las diferentes localidades de la República Mexicana donde se distribuyen estas especies, compararlas y observar sus diferencias.

Objetivos

Los objetivos del trabajo son:

- Elaborar los cariotipos de las siguientes especies del género *Datura*: *D. discolor*, *D. inoxia*, *D. metel*, *D. quercifolia* y *D. stramonium*
- Comparar los cariotipos que se han realizado anteriormente con los análisis cariotípicos obtenidos en este trabajo.
- Comparar y relacionar los cariotipos e idiogramas de las especies estudiadas con la clasificación taxonómica convencional del género.
- Aportar apoyo al conocimiento biosistemático del género *Datura*

Hipótesis

Si las especies de la misma sección dentro de la clasificación taxonómica de *Datura* son similares con respecto a las características de sus cariotipos, entonces no se encontraran diferencias en los cariotipos de las especies de una misma sección.

Metodología

Semillas

Para este estudio se utilizaron semillas colectadas de poblaciones naturales de México, como se enlista a continuación.

D. discolor R. Bye 19032. Puente de Concá, Querétaro, México.

D. inoxia R. Bye 19031. Puente de Concá, Querétaro, México.

D. metel J. Arellano, M. A. Martínez A. L. Hernández 349. Tegüixtepec, Oaxaca, México.

D. quercifolia R. Bye 19375. Río Guzmán. E. de Ascención Chihuahua, México.

D. stramonium R. Bye 15197. Ciudad Universitaria, México D.F., México.

Los ejemplares de respaldo se encuentran localizados en el Herbario nacional (mexu).

Germinación

Para la obtención de cromosomas somáticos se germinaron las semillas de las especies en estudio como se describe a continuación:

- 1.- Se les escarificó con un ligero corte con tijeras a la testa de la semilla en la región del hilo.
- 2.- Después fueron agitadas con hipoclorito de sodio (NaOCl) al 6% durante treinta minutos.
- 3.- Se enjuagaron con agua destilada y se sembraron directamente en tierra previamente esterilizada, que se puso en semillero de poliestireno, a temperatura ambiente en el invernadero. Esto último con el fin de obtener las plántulas por separado y poder etiquetarlas
- 4.- Se germinaron 25 semillas por especie.

Se obtuvieron plántulas y se seleccionaron cinco de cada especie, a éstas se les colectaron las raíces secundarias. Se les aplicó la siguiente técnica.

Técnica de mitosis

Esta técnica está dividida en: Pretratamiento, fijación, hidrólisis-tinción y elaboración de preparaciones.

Pretratamiento

Se colectaron las raíces de las plántulas que ya contaban con 1 cm de longitud aproximadamente, y se colocaron en un mitostático (solución acuosa de 8-hidroxiquinoleína al 0.002 M). Esta solución tiene como propiedades: inhibir la formación de huso acromático y contraer más a los cromosomas. Lo anterior permite observar a los cromosomas en metafase, donde son fáciles de observar. Las raíces se pretrataron a las 7:00 A:M: durante 5 horas a 18°C en obscuridad (García, 1990).

Fijación

Después del pretratamiento, las raíces fueron lavadas en agua destilada, y posteriormente introducidas en solución Farmer (ácido acético-alcohol etílico absoluto 1:3) durante 48 horas, con la finalidad de fijar el tejido sin alterar a los cromosomas. Al término de la fijación, se les cambió el fijador por una solución de alcohol etílico al 70% para conservarlas en refrigeración hasta su análisis (García, 1990).

Hidrólisis-Tinción

Los ápices radicales fueron tratados con la técnica de Feulgen para su tinción con el reactivo de Schiff (García, 1990) ya que los cromosomas no son visibles fácilmente en el microscopio óptico.

Después de la fijación las raíces se lavaron en agua destilada. Se les eliminó el exceso de agua y se hidrolizaron en ácido clorhídrico (HCl) 1N a 60°C durante 10 min. Posteriormente las raíces fueron introducidas en Feulgen en obscuridad durante 45 minutos, tiempo en el que los cromosomas presentan una buena tinción.

Elaboración y montaje de las preparaciones

Los ápices radicales que se tiñeron fueron extraídos y colocados en un portaobjetos para la elaboración de las preparaciones. Se procedió a cortar la porción intensamente coloreada del ápice, fraccionándola con un bisturí.

A continuación les agregó una gota de aceto-orceína al 1.8%, para que se lograra un mejor contraste de los cromosomas. Se colocó el cubreobjetos y se golpeó con la punta de unas pinzas de relojero para separar el tejido. Por último, se les dio un aplastamiento con la goma de un lápiz, colocando un papel filtro sobre la preparación, para así lograr una sola capa de células y poner a los cromosomas en un mismo plano.

Obtenidas las preparaciones con un buen número de células en metafase mitótica y cromosomas bien separados, se hicieron permanentes congelándolas en hielo seco (técnica de Conger & Fairchild, 1953). Una vez congeladas se deshidrataron en alcohol etílico absoluto y se montaron con resina sintética.

Se observó detalladamente cada una de las preparaciones citológicas en un Fotomicroscopio Carl Zeiss Axioscop con oculares de 10X, y objetivos de 100X. Con las escalas de la platina se marcaron los mejores campos de cada preparación. Se seleccionaron de 5 a 7 campos por individuo.

Se tomaron fotografías de cada campo seleccionado. A cada campo se le tomaron tres imágenes con diferente iluminación: campo claro con filtro verde, campo claro con filtro azul y contraste de fases con filtro azul. Se empleó película Technical Pan 25 ASA blanco y negro; esta película es de alto contraste.

Elaboración de cariotipos

De cada individuo se escogieron las imágenes con las mejores células, esto es, con la contracción de los cromosomas y la separación de los mismos en un solo plano. Se seleccionaron tres imágenes de cada individuo, dando un total de 15 imágenes por especie.

A cada fotografía se le midió cada uno de los cromosomas de la siguiente manera: longitud de brazo corto, longitud de brazo largo y longitud total. El tamaño real de los cromosomas se determinó a partir de las imágenes basándose en la escala micrométrica del microscopio, sabiendo que, la ampliación de las imágenes con respecto a la escala del microscopio es $1.3 \text{ cm} = 10 \text{ }\mu\text{m}$.

Con los valores obtenidos de la medición de las 15 fotografías se construyó una matriz de datos con (360 medidas para cada categoría (brazo corto, brazo largo y longitud total), misma que fue analizada mediante el programa estadístico Statgraphics v. 5.0 ©Statistical Graphics Corporation para calcular las medidas de tendencia central [media (promedio), moda, mediana]; y de dispersión [varianza, desviación estándar y error estándar]. Obteniéndose el promedio de las 15 células observadas en cada especie para cada cromosoma, se calcularon los valores promedio de la longitud total, longitud del brazo corto y longitud del brazo largo de los 24 cromosomas. Con base en esta información, los 24 cromosomas se numeraron de mayor a menor longitud. A cada par cromosómico (1 a 12) se le determinó el índice de relación de brazos (r) y el índice centromérico ($I.C.$) para saber la nomenclatura de cada uno de los cromosomas y para obtener la fórmula cariotípica de cada especie en base a Levan *et al.* (1964). Se elaboró una tabla con las medidas para cada especie (Tablas 2 a 6).

El Índice Centromérico (*I.C.*) (Levan *et al.*, 1964) se calcula de la siguiente manera:

$$I.C. = \frac{p}{p+q}$$

El Índice de relación de brazos (*r*) se obtiene de la siguiente forma:

$$r = \frac{q}{p}$$

donde:

p = longitud del brazo corto

q = longitud del brazo largo

Sobre la base de las medidas obtenidas, se calcularon por especie los índices de asimetría *F%* y *TF%*, la longitud total de la cromatina y el promedio de la longitud total de la cromatina.

Índices de asimetría (Sinha y Roy, 1979).

$$F\% = \frac{\text{longitud del brazo corto}}{\text{longitud del brazo largo}} \times 100$$

$$T.F = \frac{\sum \text{total de la longitud de los brazos cortos}}{\sum \text{total de la longitud de los cromosomas}} \times 100$$

De cada una de las especies se eligió la mejor fotografía en cuanto a forma y distribución de los cromosomas (donde se apreciaran mejor) para elaborar el cariotipo por especie.

Se capturaron las imágenes en la computadora empleando un Scanner Epson 300c y el software, Picture Publisher 3.0 ©Micrografx, se optimizaron mediante modificaciones en el mapa de color, brillantamiento y contraste para obtener la mayor nitidez posible. Posteriormente cada imagen se sometió al control de tonos del paquete de Software Foto Touch v. 2.0 ©Logitech en virtud de que las pruebas hechas demostraron lograr la apariencia más nítida al enviarlas al papel de esta forma.

Mediante Picture Publisher se marcaron y cortaron las imágenes de cada cromosoma. Una vez marcados, se guardaron en disco con el número del cromosoma en cuestión. Las imágenes se rotaron dependiendo de la ubicación del centrómero y la posición de los brazos, hasta obtener el cromosoma en la posición

deseada. Logrando esto, se cortó alrededor el cromosoma lo más cerca posible de los bordes, para obtener una imagen fácil de manejar.

Una vez que se obtuvieron todos los cromosomas en la posición requerida, se les editó mediante Windows Draw v 3.0 ©Micrografx. Desde aquí se importaron todas las imágenes que ya se tenían, incluyendo la imagen completa de la célula empleada de cada especie. Se procedió a ir acomodando cada uno de los cromosomas con su homólogo. Ocupando las medidas que se obtuvieron previamente para cada una de las imágenes, se alinearon los cromosomas en orden descendente, por pares homólogos que fueron numerados.

Elaboración de Idiogramas

Con base en los promedios obtenidos para los cromosomas de la longitud total, longitud del brazo largo y longitud del brazo corto, se elaboraron los idiogramas por especie, como se describe a continuación.

