



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA
UNIDAD DE BIOLOGÍA, TECNOLOGÍA Y PROTOTIPOS
(UBRIPO)
LABORATORIO DE RECURSOS NATURALES

“Citogeografía de *Agave marmorata* Roehl y *Agave peacockii* Croucher
(AGABACEAE) ubicados en las Terrazas Aluviales del Valle de
Zapotitlán Salinas, Puebla, México”

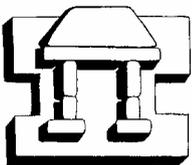
TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGO PRESENTA:

VARGAS JURADO MIGUEL ANGEL

DIRECTOR DE TESIS:

DR. SAÚL FLORES MAYA.



IZTACALA

México, DF. Febrero de 2006



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 mi abuelita Esther y a mi abuelito Julián, GRACIAS POR CUIDARME... GRACIAS POR DARMÉ INFANCIA. LOS QUIERO, ADMIRO Y RESPETO MUCHO.

A mi mamá Mari, por que desde pequeño me estuviste alentando para que terminara una carrera y pudiera tener una profesión digna...

A mi padre, por que gracias a su apoyo pude terminar mi carrera...

A mis hermanas, Evelin y Marifyn, por que a pesar que de pequeñas no pase suficiente tiempo con ellas ahora que están lejos de mí las quiero más que nunca...

A mi FAMILIA, Keila y Keymi, POR QUE GRACIAS A USTEDES APRENDÍ QUE LOS GOLPES DE LA VIDA Y LA INDEFERENCIA DE LAS PERSONAS, CON USTEDES, NO EXISTEN Y TODO CAMBIA...

A Keila, por que gracias a ti sigo VIVO Y NUEVA CRIATURA SOY, no tienes idea de CUANTO TE AGRADEZCO y CUANTO TE AMO... GRACIAS A DIOS POR TU VIDA Y POR UNIRLA A LA MÍA.

A MI BEBE, Keymi, por que GRACIAS A TI COMPRENDI QUE TENGO UN MAR DE SENTIMIENTOS Y QUE NO SOY TAN MALA PERSONA, COMO PAREZCO, CONTIGO SOY OTRO... TE AMO Y TE ADMIRO ESPERO QUE TÚ CUANDO CREZCAS SIENTAS LO MISMO.

A la familia de Keila, por que a pesar de que no les caía bien ahora no se pueden separar de mí, ni yo de ellos... En especial a mi cuñada Areli y a la “Cuca” alias Noemí, GRACIAS POR TODO, LAS QUIERO MUCHO.

A la Sra. Amparo, por que aunque no quiera SOY SU NIETO POLÍTICO CONSENTIDO... GRACIAS POR ACEPTARME EN SU FAMILIA Y EN SU CASA, LA APRECIO MUCHO.

A mi tío Gustavo, por que gracias a ti aprendí lo que es ser disciplinado y dedicado...

A mis malas compañeras de escuela: Moni y Stepfy, por que gracias a que formé equipo con ustedes hoy puedo terminar mi carrera... A mis buenos compañeros: Cooki, Daniel y Ebric, por que si hubiera continuado con ustedes no hubiera terminado mi carrera, de cualquier modo: ¡Gracias por esas parrandas!

AGRADECIMIENTOS

A la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO y a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala por permitirme realizar mis estudios de Bachillerato y Licenciatura y por permitirme realizar mi trabajo de Tesis en sus Instalaciones. Pero sobre todo por permitirme conocer al AMOR DE MI VIDA y PODER FORMAR UNA FAMILIA.

A mis profesores, quienes me formaron como Biólogo y como persona.

Al Dr. Saúl, por dirigir y asesorar este trabajo... ¡Gracias por brindarme su amistad y ser una gran persona!

A mis revisores de Tesis: Dra. Silvia Romero Rangel, Dr. Víctor Manuel Rivera Aguilar, M. en C. Ernesto Aguirre León y M. en C. Carlos Rojas Zenteno. Gracias por sus comentarios y por las sugerencias realizadas al trabajo de tesis.

*Al Dr. Santiago Arizaga, por la información proporcionada sobre los usos de los magueyes: *Agave marmorata* y *Agave peacockii*. Además de las sugerencias realizadas al protocolo de investigación.*

Índice de Contenido

Resumen	1
Introducción	2
Antecedentes.....	6
Justificación	8
Objetivos.....	9
General	9
Particulares.....	9
Área de estudio.....	10
a) Ubicación.....	10
b) Clima	11
d) Edafología	12
e) Vegetación.....	13
Materiales y métodos.....	15
A) Material biológico	15
I) <i>Agave marmorata</i> Roehl.....	15
II) <i>Agave peacockii</i> Croucher.....	16
B) Estudio citogenético	18
C) Conteo de Cromosomas	19
D) Análisis estadísticos.....	19
E) Estudio areográfico	20
Resultados.....	21
I) Estudio citogenético	21
II) Estudio areográfico.....	32
Análisis y Discusión	43
Conclusiones	47
Anexo.....	48
Literatura Citada	50