Con ayuda del software Windows Draw se elaboraron líneas para cada par cromosómico, del doble del tamaño de cada uno de los promedios obtenidos. Esto último se hizo porque el tamaño real de la imagen es muy pequeño, y lo que se pretende con este idiograma es esquematizar a los cromosomas de una manera clara. Se esquematizaron también el espacio centromérico y en su caso las constricciones secundarias.

Una vez elaborado cada uno de los idiogramas por especie, se colocaron en una sola figura con el fin de compararlos fácilmente.

Aplicación de pruebas estadísticas

Empleando los valores promedio de los 24 cromosomas por especie, se les anidó en una matriz de datos con el software Statgraphics y se aplicó un ANOVA (Análisis de Varianza) para saber si las diferencias entre las varianzas en cada especie eran estadísticamente significativas.

Se realizaron dos tipos de ANOVA:

1.- ANOVA de una sola vía, tomando como niveles de tratamiento a cada una de las especies. Se utilizaron los promedios de los 24 cromosomas de 3 células por cada uno de los 5 individuos de las 5 especies, sin repetición (es decir, sin medir dos veces cada cromosoma). Finalmente se hizo una prueba de mínima diferencia significativa al ANOVA con el fin de observar que especies son diferentes estadísticamente entre sí.

2.- ANOVA anidada, tomando únicamente las medidas de 2 cromosomas, el 1 y el 24 con dos repeticiones (se midió dos veces el mismo cromosoma), para cada una de las especies. Se uso el 1 y el 24 porque el cromosoma 1 es el más

grande en todas las especies y el 24 es el que tiene los satélites en todas las especies.

Se tomó en cuenta el criterio de (Sokal & Rohlf, 1979), ANOVA anidada (Nested ANOVA), un análisis de varianza con dos repeticiones por categorías, particularmente dos repeticiones de las mediciones de los cromosomas 1 y 24, 3 células, 5 individuos, 5 especies. llevado a cabo mediante el paquete estadístico de software llamado BIOM © Applied Bioestatistics MS-DOS.

Descripción de las especies estudiadas

Las especies analizadas son endémicas de México y silvestres a excepción de *D. metel* que es una especie cultivada.

Se cotejó la descripción taxonómica de cada una con base en la literatura (Safford, 1921; Matuda, 1952; Haegi, 1976; Baytop, 1978; Fuentes, 1980b; y Bye, 1982), y la distribución geográfica basada en ejemplares de herbario (Bye, 1995).

Datura discolor Bernh.

Hierba, erecta, anual o bianual de 1-8 dm de alto en su mayor parte verde brillante con pubescencias finas. Hojas simples, alternas; lámina ovada de 3-15 cm de largo, escasamente sinuada, ápice agudo, base oblicua; peciolo de 1.5-17 cm de largo. Flor solitaria axilar, perfecta, gamopétala, actinomórfica, erecta de 8-13 cm de largo; pedicelos de 5-12 cm de largo recurvados en el fruto, puberulentos. Cáliz actinomórfico gamosépalo de 4-8 cm de longitud. Corola gamopétala, infundibuliforme, blanco o raramente amarillo pálido con un anillo morado en la garganta con los lóbulos terminados en acúmen. Estambres insertos cerca de la parte media de la corola de 4.5 cm de largo. Anteras blancas menores a 10 mm de longitud. Frutos capsulares péndulos, globosos, con numerosas espinas glandulares pubescentes, dehiscencia regular 4-valvar con cáliz persistente. Semillas de menos de 4 mm de longitud, tegumento rugoso, negro. La distribución es en toda la franja oeste de la República Mexicana, al sureste y un área muy pequeña al noreste (Safford, 1921; Matuda, 1952; Shreve & Wiggins, 1964; Fuentes, 1980b; Wiggins, 1980; Nee, 1986.) Figura. 1.

Datura inoxia Mill.

Hierba erecta ampliamente ramificada de 5-18 dm de alto, monoica, perenne, con follaje cineroso puberulento. Hojas simples, alternas; lámina ovada de 4-15 cm de largo, de margen escasamente sinuado a menos comúnmente entero, con los ápices agudos, base oblicua rara vez simétrica, obtusa a truncada no decurrente; peciolo de un cuarto de longitud o a veces igual a la hoja. Flor axilar, solitaria, perfecta erecta, gamopétala, actinomórfica; pedicelo de 1-3 cm de largo. Cáliz actinomórfico, gamosépalo de 6-10 cm de longitud, 5

dentado. Corola gamopétala infundibuliforme, 5 lóbulos, de 15-25 cm de longitud, con lóbulos interracuminales prominentes, blanca, coloreada con lavanda o púrpura. Estambres adnatos, de menor tamaño que el estilo. Anteras blancas de 12-15 mm de longitud. Fruto capsular péndulo, con numerosas espinas, dehiscencia irregular, cáliz persistente. Semillas de 4-5 mm de longitud, tegumento rugoso marrón claro. Se distribuye en toda la República Mexicana con excepción de Baja California Norte y Sur, Sonora, Nayarit y una parte muy pequeña de Chihuahua y Jalisco (Safford, 1921; Shreve & Wiggins, 1964; Correll & Johnston, 1970; Haegi, 1976; Baytop, 1978; Fuentes, 1980a; Martin & Hutchins, 1981) Figura. 2

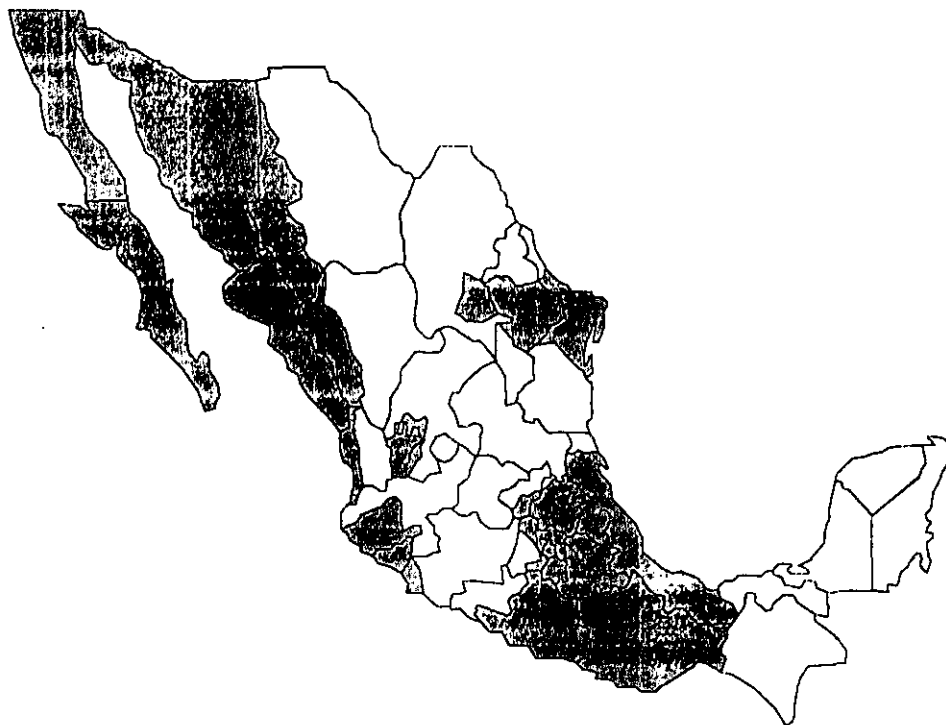


Fig. 1. Mapa de la distribución geográfica de *Datura discolor* en México, basado en regiones hidrológicas, el círculo negro indica la localidad de colecta de la muestra estudiada.

Datura metel L.

Hierba de 2 m de alto con ramitas oscuras coloreadas de púrpura, monoica, anual, presentan pubescencias finas. Hojas simples, alternas; lámina ampliamente ovada de hasta 15 cm de longitud, márgenes subenteros a escasamente sinuados dentados, base rara vez truncada, ápice agudo a acuminado; peciolo de menos de 10 cm de longitud frecuentemente con un toque púrpura. Flor axilar, solitaria, perfecta, gamopétala, actinomórfica, erecta; pedicelo de menos de 15 cm de largo. Cáliz de 5-9 actinomórfico, gamosépalo. Corola gamopétala, infundibuliforme, generalmente doble, de color morado externamente y blanco internamente.

Estambres insertos en la corola, de menor tamaño que el estilo. Anteras mayores a 10 mm de color blanco ó púrpura. Frutos capsulares péndulos cubiertos irregularmente con numerosos tubérculos conspicuos, indehiscentes. Semillas de más de 4 mm de longitud, café claro. La distribución de esta especie, se encuentra restringida a la parte sureste de la República Mexicana (Matuda, 1952; D'Arcy, 1973; Haegi, 1976; Fuentes, 1980^a). Figura. 3.



Fig. 2. Mapa de la distribución geográfica de *Datura inoxia* en México, basado en regiones hidrológicas, el círculo negro indica la localidad de colecta de la muestra estudiada.

***Datura quercifolia* HBK.**

Hierba de color verde y moderadamente pubescente robusta de 40-60 cm de altura, finamente lanosa, monoica, anual. Tallo erecto ramificado en la parte superior. Hojas simples, alternas, lámina ovada a elíptica, dentada, usualmente simétrica en la base, ápice agudo a cortamente acuminado; base irregular y pinnatífida; pecíolo frecuentemente más grande que la lámina. Flor axilar, solitaria, perfecta gamopétala, actinomórfica, erecta; pedicelo de 1-2 cm de longitud. Cáliz actinomórfico gamosépalo, 5-lobulado. Corola gamopétala, infundibuliforme simple, blanca erecta de 5-6 cm de longitud. Estambres de 3-6 cm de longitud, casi de la misma longitud que el estilo. Anteras púrpuras de 3-4 mm de longitud. Frutos capsulares erectos, con muchas espinas desiguales, dehiscencia regular. Semillas con arilo, más de 4 mm de longitud, tegumento rugoso, negras. Esta especie se distribuye en el centro y norte de la República Mexicana, con excepción de Baja California Norte y Sur y una parte de Sonora (Matuda, 1952; Correll & Johnston, 1970; Martin & Hutchins, 1981; McGregor & Brooks, 1986 Fig. 4).



Fig. 3 Mapa de la distribución geográfica de *Datura metel* en México, basado en regiones hidrológicas, el círculo negro indica la localidad de la colecta de la muestra estudiada.

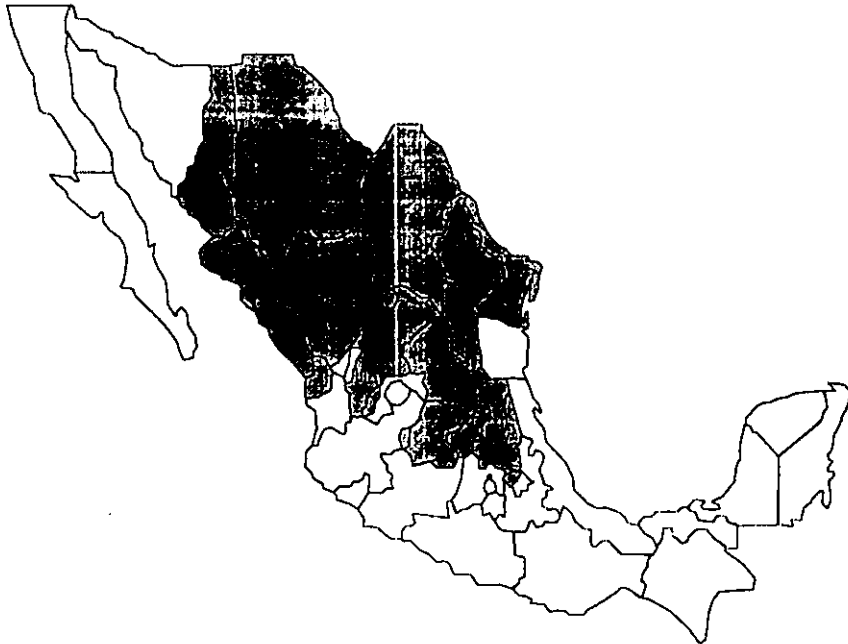


Fig. 4 Mapa de la distribución geográfica de *Datura quercifolia* en México, basado en regiones hidrológicas, el círculo negro indica la localidad de la colecta de la muestra estudiada.

***Datura stramonium* L.**

Hierba robusta con indumento de pelos simples moderadamente más denso en las hojas jóvenes de 0.2-1.5 m de alto, tallo ramificado simpódicamente, monoica, anual. Hojas simples, alternas; lámina ovada de 5-25 cm de largo, con los márgenes escasamente sinuados a angular ovados, con lóbulos más o menos triangulares; ápice agudo a acuminado, base rara vez simétrica, color verde oscuro; pecíolos de 2-5 cm de largo. Flor solitaria, axilar, erecta, perfecta, gamopétala, actinomórfica; pedicelo de 0.2-1.5 cm de largo. Cáliz actinomórfico, gamosépalo, 5 lobular de 2.5-3.5 cm de largo, angular, estrecho hasta la cima, 6-dentado. Corola gamopétala infundibuliforme 5 lobulada, blanca o morada, de 6.6-9.0 cm de largo, erecta. Estambres 5, adnatos a la corola, de menor tamaño que el estilo. Anteras lineales de 0.2-0.4 cm de largo, filamentos filiformes de color morado o blanco. Frutos capsulares erectos, con muchas espinas similares, dehiscencia regular 4-valvar, sin cáliz. Semillas de menos de 4 mm de longitud, tegumento rugoso, negras. Esta especie se distribuye casi a todo lo largo de la República Mexicana, con manchones en el norte y sureste de la misma (Gleason, 1963; Correll & Johnston, 1970; Munz, 1974; Fuentes, 1980a; Nee, 1986; McGregor, 1986). Figura 5.

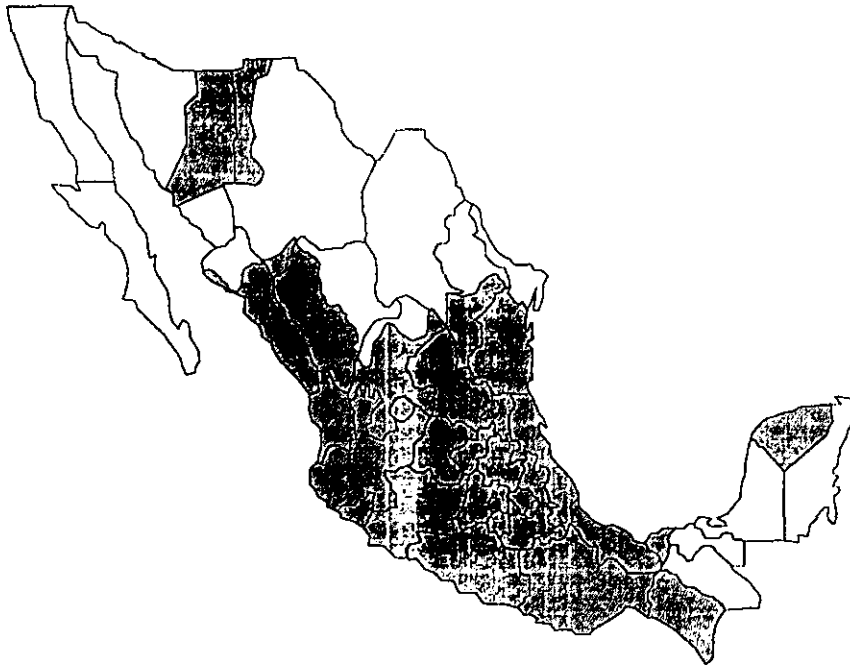


Fig. 5 Mapa de la distribución geográfica de *Datura stramonium* en México, basado en regiones hidrológicas, el círculo negro indica la localidad de la colecta de la muestra estudiada.

Los caracteres morfológicos diagnósticos de cada una de las especies analizadas son comparados en la Tabla 1, a fin de resaltar las diferencias entre cada una de las secciones y sus especies analizadas del género *Datura*.

Tabla 1. Comparación de las características diagnósticas para las especies estudiadas.

Sección	<i>Datura</i>			<i>Dutra</i>	
	<i>stramonium</i>	<i>quercifolia</i>	<i>discolor</i>	<i>inoxia</i>	<i>metel</i>
Carácter					
HABITO					
Duración	anual	Anual	perenne	perenne	perenne
Base	herbácea	Herbácea	herbácea	herbácea	leñosa
FRUTO					
Posición	erecta	Erecta	péndula	péndula	péndula
Dehiscencia	regular	Regular	regular	irregular	indehiscente
Longitud espinas	iguales	No iguales	iguales	iguales	ausente
COROLA					
Longitud	< 10 cm	< 10 cm	± 10 cm	> 10 cm	> 10 cm
Lóbulos de acúmen	> interacumen	> interacumen	< interacumen	> interacumen	> interacumen
SEMILLA					
Carúncula	ausente	ausente	presente	presente	presente

Resultados

Se obtuvo el cariotipo y el idiograma de las 5 especies en estudio.

Para todas las especies tanto el número cromosómico $2n$, como el número fundamental ($n.f.$), son iguales a 24 (Tabla 7). Confirmándose lo antes reportado para este género. Las cinco especies presentan en su totalidad cromosomas metacéntricos (según el criterio de Levan *et al.*, 1964) (Fig. 6-11), un par de ellos presenta satélites (constricciones secundarias). No se encontraron cromosomas supernumerarios ni poliploidías. Los valores obtenidos para el tamaño de brazo corto, brazo largo y longitud total, índice centromérico y clasificación de los cromosomas se presentan en las Tablas 2-6.

Se reporta por primera vez el cariotipo de *D. quercifolia* (Fig. 9).

Datura discolor presenta cromosomas del tipo metacéntrico y un par con satélite, lo que se contrapone con lo reportado por Viveros (1985) y Palomino *et al.* (1988), quienes reportaron para esta especie un par de cromosomas submetacéntricos y cuatro pares de cromosomas con satélite, El intervalo de longitud cromosómica va de 1.46 - 2.60 μm . La longitud total de la cromatina es de $49.45 \pm 0.07 \mu\text{m}$ (Tabla 2). Para esta especie se obtuvieron los siguientes índices de asimetría, F% de 42.44 - 46.12 y de TF% 44.71. Indicando que fue el taxa con el cariotipo más asimétrico respecto a las otras especies analizadas (Tabla 7).

Tabla 2. Longitudes de los cromosomas de *D. discolor* μm

Cromosoma	p	q	L.T.	I.C.	L
1	1.18 ± 0.06	1.42 ± 0.10	2.60 ± 0.15	45.41	m
2	1.08 ± 0.07	1.32 ± 0.08	1.80 ± 0.14	45.13	m
3	1.07 ± 0.06	1.25 ± 0.07	2.32 ± 0.13	46.23	m
4	1.01 ± 0.06	1.22 ± 0.77	2.23 ± 0.13	45.29	m
5	0.97 ± 0.06	1.14 ± 0.07	2.11 ± 0.13	45.95	m
6	0.91 ± 0.05	1.11 ± 0.07	2.02 ± 0.11	45.12	m
7	0.84 ± 0.05	1.08 ± 0.06	1.92 ± 0.11	43.66	m
8	0.77 ± 0.05	1.04 ± 0.06	1.81 ± 0.10	42.64	m
9	0.76 ± 0.04	0.95 ± 0.06	1.71 ± 0.10	44.39	m
10	0.70 ± 0.04	1.90 ± 0.05	1.60 ± 0.08	43.67	m
11	1.63 ± 0.03	0.83 ± 0.06	1.46 ± 0.08	43.16	m
12	1.13 ± 0.10	1.41 ± 0.09	2.54 ± 0.18	44.42	m

p= longitud del brazo corto \pm error estándar; q= longitud del brazo largo \pm error estándar; L.