Resumen

Se realizó un estudio cariológico en *Agave marmorata* Roezl y *Agave peacockii* Croucher, además de un análisis de las formas de sus áreas de dispersión dentro del Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Los meristemas radiculares de ambas especies fueron utilizados para determinar el índice mitótico, el número cromosómico y su cariotipo. Estos fueron pretratados con hidroxiquinoleina y posteriormente se fijaron con Farmer por 24 hrs. Posteriormente fueron hidrolizados con ácido clorhídrico. Finalmente, se montaron las muestras y se tiñeron con aceto-orceína y se observaron las fases mitóticas en microscopio óptico. Este estudio reporta por primera vez el número cromosómico de *A. marmorata* y *A. peacockii*, los cual muestra que los niveles de ploidía de ambas especies es de $2x=2n=60$. Por otra parte, la distribución de *A. marmorata* en la localidad es más amplia, mientras que *A. peacockii* únicamente se le puede situar al suroeste de la localidad. Se establece a manera de conclusión que la distribución espacial de *A. peacockii* está limitada, por las siguientes variables: variación en las condiciones de suelo, los tipos de vegetación de la zona, por su condición de diploide ($2n$) y su posible carácter híbrido, por lo que su presencia en la zona depende de la sincronización de la floración de sus progenitores y su capacidad de reproducción, sexual y asexual, que tiene esta especie.

Introducción

La familia Agavaceae es nativa de América. En la actualidad, ocho géneros son reconocidos (García-Mendoza, 1995), todos los miembros de esta familia presentan una estructura básica en cuanto a sus rosetas, flores e inflorescencias.

El género *Agave* alberga alrededor de 200 especies y tiene como centro de origen a México (Gentry, 1982; Álvarez de Zayas, 1989; Reinchenbacher, 1985). Es el género más grande de la familia, en donde la mayoría de las especies se localizan en México (cerca de 125). De las especies restantes, algunas de ellas se ubican en el sur de los Estados Unidos de América con cerca de 15 especies, principalmente en Arizona; 12 en las Antillas (Álvarez de Zayas, 1989), y el resto en América central y el Norte de Sudamérica (por ejemplo en Bolivia y Paraguay). La mayor diversidad del género *Agave* se encuentra en el centro de México, en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, en el Cañón Barranca de Mezquitlán, La Sierra Madre Occidental y en las regiones del Desierto de Chihuahua, el cual podría ser el centro del origen del género. Un hecho importante es que la mayoría de las especies del género *Agave* son endémicas y sólo son encontradas en pocos hábitats específicos y montañas. (García Mendoza, 2002)

Estudios basados sobre la citogenética de este género, coinciden en que varias especies diploides se encuentran localizadas en el centro del país; a partir este origen se da una variación genotípica en el género *Agave* de $2n$, $3n$, $4n$, $5n$ y $6n$ (Darlington, 1956; Vázquez, 1977). La zona de distribución del agave es característica de zonas con clima árido y semiárido. Sin embargo su distribución puede darse en climas templados, cálidos o secos.

Los agaves, o magueyes como son conocidos popularmente, se distribuyen ampliamente por toda la República Mexicana. Su uso se remonta a la época Precolombina, actualmente se sabe que en el Altiplano mexicano se presentan las primeras evidencias de su cultivo y también es la región en donde se puede observar la mayor diversidad de usos que se le ha dado a estas plantas. A partir de ésta localidad, diversas especies fueron llevadas a distintas regiones del país primeramente por parte de diversas etnias precolombinas favoreciendo su domesticación y expansión, posteriormente, con la conquista española, se intensifica su distribución de algunas especies como un modelo de colonización.

En la actualidad, los usos más conocidos que se la dan a los magueyes son como: alimentación (los cogollos son horneados y consumidos; las flores son consumidas ya cocidas, fritas o hechas en tortilla; el quiote es comido antes de la floración), elaboración de bebidas alcohólicas (pulque, tequila y mezcal), extracción de fibra o ixtle (hilos para tejer costales, tapetes, morrales, ceñidores, redes de pesca y cordeles), materiales para construcción (las pencas enteras se usaban para techar las casas a modo de tejado, los quiotes secos servían como vigas y como cercas para delimitar terrenos; las púas o espinas se utilizaban como clavos y como agujas) y como medicina alternativa o naturista (de las pencas se extrae el jugo para la elaboración de jarabes que contrarrestan la tos, el polvo de penca se utiliza como cicatrizante y antibiótico). (Castorena-Sánchez *et a.* 1991; Arizaga y Ezcurrea, 2002)

A pesar del valor cultural, ornamental, económico y biológico que representa este grupo de plantas, son pocos los estudios citogenéticos que se registran en la literatura científica, Sin embargo, como lo señalaron Castorena-Sánchez 1985 y Castorena-Sánchez *et al.* 1991, el interés de estudiar la citogenética clásica de este género podría conducir a un mejor entendimiento de su biología en el aspecto genético y aportar bases científicas para dilucidar su taxonomía. En base a lo anterior, se justifica, realizar estudios citoareográficos para establecer características en cuanto a la cantidad de material genético presente en las diversas especies de éste género y cómo se modifica a lo largo de su distribución.