T.= longitud total \pm error estándar. I. C. = índice centromérico. L= clasificación según Levan *et al.* (1964) m= metacéntrico

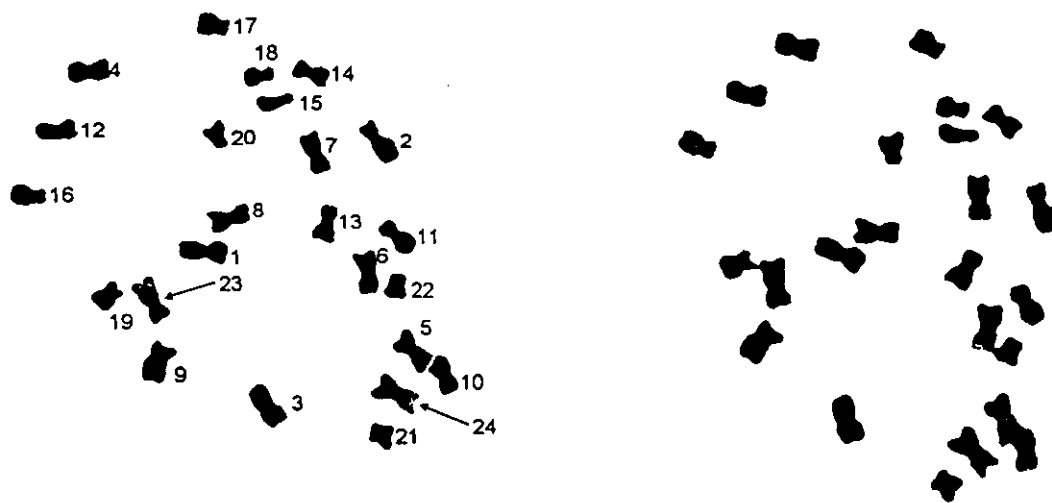
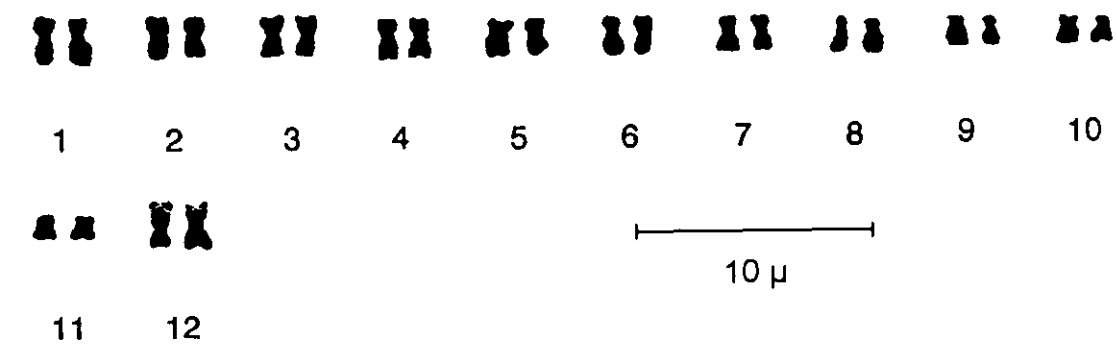


Fig 6. Cariotipo de *Datura discolor* Bernh.
Las flechas indican los cromosomas con satélites.

Datura inoxia presenta cromosomas metacéntricos (Fig. 7 y 11-A) cuyo intervalo de longitud es de 1.56 - 2.63 μm . La longitud total de la cromatina es de 50 $\mu\text{m} \pm 0.06 \mu\text{m}$ (Tabla 3), el valor más alto registrado en las especies analizadas (Tabla 7). Sus índices de asimetría son los siguientes: F% de 43.78 - 47.52 y TF% de 45.28 (Tabla 7), ubicando a esta especie en segundo lugar de simetría del cariotipo con respecto a las otras especies analizadas. Presenta un par de cromosomas con satélite, lo que no coincide Viveros (1985) y Palomino *et al.* (1988), quienes mencionan la presencia de cuatro pares de cromosomas con satélite.

Tabla 3. Longitudes de los cromosomas de *D. inoxia* en μm

Cromosoma	p	q	L.T.	I.C.	L
1	1.18 \pm 0.09	1.44 \pm 0.11	2.36 \pm 0.20	45.12	m
2	1.13 \pm 0.09	1.34 \pm 0.01	2.47 \pm 0.18	46.60	m
3	1.08 \pm 0.08	1.25 \pm 0.09	2.33 \pm 0.16	43.30	m
4	1.02 \pm 0.07	1.24 \pm 0.08	2.26 \pm 0.16	45.19	m
5	1.03 \pm 0.07	1.14 \pm 0.08	2.17 \pm 0.15	47.35	m
6	0.96 \pm 0.06	1.14 \pm 0.08	2.11 \pm 0.14	45.79	m
7	0.94 \pm 0.06	1.08 \pm 0.07	2.03 \pm 0.13	46.65	m
8	0.87 \pm 0.06	1.06 \pm 0.07	1.93 \pm 0.13	45.01	m
9	0.83 \pm 0.05	1.00 \pm 0.07	1.83 \pm 0.12	45.52	m
10	0.77 \pm 0.05	0.94 \pm 0.07	1.71 \pm 0.11	44.35	m
11	0.69 \pm 0.05	0.86 \pm 0.08	1.56 \pm 0.13	44.53	m
12	0.87 \pm 0.07	0.27 \pm 0.08	2.15 \pm 0.15	40.67	m

Datura metel presenta cromosomas del tipo metacéntrico (Fig. 8 y Fig. 11-C) cuyo intervalo de longitud es de 1.32 - 2.38 μm (Tabla 4), el valor intermedio para las especies analizadas. La longitud total de la cromatina es de 44.92 \pm 0.06 μm , y los índices de asimetría para esta especie son: F% de 43.18 - 46.19 y de TF% 45.12 (Tabla 7), indicando que tiene el cariotipo más simétrico que *D. discolor* pero menos simétrico que las otras tres especies analizadas. Presenta un par de cromosomas con satélite.

Tabla 4. Longitudes de los cromosomas de *D. metel* μm

Cromosoma	p	q	L.T.	I.C.	L
1	1.11 \pm 0.07	1.14 \pm 0.09	2.38 \pm 0.09	46.41	m
2	1.00 \pm 0.12	1.56 \pm 0.08	2.22 \pm 0.08	45.08	m
3	0.97 \pm 0.06	1.13 \pm 0.07	2.10 \pm 0.07	46.32	m
4	0.92 \pm 0.06	1.10 \pm 0.07	2.02 \pm 0.07	45.35	m
5	0.91 \pm 0.05	1.03 \pm 0.06	1.94 \pm 0.06	46.97	m
6	0.84 \pm 0.05	1.03 \pm 0.05	1.87 \pm 0.05	44.95	m
7	0.80 \pm 0.04	0.99 \pm 0.06	1.79 \pm 0.06	44.64	m
8	0.75 \pm 0.04	0.97 \pm 0.05	1.72 \pm 0.05	42.38	m
9	0.76 \pm 0.04	0.89 \pm 0.05	1.64 \pm 0.05	46.06	m
10	0.67 \pm 0.03	0.85 \pm 0.05	1.52 \pm 0.05	43.87	m
11	0.57 \pm 0.03	0.77 \pm 0.04	1.33 \pm 0.04	42.90	m
12	0.85 \pm 0.05	1.08 \pm 0.07	1.93 \pm 0.07	44.09	m

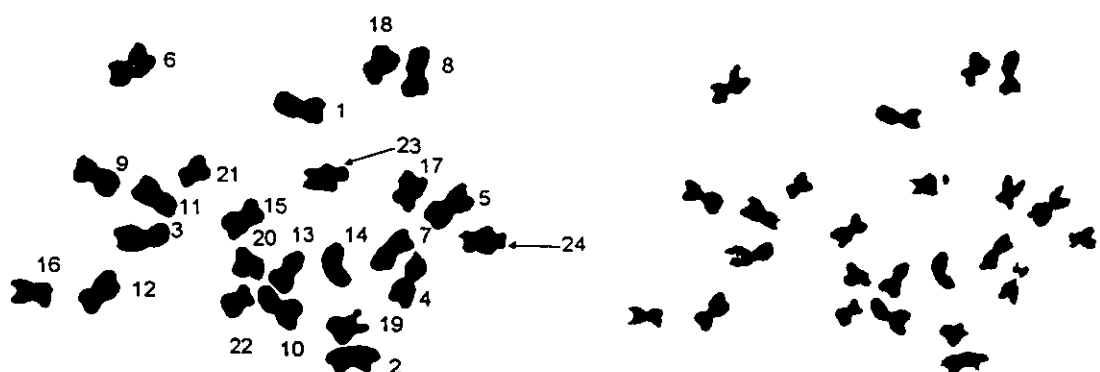
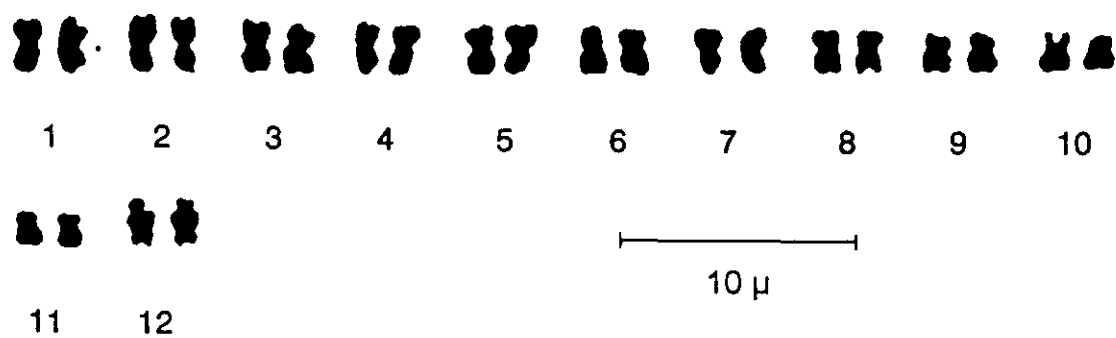


Fig 7. Cariotipo de *Datura inoxia* Mill.
Las flechas indican los cromosomas con satélite.

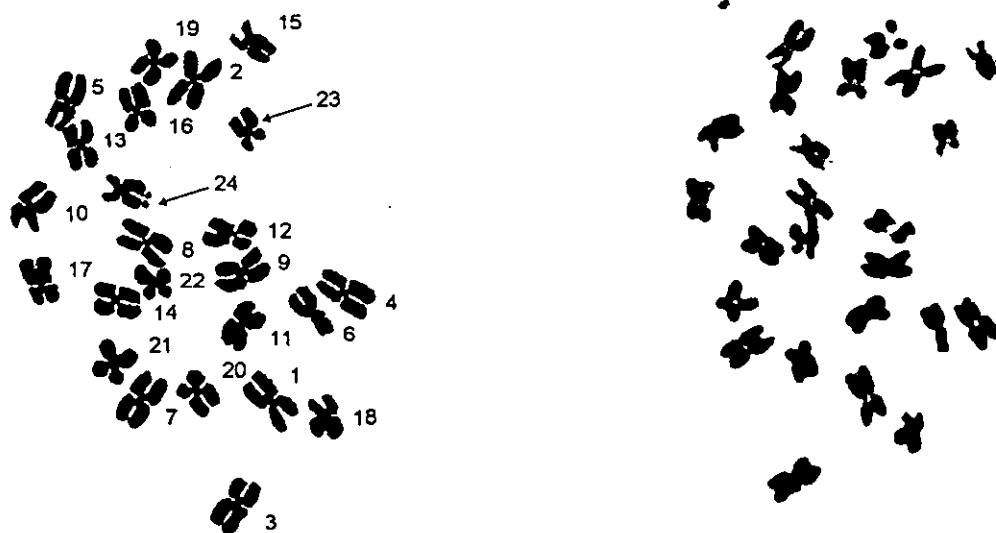
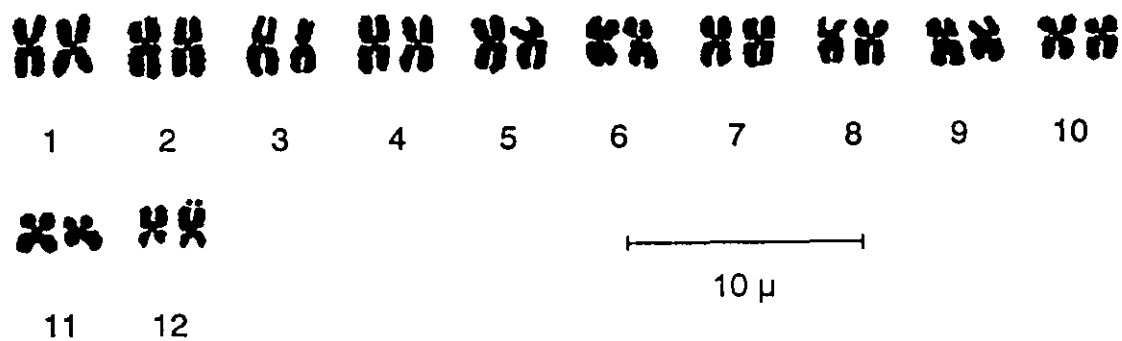


Fig 8. Cariotipo de *Datura metel* L.
Las flechas indican los cromosomas con satélites.

Para *Datura quercifolia* se reporta por vez primera el cariotipo (Tabla 7 y Fig. 9 y 11-D). Al igual que el resto de la especies estudiadas los cromosomas son metacéntricos y presentan un intervalo de longitud es de 1.20 - 2.15 μm . La longitud total de la cromatina es de $40.63 \pm 0.06 \mu\text{m}$ (Tabla 5), ubicándose en penúltimo lugar con respecto a las especies analizadas, sin embargo presenta los siguientes valores de índices de asimetría, para F% de 41.75 - 46.74 y para TF% 45.33, es el cariotipo más simétrico con respecto a las otras especies analizadas (Tabla 7). Presenta un par de cromosomas con satélite.

Tabla. 5. Longitudes de los cromosomas de *D. quercifolia* μm

Cromosoma	p	q	L. T.	I.C.	L
1	0.99 ± 0.05	1.16 ± 0.08	2.15 ± 0.14	46.25	m
2	0.88 ± 0.04	1.07 ± 0.07	1.95 ± 0.10	46.27	m
3	0.87 ± 0.04	1.01 ± 0.06	1.88 ± 0.10	46.31	m
4	0.85 ± 0.04	0.98 ± 0.06	1.83 ± 0.10	46.28	m
5	0.80 ± 0.04	0.96 ± 0.05	1.76 ± 0.09	45.45	m
6	0.79 ± 0.04	0.91 ± 0.05	1.69 ± 0.09	46.50	m
7	0.72 ± 0.04	0.87 ± 0.04	1.59 ± 0.08	45.49	m
8	0.68 ± 0.04	0.85 ± 0.04	1.53 ± 0.07	44.69	m
9	0.65 ± 0.03	0.79 ± 0.05	1.43 ± 0.07	45.21	m
10	0.61 ± 0.03	0.74 ± 0.04	1.35 ± 0.06	45.22	m
11	0.55 ± 0.03	0.65 ± 0.04	1.20 ± 0.06	45.87	m
12	0.81 ± 0.04	1.33 ± 0.06	1.94 ± 0.09	41.70	m

Datura stramonium tiene cromosomas metacéntricos (Fig. 10 y 11-E). El intervalo de longitud de los cromosomas es de 1.08-2.02 μm . La longitud total de la cromatina es de $37.34 \pm 0.06 \mu\text{m}$ (Tabla 6), siendo la especie que presenta una menor longitud total lo que se ve reflejado en el intervalo de la longitud de los cromosomas (Tabla7), sin embargo fue una de las especies que presentó el cariotipo más simétrico, ubicándose en tercer sitio después de *D. innoxia* con los siguientes índices de asimetría: F% de 44.37 - 48.62, y TF% de 44.18 (Tabla 7). Presenta un par de cromosomas con satélites, lo que no corresponde con los cuatro pares reportados por Viveros (1985) y Palomino *et al.* (1988)

Tabla 6. Las longitudes de los cromosomas de *D. stramonium* en μm

Cromosoma	p	q	L. T.	I.C.	L
1	0.92 ± 0.05	1.07 ± 0.05	1.99 ± 0.09	46.01	m
2	0.85 ± 0.04	1.00 ± 0.05	1.85 ± 0.08	45.92	m
3	0.79 ± 0.04	0.93 ± 0.04	1.72 ± 0.07	45.73	m
4	0.77 ± 0.04	0.88 ± 0.04	1.67 ± 0.07	46.71	m
5	0.74 ± 0.03	0.86 ± 0.04	1.59 ± 0.06	46.19	m
6	0.67 ± 0.03	0.84 ± 0.04	1.51 ± 0.06	44.55	m
7	0.67 ± 0.03	0.77 ± 0.03	1.43 ± 0.05	46.52	m
8	0.62 ± 0.03	0.72 ± 0.03	1.34 ± 0.06	46.34	m
9	0.57 ± 0.03	0.70 ± 0.04	1.27 ± 0.06	45.11	m
10	0.54 ± 0.03	0.65 ± 0.03	1.19 ± 0.06	45.79	m
11	0.53 ± 0.03	0.60 ± 0.03	1.09 ± 0.05	44.28	m
12	0.81 ± 0.04	1.21 ± 0.04	2.02 ± 0.08	40.13	m

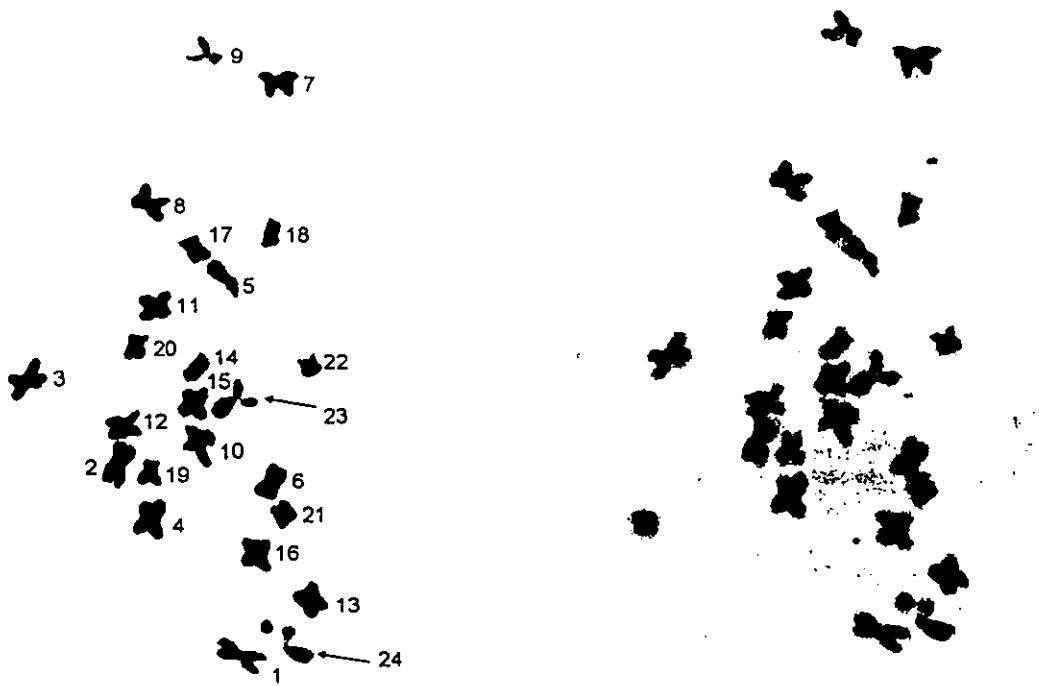
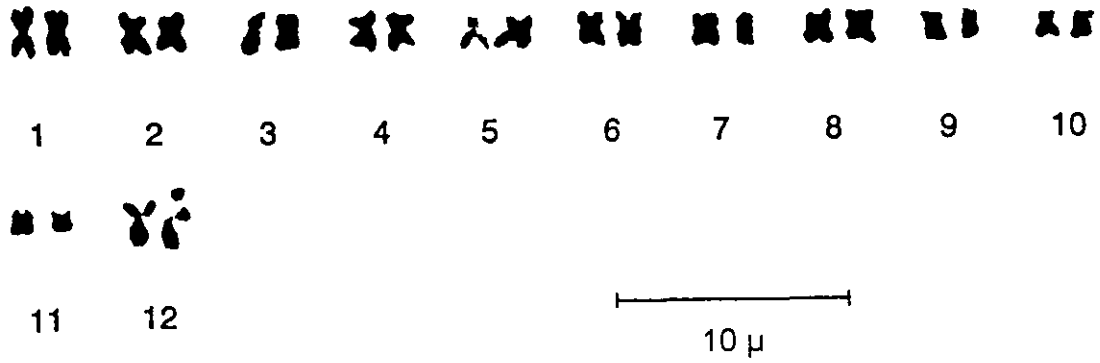


Fig 9. Cariotipo de *Datura quercifolia* HBK.
Las flechas indican los cromosomas con satélites.