La morfología de los cromosomas puede suministra información muy valiosa para establecer diferencias y relaciones de parentesco, al compararse los cariotipos. Esta clase de análisis se puede realizar en plantas que poseen grandes cromosomas, los cuales pueden distinguirse por su diferencia de tamaño, por la posición del centrómero, por las constricciones secundarias, por la presencia de satélite o por la variación en la intensidad de coloración debido a la heterocromatina. (Krapovickas, 1972; Stace, 2000)

Por ejemplo, en *Ephedra* existe un cariotipo básico formado por cinco cromosomas metacéntricos grandes y dos cromosomas acrocéntricos más pequeños. En *Araucaria* de Sudamérica existen dos especies alopátricas, poseen cariotipos muy semejantes, pero difieren en la longitud total de los cromosomas. De esta manera, los cariotipos pueden ayudar a determinar el número básico de un género, el nivel intraespecífico, delimitar especies y resolver problemas de relaciones intergenéricas (Krapovickas, 1972).

De esta manera, parámetros como el número de cromosomas, la caracterización de su cariotipo y el comportamiento de sus cromosomas en la meiosis pueden ser utilizadas como cualquier otro tipo de datos comparativos; es decir, pueden estos parámetros ser una guía más confiable para apoyar la clasificación taxonómica, así como dilucidar dinámicas evolutivas de los organismos. (Flores, 1986)

Antecedentes

Durante el tiempo de desarrollo de este trabajo no se encontraron referencias sobre los reportes del número cromosómico de *Agave marmorata* y *Agave peacockii*.

En la base de datos del Index to plant Chromosome Numbers (IPCN) del Jardín Botánico de Missouri se establecen 31 reportes del número cromosómico del género *Agave*, los cuales señalan la condición $2n$, $3n$ y $4n$ del género. (IPCN, 2005)

Uno de los primeros estudios realizados sobre el género *Agave* es de Granik (1944), el cual presenta el número cromosómico de 30 especies de magueyes; con lo cual se pudo determinar la serie euploide de $2n$, $3n$, $4n$, $5n$ y $6n$ del género, además de que se logró clasificar a las 30 especies conocidas en un grupo taxonómico determinado.

Vázquez (1977), realizó un estudio sobre el número cromosómico y el cariotipo de *A. atrovierens* Kart., determinando una variación muy marcada desde individuos con 150 cromosomas hasta individuos con 179 cromosomas, comprobando que dicha variación se debe a factores genéticos, tales como la segregación en meiosis, y no a factores ambientales (temperatura, precipitación, altitud, exposición y orientación) puesto que se realizó el estudio bajo condiciones controladas en invernadero.

Flores (1986), llevó a cabo un estudio citogenético y fitogeográfico de *A. lechuguilla* y *A. crassispina*, concluyendo que el número cromosómico diploide de *A. lechuguilla* es de $2n= 90$, mientras que el de *A. crassispina* corresponde a $2n= 120$.

Castorena-Sánchez y colaboradores (1991), realizaron un estudio para establecer el número cromosómico, cariotipo y variación cromosómica natural de *Agave angustifolia*, *A. angustifolia* var. *marginata*, *A. fourcroydes*, *A. sisalana*, *A. tequilana* y el híbrido 11648, en donde los números cromosómicos reportados para cada especie de maguey fueron: $6x=180$, $2x=60$, $5x=150$, $5x=150$, $2x=60$ y $2x=60$, respectivamente. Estableciendo que los procesos de especiación están dados por factores tales como reorganización y mutaciones puntuales en los cromosomas, lo cual nos ayudaría a comprender la diversificación de los cariotipos.

Moreno (2003), realizó un estudio citogenético y areográfico dentro del Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, en *A. karwinskii* Zucc. y *A. macroacantha* Zucc., donde los conteos cromosómicos reportados muestran que la distribución de los niveles de ploidía de las especies es diploide ($2x = 60$) en toda la zona de estudio.

Por último, Valverde y colaboradores (1996), hicieron un análisis morfométrico de *A. marmorata* y *A. kerchovei* sugiriendo que *A. peacockii* es un híbrido de estas dos especies, lo que ya previamente había sido insinuado por Gentry (1982) basándose en sus características somáticas.

Justificación

A pesar de que los magueyes tienen su origen y centro de dispersión en nuestro país, el estudio de su citogenética ha sido escasamente estudiado. En particular, se conoce muy poco sobre la caracterización de los cromosomas de las especies contenidas en el territorio mexicano. Por tanto, es importante realizar este tipo de estudios no sólo para contribuir al establecimiento de una caracterización taxonómica confiable, sino también, para contribuir al conocimiento su biología evolutiva.

A. marmorata y *A. peacockii*, son especies endémicas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Esta reserva ecológica está sometida a un proceso de desertificación y desertización, presenta baja productividad, existen alteraciones de las funciones holísticas del ecosistema, hay una disminución y pérdida de la biodiversidad, así como un nivel socioeconómico bajo. (SEMARNAT, 2005)

Por lo mencionado anteriormente, la zona tiene gran importancia para los estudios ecológicos y citogenéticos en magueyes, principalmente porque constituye una de las áreas que comprende la mayor riqueza y número de endemismos de estas plantas a nivel mundial y nacional (García-Mendoza, 1995; CONABIO, 2004).