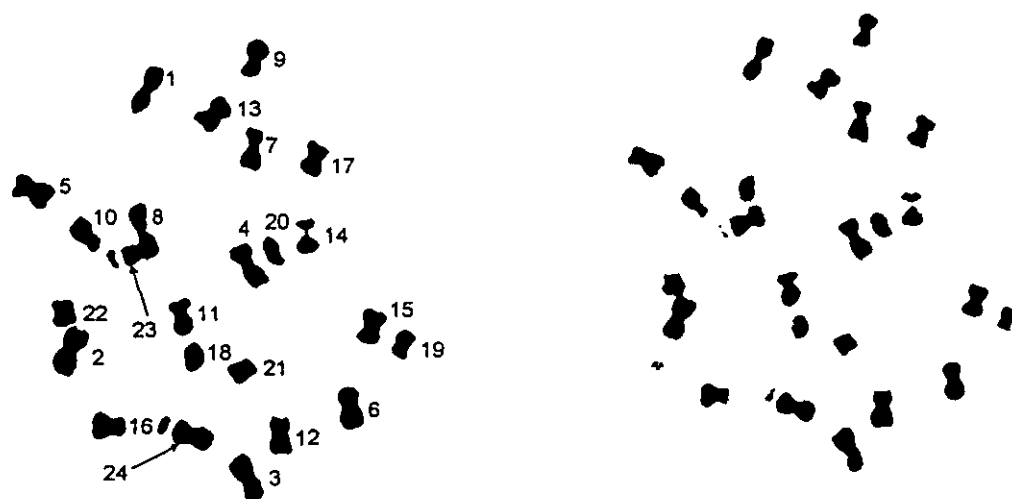


Fig 10. Cariotipo de *Datura stramonium* L.
Las flechas indican los cromosomas con satélites.



Fig. 11. Idiograma de las cinco especies de *Datura* estudiadas.
a) *D. inoxia*, b) *D. discolor*, c) *D. metel*, d) *D. quercifolia* y
e) *D. stramonium*

Resultados de la aplicación de pruebas estadísticas.

Para cada especie se obtuvieron las medidas de tendencia central de los 24 cromosomas. Estas medidas están referidas en la Tabla 8.

Los resultados obtenidos para el ANOVA de una sola vía se muestran en las Tablas 9 y 10. Se distingue que hay diferencias significativas entre las 5 especies en estudio (Tabla 9), debido a que el nivel de significancia es menor al α determinada (en este caso de 0.05, un 95% de confianza). En la Tabla 10 de resultados del ANOVA se aprecia que en cuanto al tamaño del genoma las especies *D. stramonium* y *D. quercifolia* están relacionadas porque éste es más pequeño con relación a las otras tres especies, lo que se puede corroborar también en la Tabla 7. *Datura metel* forma un grupo aparte no relacionado. *Datura discolor* y *D. inoxia* se encuentran relacionadas por la longitud del genoma que es más grande que el de las otras especies estudiadas, lo mismo se observa en la Tabla 7. Por último la especie con el genoma más grande es *D. inoxia* y la que lo tiene más pequeño es *D. stramonium* (Fig.12).

El ANOVA anidada para los cromosomas 1 y 24 arrojó los resultados mostrados en la Tabla 11 y 12 respectivamente. Para ambos cromosomas la mayor parte de la varianza ocurre a nivel de las células (47% y 67%, respectivamente). Ocurre una alta variación en el ámbito a nivel de individuos (46% y 20%, respectivamente). Sin embargo, dada la alta varianza a nivel de las células, la varianza a nivel de las especies no es significativa. Por lo tanto existen dos interpretaciones: (1) En la realidad existe una alta variación entre las células de las especies y posiblemente entre los individuos (sin la aplicación de ninguna técnica); y (2) El método de preparación causa la variación por ejemplo, a la hora de realizar el pretratamiento, la hidroxiquinoleína tal vez no actúe de igual forma en todas las células del meristemo; por lo que se tendría que mejorar y estandarizar el método de preparación. Esta última interpretación es la más adecuada ya que algunos autores como Jackson (1971) lo mencionan.

Todos los resultados de F están basados en el residual de los cuadrados medios del error.

Tabla 7. Análisis cariotípico de las cinco especies de *Datura* estudiadas.

Especie	2n	Fórmula cariotípica	L. T. Cromatina	n.f.	F%	TF%	x	Intervalo de los cromosomas µm	Long. cromo. promedio ± E µm	r ± E
<i>D. discolor</i>	24	12 m	49.45 ± 0.07	24	42.44 - 46.12	44.71	12	1.46 - 2.60	2.06 ± 0.07	1.24 ± 0.01
<i>D. inoxia</i>	24	12 m	50.36 ± 0.06	24	43.78 - 47.52	45.28	12	1.56 - 2.63	2.09 ± 0.06	1.21 ± 0.02
<i>D. metel</i>	24	12 m	44.92 ± 0.06	24	43.18 - 46.19	45.12	12	1.32 - 2.38	1.87 ± 0.06	1.23 ± 0.01
<i>D. quercifolia</i>	24	12 m	40.63 ± 0.06	24	41.75 - 46.74	45.33	12	1.20 - 2.15	1.69 ± 0.06	1.21 ± 0.01
<i>D. stramonium</i>	24	12 m	37.34 ± 0.06	24	44.37 - 48.62	45.18	12	1.08 - 2.02	1.56 ± 0.06	1.21 ± 0.02

L.T. = longitud total

n.f. = número fundamental.

E = error estándar

F% = rango de porcentaje de asimetría de los cromosomas de una especie.

r = índice de relación de brazos. TF % = porcentaje de asimetría total de una especie

Long. cromo. promedio = Longitud cromosómica promedio.

Tabla 8. Medidas de tendencia central y de dispersión para las cinco especies de *Datura* estudiadas

Especie	Tamaño muestra	Promedio	Mediana	Moda	Varianza	Desviación estandar	Error estandar
<i>D. discolor</i>	24	2.06044	2.06613	1.98387	0.13436	0.36655	0.07482
<i>D. inoxia</i>	24	2.09839	2.11613	1.08280	0.09248	0.03411	0.06208
<i>D. metel</i>	24	1.87177	1.87151	1.85591	0.08499	0.29152	0.05951
<i>D. quercifolia</i>	24	1.69313	1.71983	1.68894	0.07647	0.27654	0.05645
<i>D. stramonium</i>	24	1.55582	1.54731	1.50108	0.08983	0.29971	0.06118

Tabla 9. Análisis de Varianza de una sola vía para la longitud total de los promedios

Fuente de variación	Suma de cuadrados	g. l.	Cuadrados medios	Resultado de F	Nivel de significancia
Entre especies	5.128132	4	1.3045331	13.642	0.0001
Dentro de las especies	10.997310	115	0.0956288		
Total (corregido)	16.215442	119			

0 valores perdidos han sido excluidos

Todos los resultados de F están basados en el residual de los cuadrados medios del error.

Tabla 10. Análisis de LSD (Mínima Diferencia Significativa) para el ANOVA de dos factores.

Nivel (especie)	Contenido	Promedio de la longitud total de los cromosomas por especie	Grupos homogéneos
<i>D. inoxia</i>	24	2.0983879	X
<i>D. discolor</i>	24	2.0604367	X
<i>D. metel</i>	24	1.8717733	X
<i>D. quercifolia</i>	24	1.6931258	X
<i>D. stramonium</i>	24	1.5558246	X

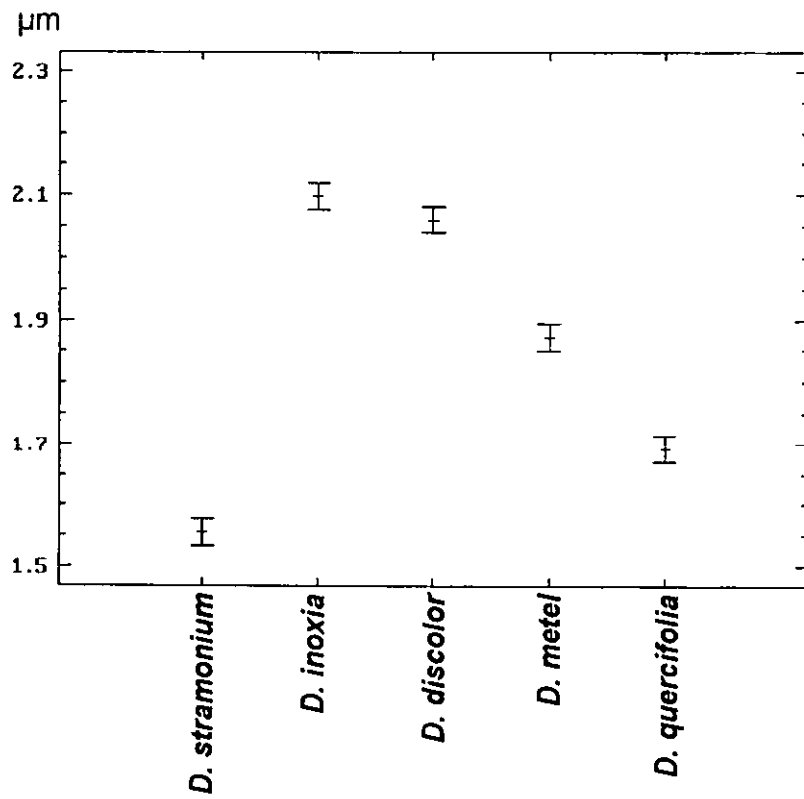


Fig. 12. Promedios de la Longitud cromosómica promedio de cada una de las especies de *Datura* obtenidos para el ANOVA.