Objetivos

General

- Realizar los estudios citogenéticos y areográficos de *Agave marmorata* Roezl y *Agave peacockii* Croucher para establecer su distribución en las terrazas aluviales del Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla.

Particulares

- Establecer el índice mitótico de las células meristemáticas radiculares de *Agave marmorata* Roezl y *Agave peacockii* Croucher.
- Obtener el número cromosómico y cariotipo de *Agave marmorata* Roezl y *Agave peacockii* Croucher en Zapotitlán Salinas, Puebla.
- Elaborar mapas del área de distribución cariotípica de *Agave marmorata* Roezl y *Agave peacockii* Croucher en el Municipio de Zapotitlán Salinas, Puebla.

Área de estudio

a) Ubicación

La región de Zapotitlán es un ecosistema semiárido localizado en la región meridional suroeste del estado de Puebla y el noreste del estado de Oaxaca, México entre los 18° 12' y 18° 24' de latitud norte y entre los 97° 24' y 97° 36' de longitud oeste. Presenta una precipitación anual de aproximadamente 400 mm y una temperatura de entre 18-22 °C (Zavala-Hurtado, 1982). Según Rzedowski (1978), el tipo general de vegetación es matorral xerófito, conformado por una vegetación adaptada a ambientes áridos y caracterizada por numerosos taxa principalmente arbustivos espinosos, herbáceas anuales y suculentas con formas de vida muy variadas (cactáceas, agaváceas, bromeliáceas). El área es parte de la provincia florística del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, el cual ha mostrado un nivel significativo de diversidad florística y endemismo.

El Valle posee una superficie aproximada de 270 km², con un rango altitudinal de 1,460 a 2,600 msnm (López-Galindo et al., 2003). Particularmente, el estudio se realizó en algunas terrazas aluviales que son unidades geomorfológicas específicas, que consisten de sedimentos calcáreos provenientes de los procesos erosivos tan intensos que se dieron en el cuaternario que han ocupado la parte baja del Río Salado (INEGI, 1987; Barrera, 2001; García, 2001; López-Galindo *et al.*, 2003). Actualmente, las terrazas se están fragmentando y presentan características muy particulares, las cuales sugieren diversos grados de deterioro, causados por factores naturales como la erosión eólica e hídrica, y por la actividad humana. En esta última, los sistemas agrícolas y los cambios en el uso del suelo son parcial o totalmente los factores que determinan la pérdida de la cubierta vegetal. Consecuentemente, se han formado áreas con altos niveles de deterioro

(i.e., badlands). El estudio se realizó en cuatro zonas de las terrazas aluviales que fueron establecidas de acuerdo con Muñoz *et al.* (Citado en UBIPRO, 1998). Estos sitios presentan diversos gradientes de perturbación en el suelo, en la estructura y la diversidad de la vegetación (Oliveros-Galindo, 2000). La zona A, es un sitio poco alterado. Los perfiles y horizontes del suelo están completos y bien desarrollados, el suelo es franco-arenoso. La vegetación muestra una estructura y una fisonomía bien definidas, con una riqueza de especies y con un patrón claro de estratificación vertical. En contraste, la zona D se considera muy deteriorada, porque el suelo original a desaparecido, mostrando sedimentos arcillosos y derivados de lutita y caliza. Las zonas B y C son sitios también muy perturbados, aquí prácticamente la vegetación original del tipo de matorral xerófilo, está siendo eliminada (Fig. 1). (Muñoz *et al.*, 2002).

Las zonas de muestreo en las terrazas aluviales ocupan una extensión total de 9,600 m².

b) Clima

La Sierra Madre Oriental, y específicamente la Sierra de Zongólica, constituyen una barrera para los vientos húmedos del Golfo de México, formando así una zona de características físicas única, con una precipitación promedio a lo largo del año de 400-450 mm. El clima general de Zapotitlán Salinas corresponde al tipo BShw(w)(e)g, de acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por García (1973); este tipo de clima se caracteriza por ser seco con lluvias en verano, con dos máximos de lluvia en junio y septiembre; separados por dos estaciones secas. La temperatura media anual oscila entre los 18 y 22.7 °C. (Valiente-Banuet *et al.* 1995)

c) Hidrología

Hacia el sur entre Valsequillo y Tehuacán se distribuyen grandes afloramientos de calizas que descansan sobre rocas metamórficas paleozoicas. Estos afloramientos constituyen el borde norte de la Sierra Madre del Sur y funciona como recargamiento de los mantos acuíferos. Esta porción se localiza en la región de Tehuacán, en la cual se aprovecha el agua subterránea para uso agrícola e industrial, mediante una red de galerías filtrantes de notable longitud. (INEGI, 1987)

A pesar de las diversas formas de relieve, el patrón de drenaje que tiene el sistema en su mayor parte es dendrítico y subdendrítico, estos dos tipos están relacionados al tipo de roca que se presenta en la región del sistema (las calizas, conglomerados y lutitas). La penetración del agua busca su cauce siguiendo siempre las zonas de fracturas de lutitas. (Barrera, 2001)

d) Edafología

La parte baja de la Cuenca del Río Salado o Zapotitlán ha sido seleccionada porque en esta se encuentra una unidad geomorfológica formada de terrazas aluviales, constituidas de sedimentos transportados de diferentes orígenes que han rellenado las partes bajas del valle, formando así suelos profundos que sirven de soporte para el desarrollo de comunidades vegetales conocidas como mezquitales. (UBIPRO, 1998)

Algo que conviene aclarar es que las terrazas no forman un sistema continuo a lo largo del río, sino que se interrumpen debido a que en muchos sitios la corriente ya las erosionó, se puede decir que el Sistema de Terrazas Aluviales no es uniforme en toda su extensión en cuanto a composición y naturaleza del material sedimentario que lo conforma, sino que se pueden distinguir cuando menos dos clases de secuencias de materiales diferentes que definen dos series morfológicas igual que el suelo.

La primera es la Serie Zapotitlán que se distribuye en las terrazas del centro y occidente de la cuenca, presenta un subsuelo con rellenos que llegan a tener espesores de hasta 18 m, presenta estructuras con uno o cuatro mantos, algunos muy estratificados.

La segunda es la Serie Granjas, se distribuyen hacia el sur de la cuenca. En dos de las tres bifurcaciones, con espesores de mantos de hasta cinco metros y con estructuras sencillas de hasta uno a tres mantos. Los suelos son de color café o café amarillento, de texturas franco arenosas, arenos francos y franco arcillo-arenosas, con estructura granular y poliédrica de baja estabilidad (García, 2001).

e) Vegetación

El matorral crassicaule es el tipo de vegetación que se presenta con más frecuencia, sobre todo en las zonas de las laderas. Las especies que dominan son *Neobuxbaumia tetetzo* y *Cephalocereus columna trajani*. Otro tipo de vegetación dominante es el matorral espinoso compuesto principalmente de *Cercidium preacox*, *Prosopis laevigata*, *Opuntia spp.* (Barrera, 2001)

Cabe definir que en este Sistema es donde se da con mayor intensidad la interacción con las actividades humanas. (Barrera, 2001)

A lo largo del cauce del “Río Salado” se encuentran comunidades vegetales representadas por *Acacia constricta* y *Cercidium praecox* y de matorral espinoso en donde se encuentra *Mimosa luisana*, *Myrtillocactus geometrizans* y *Prosopis laevigata*.