Tabla 11. ANOVA anidada para el cromosoma 1 de todas las especies.

NIVEL	Varianza	g.l	Cuadrados medios	F
Especies	95.4829	4	23.87073	1.4388
Individuos	331.8049	20	16.59024	3.8867
Células	213.4217	50	4.26843	55.1240
Repeticiones	5.08075	75	0.07743	

Componentes de Varianza para el ANOVA anidado del cromosoma 1 de todas las especies

NIVEL	Componente de varianza	Porcentaje
Especies	0.24268	5.4301
Individuos	2.05363	45.9503
Células	2.09550	46.8871
Repeticiones	0.07743	1.7326

Tabla 12. ANOVA anidada para el cromosoma 24 de todas las especies

NIVEL	Varianza	g.l	Cuadrados medios	F
Especies	47.1258	4	11.78146	1.7019
Individuos	138.4542	20	6.92271	1.8255
Células	189.6158	50	3.79232	20.1558
Repeticiones	14.1113	75	0.18815	

Componentes de Varianza para el ANOVA anidado del cromosoma 24 de todas las especies.

NIVEL	Componente de varianza	Porcentaje
Especies	0.16196	6.0570
Individuos	0.52173	19.5119
Células	1.80508	67.3947
Repeticiones	0.18815	7.0365

DISCUSIÓN

Con base en el análisis de los cariotipos, las medidas del genoma y el número cromosómico ($2n=24$), de *D. stramonium*, *D. quercifolia*, *D. inoxia*, *D. discolor* y *D. metel* los resultados citogenéticos encontrados concuerdan con los previamente obtenidos para *D. discolor*, *D. stramonium*, y *D. inoxia* (Avery *et al.*, 1959; Federov, 1974; Bara, 1980; Goldblatt, 1981; Viveros, 1985; Palomino *et al.* 1988; Badr *et al.*, 1997), para *D. metel* (Badr *et al.*, 1997). Pero los resultados difieren por la presencia de constricciones secundarias en el caso de *D. discolor* y *D. Stramonium*. En el presente estudio solo se detectó un par de cromosomas con satélite, lo que no corresponde con lo reportado por Viveros (1985) y Palomino (1988) quienes informan de cuatro pares de cromosomas con satélite para estas dos especies.

Para *D. quercifolia*, que es una especie endémica del norte de Megaméxico, se reporta por vez primera el cariotipo.

No se encontraron poliploidías para ninguna especie, apoyando lo reportado por Palomino *et al.* (1988) y Viveros (1985), e indicando que la poliploidía tal vez no sea un mecanismo de evolución para este género. Por tanto y como lo propusieron Palomino *et al.* (1988), la diploidía es una condición fisiológicamente óptima para las especies de *Datura*. Esto también es apoyado por el número fundamental que es igual a 24 (que indica que se trata de un cariotipo simétrico) y por los índices de asimetría, que para las especies son básicamente simétricos. De aquí se deduce que en general *Datura* es un género primitivo en cuanto a simetría del cariotipo se refiere (Stebbins, 1971).

La simetría del cariotipo y la longitud del genoma (Fig. 11 y Tabla 10) se relacionaron para ver el significado taxonómico. De acuerdo a Darlington (1973) y Stebbins (1963), el cariotipo más simétrico y más grande es el que tiene una condición más primitiva. Si se comparan las especies estudiadas frente a este criterio, nos encontramos con lo siguiente: *D. inoxia* se encuentra en la condición más primitiva por tener el genoma más grande y ser uno de los más simétricos (ocupa el segundo lugar de las especies analizadas) (Tabla 10 y Gráfica 1); luego le sigue *D. discolor*, quién tiene el cariotipo menos simétrico, a continuación *D. metel* que también presenta uno de los cariotipos menos simétricos después de *D. discolor* (estas tres especies se encuentran la misma sección *Dutra*); y por último *D. quercifolia* quien presenta el cariotipo más simétrico de las especies analizadas y *D. stramonium* (de la sección *Datura*) que presenta el genoma más pequeño y el cariotipo mas simétrico que *D. discolor* y *D. metel*, pero menos simétrico que *D. quercifolia* y *D. inoxia*. *Datura stramonium* se coloca como la especie más especializada en cuanto al tamaño del genoma se refiere, y en cuanto a simetría del cariotipo, no está colocada entre las más primitivas puesto que presenta un cariotipo menos simétrico que dos de las especies analizadas.

Al compararse con los análisis cladísticos que se han hecho del género (Bye, 1995), encontramos a *Datura inoxia* entre las especies más primitivas mientras que *D. stramonium* está entre las más especializadas. Una evidencia de tipo morfológico y taxonómico que apoya a *D. inoxia* como una especie primitiva dentro del género *Datura* es la presencia de carúncula, que es una protuberancia tegumentada que se encuentra situada junto al hilo, al lado opuesto del micropilo, rica en azúcares y almidones que está asociada con dispersión por hormigas (una condición también considerada como primitiva) (Dennis & Hay, 1980). *D. stramonium*, no presenta carúncula, lo cual le da una condición más avanzada, ya que la dispersión de las semillas no es por hormigas sino por movimientos físicos (Symon & Haegi, 1991). Otra evidencia es que *D. stramonium* es una maleza exitosa con una distribución cosmopolita (una maleza está definida como una planta que crece predominantemente en cualquier área geográfica que haya sido perturbada por el hombre. Baker, 1974; Symon & Haegi, 1991). Las características malezoides que permiten a la planta adaptarse a hábitats antropogénicos son: a) rápido crecimiento entre la fase vegetativa a la floración, b) producción continua de semillas tan grande como las condiciones de crecimiento lo permitan, c) autocompatibilidad, sin llegar a ser autogámicas o apomicticas y d) alta productividad de semillas en circunstancias medioambientales favorables y en caso contrario menor producción pero presentan gran tolerancia y plasticidad. En *D. stramonium* estas características se consideran como una condición avanzada dado que se ha adaptado mejor a los ambientes que el hombre ha modificado, estableciéndose en gran parte del mundo, lo que no ocurre con las otras especies analizadas (Anderson, 1952; Baker, 1974; Harlan, 1975). Por lo tanto concuerda con los resultados citogenéticos encontrados en el presente estudio y con las evidencias filogenéticas y reproductivas antes reportadas por Symon & Haegi (1991) y Bye (1995).

Las pruebas estadísticas como el ANOVA (ver Tabla 9) permiten determinar las similitudes de las especies con respecto a las medidas del cariotipo y poder argumentar la hipótesis mencionada.

Con base en los ANOVAs, se llegó a conclusión de que sí hay diferencias significativas entre los promedios de la longitud de los cromosomas de las especies estudiadas, tomando en cuenta que se usó la longitud total de la cromatina para comparar a las especies, porque existe una relación directa entre el promedio de la longitud total de la cromatina y la longitud total de cada cromosoma por especie.

Al realizarse la prueba de mínima diferencia significativa (Tabla 10), se encontraron relacionadas a *D. inoxia* con *D. discolor* que pertenecen a la misma sección, *Dutra* (Safford, 1921; Avery *et al.*, 1959) y a *D. stramonium* con *D. quercifolia* de la sección *Datura*. (Safford, 1921). Esto apoya a la clasificación convencional. Con respecto a *D. metel*, ésta no se encuentra relacionada estadísticamente con ninguna de las otras especies analizadas, a pesar de pertenecer tradicionalmente a la sección *Dutra*. El tamaño de sus cromosomas es menor al de las especies *D. discolor* y *D. inoxia*, pero no se

parece tampoco a las especies que pertenecen a la sección *Datura*. Tal vez esto sea debido a que *D. metel* es una planta que ha sido cultivada por muchos años y ya presenta ciertas características citogenéticas con relación a la selección artificial.

El resultado sobre la presencia de constricciones secundarias es diferente de otros resultados. En el presente estudio, todas las especies analizadas solo presentan un par cromosómico con satélites. En los estudios anteriores de Viveros (1985) y Palomino *et al.* (1988) se reportaron dos pares de cromosomas con satélites para *D. discolor* además de relacionarla taxonómicamente con *D. stramonium*. Esto pudiera deberse a las diferencias en el grado de contracción de los cromosomas, ya que a veces los filamentos de ADN heterocromatínico pueden parecer regiones del organizador nucleolar (Jackson, 1971). Aunque también hay que tomar en cuenta que se trata de poblaciones diferentes. Para aclarar la situación se sugiere un estudio complementario a éste, acerca de la región del organizador nucleolar, que en realidad haga más evidente estrictamente a los cromosomas con satélite, con más poblaciones diferentes de las especies.

CONCLUSIONES

En todas las especies se encontró el mismo número cromosómico $2n = 24$. Por lo tanto la diploidía es una condición fisiológicamente óptima para las especies de *Datura*.