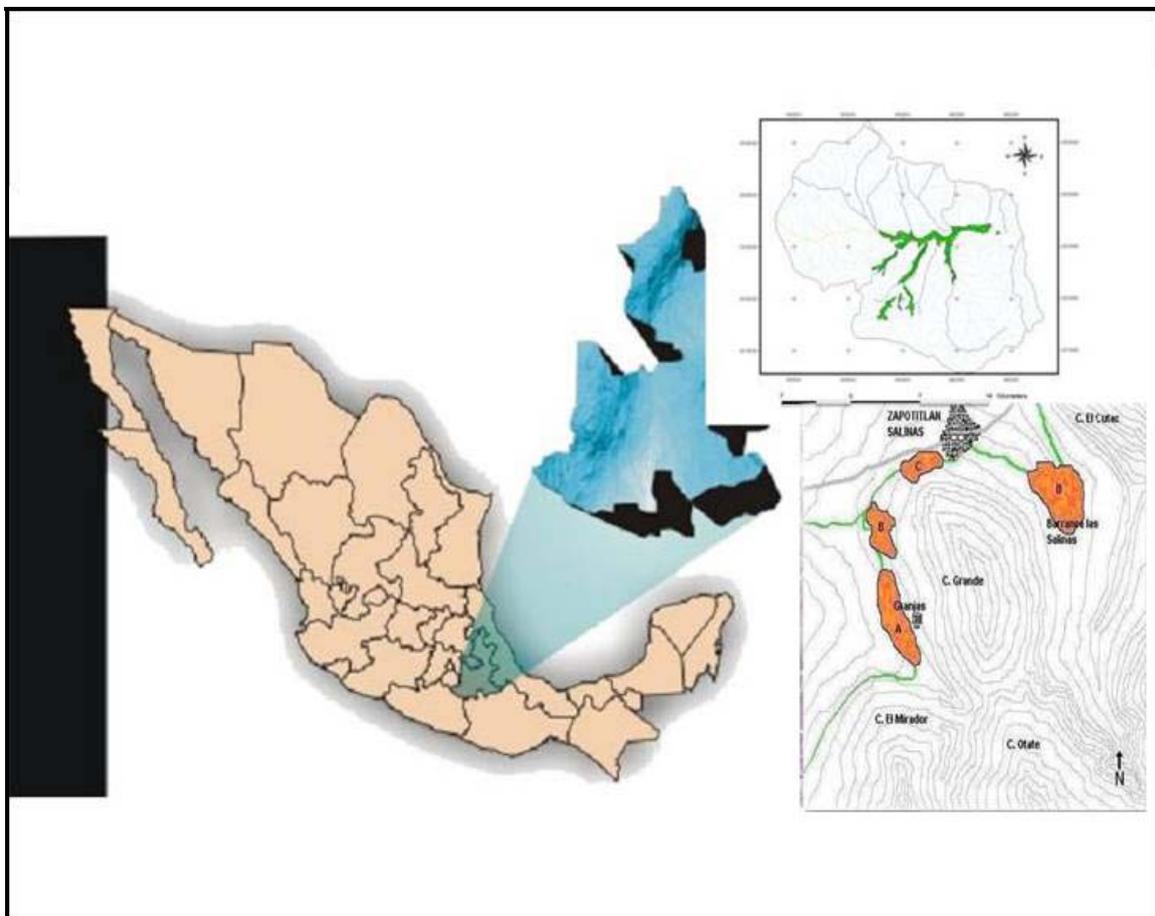


Figura 1. Ubicación geográfica de Zapotitlán Salinas, Puebla, indicando las zonas de muestreo.

Materiales y métodos

A) Material biológico

I) *Agave marmorata* Roezl

***Agave todaroi* Baker**

Es una especie endémica de México. Su distribución abarca todo el Valle de Tehucán-Cuicatlán. El nombre común con el cual se conoce localmente es “*pitzometl* o “*pichomel*”, “*huiscole*” o “*maguey curandero*”. El último nombre hace referencia al uso medicinal que le dan los habitantes de la localidad. Es una especie con rosetas largas, tallo corto, despliega de 30-50 hojas, 1.2 m de alto, 2 m de ancho, con pequeñas flores amarillas brillantes de 48 mm de longitud. Posee generalmente espinas cónicas de aproximadamente 1.5-3 cm. Los ovarios presentes en las hojas alcanzan magnitudes entre 20-25 mm (Fig. 2). (Gentry, 1982)

Los usos que se le da a las parte anatómicas del *pichomel* son los siguientes: algunas personas llegan utilizar el polvo de penca de este maguey, como cicatrizante y antibiótico; el polvo lo obtienen de pencas secas. Las pencas son utilizadas como condimenta en la preparación de la barbacoa, algunos comuneros utilizan las pencas de este maguey para hacer incisiones en la región donde fue mordido algún animal por una víbora venenosa. Estas incisiones son realizadas al punzar la lesión con las espinas de las pencas (con la idea errónea de que con ello se derramará el veneno y en consecuencia se evitará la muerte).

El tallo principal o “piña” se utiliza para elaborar aguamiel, pulque y mezcal y con el quiole se elaboran artesanías y es empleado como material para la construcción. Además, tanto la piña como el quiole son tatemados para ser consumidos como dulces. (Arizaga y Ezcurra, *com. per.*)

II) *Agave peacockii* Croucher

Agave roezliana* variedad *peacockii

Agave ghiesbreghtii* variedad *peacockiide

Es una especie endémica de México y en especial del Valle de Zapotitlán. El nombre común con el cual se le conoce en Zapotitlán Salinas es “*Cateshe*” y “*Capulixtle*”. Es de tamaño mediano a largo con rosetas abiertas que se separan con largas hojas armadas de espinas y racimos libres en el que se observan las inflorescencias. En etapa madura presenta de 60-145 hojas de 10-16 cm, lineales o lanceoladas, usualmente pareadas, cercanas al centro, rígidas y con ascensión horizontal. Las espinas poseen longitudes de 2.5-9 cm., aciculares y presenta una coloración café oscuro a gris. Además, por la parte interior de las hojas posee protuberancias a manera de espinas. Las inflorescencias llegan a medir 3-5 m. Los ovarios miden unos 24-28 cm (Fig. 3). (Gentry, 1982)

Los usos que se le da a las partes anatómicas del Capulixtle son: i) elaboración de cuerdas y mecates con las fibras de las pencas; ii) extracción de aguamiel y pulque a partir de la piña; iii) como material de construcción con las pencas y quioles; y iv) para alimentar el ganado a partir de las pencas y de la piña previamente picada. (Arizaga y Ezcurra, *com. per.*)



Figura 2. *Agave marmorata*.



Figura 3. *Agave peacockii*.

B) Estudio citogenético

Se determinó el Índice Mitótico para ambas especies de magueyes siguiendo la metodología establecida en Rodríguez y Seijo (2001) y García (1990). Los ápices radiculares colectados se trataron previamente con 8-hidroxiquinoleína al 0.002M, durante un período de 4 hrs en refrigeración.

Posteriormente los ápices radiculares se fijaron en solución de Farmer (alcohol+ácido acético), durante aproximadamente 12 hrs. El material fue lavado con agua destilada para eliminar el fijador de los tejidos.