Datura es un género primitivo en cuanto a simetría del cariotipo se refiere. Las especies analizadas de la sección *Dutra*: *Datura discolor* y *D. inoxia* se encuentran relacionadas citogenéticamente, al igual que las de la sección *Datura*: *Datura stramonium* y *D. quercifolia*, lo cual apoya a la clasificación convencional del género. *Datura metel* no se encuentra relacionada con las dos especies analizadas pertenecientes a la misma sección debido a que es una especie domesticada.

Datura discolor y *D. stramonium* no están relacionadas debido a que muestran diferencias en la longitud total de la cromatina. Presentan el mismo número de cromosomas con satélite, un par únicamente.

Datura inoxia está propuesta como la más primitiva de las especies estudiadas con base al tamaño más grande de los cromosomas.

Se reporta por vez primera el cariotipo de *D. quercifolia*. Este estudio toma en cuenta esta especie para que sea una aportación más al conocimiento citogenético y biosistemático del género *Datura*.

Datura stramonium es más avanzada que las otras especies basado en el tamaño más pequeño de sus cromosomas. También considerada como la maleza exitosa del mundo.

Datura metel, una especie domesticada que es más especializada que su supuesto progenitor *D. inoxia*, presentó diferencia en el tamaño de los cromosomas (más pequeños) que el mismo y por lo tanto es diferente a éste (Stebbins, 1971; Symon & Haegi, 1991). Las características de especialización pudieran ser favorecidas por el hombre al intervenir en su domesticación.

Bibliografía

- Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K y Watson, J.D. 1983. Biología molecular de la célula. Ed. Omega. Barcelona, España. 1011p.
- Anderson, E. 1952. Plants, man and life. University of California Press. Berkeley CA. 251 p.
- Avery, A., Santana, S y Rietsema, J. 1959. Blakeslee: The genus *Datura*. The Ronald Press Company. New York. 280p.
- Badr, A., Khalifa, S.F., Aboel-Atta, A.I y Abou-El-Enain, M.M. 1997. Chromosomal criteria and taxonomic relationships in the Solanaceae. Cytol. 62: 103-113.
- Baker, H.G. 1974. The evolution of weeds. Annual Review of Ecology and Systematics 5:1-24.
- Bara, Y. 1980. Cariotipul unor specii de plants. II. Studiul Cromozomilor mitotici la *Datura innoxia* Mill. Stud. Cert. Biol. ser. Veg. 32: 163-164.
- Baytop, A. 1978. Flora of Turkey. Vol. VI. Edinburgh at the University Press. p. 451-452.
- Benhardi, J.J. 1833. Über die Arten der Gattung *Datura*. Trommsdorf neues Journal Pharmazie. 26(1): 118-168. [Republicado en Linnea 8: 115-144. 1833]
- Bernard, J. 1976. Population cytogenetics. Edward Arnold. London. 76 p.
- Brachet, J.L y Ducourtioux, C. D. 1981. Effect du NaCl sur les taux d'esters tropaniques du *Datura innoxia* Mill, cultivé en conditions controllees. Phisol. Veg. 19: 77-85.
- Bye, R. 1982. La taxonomía y la etnobotanica de *Datura*. IV Congreso Nacional de Farmacología. Resúmenes. Asociación Mexicana de Farmacología. Durango, Dgo.
- Bye, R y Linares M. E. 1987. Usos pasados y presentes de algunas plantas medicinales encontradas en los mercados mexicanos. América Indígena 47 (2): 199-230.
- Bye, R. 1995. Biodiversidad de *Datura* (Solanaceae) en México. Proyecto P088 Reporte Final. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.

- Conger, A. D y Fairchild, L. M. 1953. A quick- freeze method for making smear slide permanent. *Stain Techno.* 28(6): 281-283.
- Correll, D. S y Johnston, M. C 1970. *Manual of the Vascular Plantas of Texas.* Texas Research Foundation. Renner. pp.1404-1406.
- Darlington, C. D. 1973. *Chromosome botany an the origin of cultivated plants.* George Allen & Unwin, London. 237p.
- D'Arcy, W. G. 1973. Solanaceae, *In* R. E. Woodson and R.W. Schery. *Flora of Panamá.* *Ann. Mo. Bot. Gard.* 60 (3): 622-624.
- Dennis, J. O y Hay, E. 1980. Mutualism between harvester ants and a desert ephemeral: Seed escape from rodents. *Ecology* 61 (3): 531-540.
- Díaz, J. 1976. *Indice y sinonimia de las plantas medicinales de México.* Instituto Mexicano para el Estudio de las Plantas Medicinales A. C. México. D.F. pp. 36-38.
- Dyer, J. 1979. *Investigating chromosomes.* Edward Arnold, London. 215 p.
- Federov, A. 1974. *Kromosomiye chisla tsevettkovij rasteniy.* Otto Koelz. Science Publishers. 926 p.
- Fuentes, V. 1980a. Solanaceas de Cuba I. *Datura* L. *Revista del Jardín Botánico Nacional (Cuba)* 1 (1-2): 61-81
- Fuentes, V. 1980b. *Datura velutinosa*, una nueva especie de Solanaceae para Cuba. *Revista del Jardín Botánico Nacional* 1: 53-60.
- García, A. 1990. *Técnicas y procedimientos de citogenética vegetal.* 3ª Edición. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 144 p.
- Gleason, H. A. 1963. *The New Britton and Brown illustrated flora of the northeastern United States and adjacent Canada.* New York Botanical Garden. New York. 3: 204.
- Goldblatt, P. 1981. *Index to Plant Chromosome Number 1975-1978.* *Monographs in Systematics Botany from the Missouri Botanical Garden* 5: 467
- Haegi, L. 1976. Taxonomic account of *Datura*. L. (Solanaceae) in Australia with a note on *Brugmansia* Pers. *Aust. J. Bot.* 24: 415-435.
- Harlan, J.R. 1975. *Crops and man.* American Society of Agronomy. Madison Wisconsin. USA. 295 p.

- Holm, L.G, Plunkenett, D.L, Pancho, J.V, Herbreger, J.P. 1977. The World's Weeds: Distribution and biology. Honolulu, Hawaii: East West Center Book.
- Jackson, R. C. 1971. The karyotype in systematics. *Annual Review of Ecology and Systematics* 2: 327-368.
- John, E. 1976. Population cytogenetics. Edward Arnold. London. 301 p.
- Lacadena, J.R. 1981. Genética. A.G.E.S.A. Madrid. 1903p.
- Levan, A., Fregda, K, Sandberg, A.A 1964 Nomenclature for centromeric position on chromosomes. *Hereditas* 52: 201-220.
- Lewitzky, G. 1931. The karyotypes in systematics. *Bull. Appl. Bot. Genet. Plant Breed.* 27: 220-240.
- Lockwood, T. E. 1973. Generic recognition of *Brugmansia*. *Botanical Museum Leaflets (Harvard University)* 23 (6): 273-284.
- McGregor, R. L y Brooks, R. E. 1986. Flora of the Great Plains. University Press of Kansas. Lawrence. pp. 638-640.
- Martin, W. C., Hutchins, C. R. 1981. A Flora of New México. Springer-Verlag. Berlin. 2: 1746-1774.
- Mathey, R. 1945. L'évolution de la formule chromosomiale chez les vertébrés. *Experientia* 1:50-75.
- Matuda, E. 1952. El género *Datura* en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 14: 1-13.
- Moore, D. 1982. Flora Europea. Check list and Chromosome Index. Cambridge University Press. 423 p.
- Munz, P. A. 1974. A flora of Southern California. University of California Press. Berkeley, CA. p. 831
- Nee, M. 1986. *Datura* In Flora de Veracruz. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bioticos. Xalapa, Veracruz. México. Fasciculo 49 p. 191.
- Palomino, G., Viveros, R y Bye, R.A. 1988. Cytology of five Mexican species of *Datura* L. (Solanaceae). *Southwestern Naturalist* 33(1): 85-90.
- Rieger, A., Michaelis, A y Green, A. 1976. Glossary of genetics and cytogenetics. Springer-Verlag. Berlin. 647p.
- Rzedowski, J. 1983. La vegetación de México. Ed. Limusa. México D.F. 432 p.

- Safford, W. E. 1921. Synopsis of genus *Datura*. Journal of Washington Academy of Sciences 2(8):173-189.
- Shreve, F y Wiggins, I.L. 1964. Vegetation and flora of The Sonoran Desert. Stanford. University Press. Stanford, CA. pp.1327-1328.
- Sinha, S. y Roy, H. 1979. Citological studies in the genus *Phaseolus* I: Mitotic analysis in fourteen species. Cytologia 44: 191-199.
- Sokal, R.R. y Rohlf, J. 1979. Biometría. Blumes. Madrid. 831p.
- Sota, E. R. 1982. Taxonomía y la revolución de las ciencias biológicas. Ed. OEA. Washington. 90p.
- Stebbins, L. G. 1950 Variation and Evolution in Plants. Columbia University Press. New York. 643 p.
- Stebbins, G. L. (Jr). 1958. Longevity, habitat and release of genetic variability in the higher plants. Cold Spring Harbor. Symposia on Quantitative Biology 23:365-377.
- Stebbins, L. 1963. Variation and evolution in plants. Columbia University Press. New York. 643p.
- Stebbins, L. 1971. Chromosomal Evolution in Higher Plants. Adisson-Wesley Publishing Company. New York. 246p.
- Stuessy, T.F. 1990. Plant taxonomy. Columbia University Press. New York. 514p.
- Symon E. y Haegi, A.R. 1991. *Datura* (Solanaceae) is a new world genus, in: J.G. Hawkes, R.N. Lester. M. Nee, and N. Estrada (eds) Solanaceae III: Taxonomy, chemistry, evolution. Royal Botanic Gardens, Kew and Linnean Society of London. pp.197-210.
- Viveros, R. 1985. Análisis cariotípico de cinco especies del género *Datura* distribuidas en la República Mexicana. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias. UNAM. 42 p.
- Wiggins, I. L. 1980. Flora de Baja California. Stanford University Press. Stanford, CA. p.153.