Se hidrolizaron los ápices con ácido clorhídrico (HCL, 12N) a temperatura ambiente durante 30 min, se decantó el HCL y se equilibraron las raíces durante un min. con solución Tris-HCL. Después de la hidrólisis, se enjuagaron las muestras con Cloruro de potasio o agua desionizada. Por último se dejaron en agua desionizada durante 30-60 min. Las raíces fueron teñidas con aceto-orceína al 1% dejando reposarlas durante 30 min. Finalmente, se realizó la dispersión del tejido y se observó en el microscopio óptico.

Se llevó a cabo un registro de la frecuencia de los conteos cromosómicos de *A. marmorata* y *A. peacockii*. En el cual se contaron un total de 250 células por cada diez individuos de cada una de las poblaciones detectadas en las cuatro localidades.

C) Conteo de Cromosomas

Se obtuvo una serie de fotografías que fueron procesadas por un software de análisis de imagen versión 3.1 (UTHSCSA, 2003), determinando con esto el número cromosómico y el cariotipo de las especies de *A. marmorata* y *A. peacockii*.

D) Análisis estadísticos

Para evitar posibles errores producidos por el diferente grado de condensación que pueden presentar las distintas preparaciones metafásicas, las comparaciones entre cariotipos se realizaron en medidas relativas (porcentajes de la longitud total del genoma). Para cada par cromosómico se obtuvieron los valores relativos de la longitud total (LT), longitud del brazo largo (BL) y brazo corto (BC).

Los ideogramas y las medidas cromosómicas de cada especie fueron representados en porcentajes de la longitud total del genoma, detallando también la longitud absoluta (um). Para la clasificación de los cromosomas en relación a la posición del centrómero se siguió la nomenclatura propuesta por Levan *et al.* (1964).

Se definió el grado de asimetría del cariotipo de estas especies basado en las categorías establecidas por Romero-Zarco (1986). En donde, para el coeficiente de asimetría intracromosomal se aplicó la fórmula:

$$A_1 = 1 - \sum (b_i/B_i)/n$$

Donde: b_i , es el promedio del tamaño para los brazos cortos en cada cromosoma homólogo y B_i , es el promedio de tamaño para los brazos largos en cada par cromosómico homólogo (Mejías y Cristina, 2004).

Para la variación de asimetría intercromosomal, se empleó la fórmula del coeficiente de dispersión de Pearson, que es, la proporción entre la desviación estándar y la media de la longitud de los cromosomas para cada muestra:

$$A_2 = s / x.$$

E) Estudio areográfico

Se estableció la distribución espacial, en las terrazas aluviales del Valle de Zapotitlán Salinas, de las especies utilizando un navegador personal (Garmin's GPS 12 XL) y con ayuda de mapas digitalizados de la zona (Environmental Systems Research Institute, 1995).

Resultados

I) Estudio citogenético

Los resultados obtenidos en el índice mitótico de *Agave marmorata* mostraron un tiempo de colecta para localizar el mayor número de metafases que fue a las 9:00 am (Fig. 4). Por otra parte, *Agave peacockii* mostró dos horas de colecta para localizar las células en metafases, estas fueron de las 6:00 am y a las 15:00 pm, aunque cabe destacar que el número de metafases en esta variedad fue menor en comparación con *A. marmorata*. (Fig. 5)

Basándose en los conteos realizados por individuo de cada especie se determinó que el número cromosómico (Tabla 1 y 2) que es de $2n=60$ para *A. marmorata* (Fig. 6) al igual que para *A. peacockii* (Fig. 7). El número cromosómico obtenido para las dos especies coincide con lo reportado en la literatura para el género *Agave*. Además se puede observar un rasgo distintivo en el cariotipo de estas variedades que es la presencia de cinco pares de cromosomas largos y 25 pares de medianos a pequeños en el carácter haploide. (Fig. 8 y 9)

La clasificación de los cromosomas de *A. marmorata* resultó de la siguiente manera: cuatro fueron subtelocéntricos (*st*), nueve submetacéntricos (*sm*), doce metacéntricos región media (*m*), y cinco metacéntricos en el sentido estricto (*M*). Por otro lado, en *A. peacockii*, se reconocen un par *t*, cuatro pares *st*, dos pares *sm* y 18 *M*. Los pares cromosómicos de las dos especies que fueron clasificados en la misma posición centromérica son: del 10 al 14, es decir, sólo un 8.3% de su morfología es similar. (Tabla 3 y 4)

En la determinación de la simetría, la cual sirvió para establecer las diferencias en tamaño y la relación de brazos entre cromosomas no homólogos de los dos genomas aquí analizados, se obtuvieron los índices de asimetría intracromosomal para *A. marmorata* ($A_1=0.0083$) y *A. peacockii* ($A_1 =0.0079$), y el índice intercromosomal de *A. marmorata* (0.53) y *A. peacockii* de (0.85).

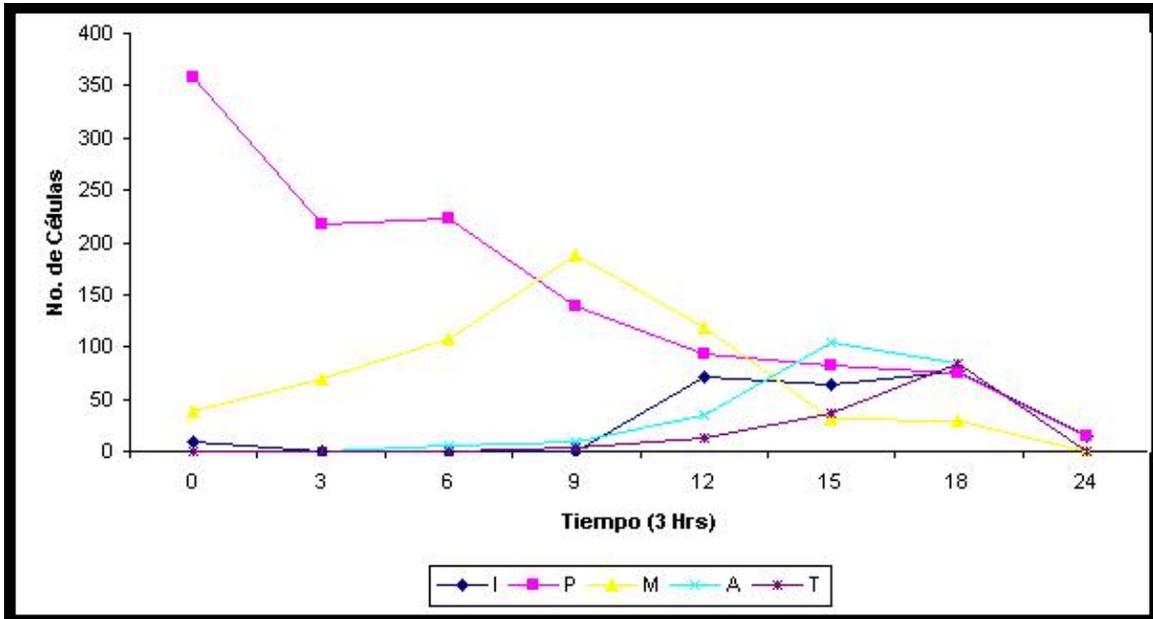


Figura 4. Ciclo celular de células de meristemo de *Agave marmorata*.

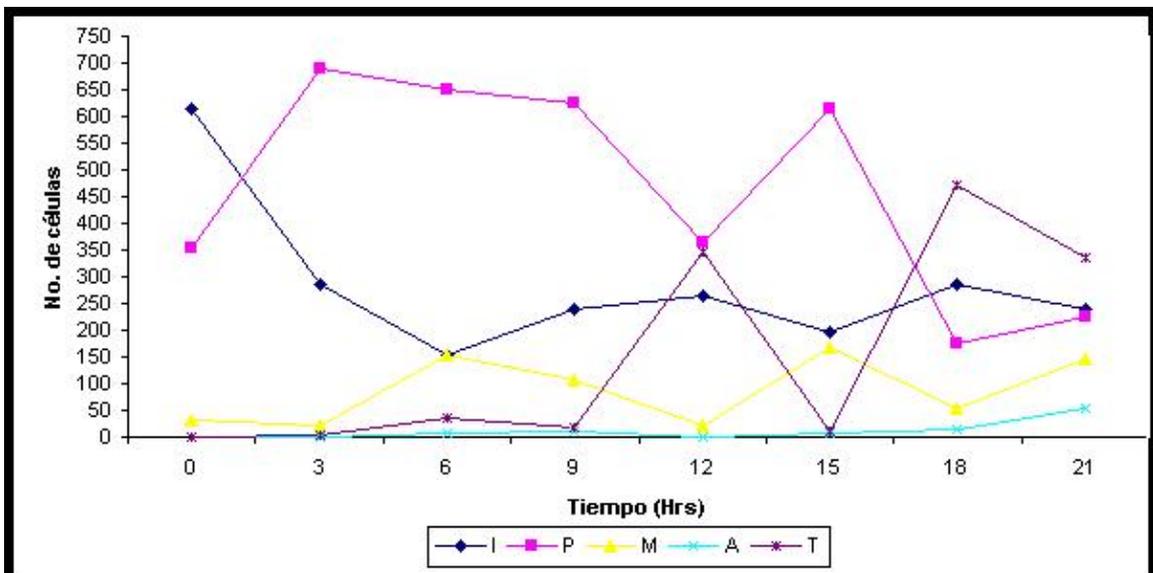


Figura 5. Ciclo celular de células de meristemo de *Agave peacockii*.

Tabla 1. Conteos cromosómicos de *Agave marmorata* Roehl. En la localidad de Zapotitlán Salinas, Puebla.

Taxa	Localidad Zapotitlán Salinas, Puebla.	No. De poblaciones	No. de plantas analizadas por muestreo y células encontradas	2n
<i>Agave marmorata</i> Roehl.	ZONA A N 18° 18' 57.1" W 97° 29' 0.55" 1496m	1	10 individuos/250 células	60
	N 18° 18' 12" W 97° 30' 9.2" 1542m			
	N 18° 18' 08.6" W 97° 30' 11" 1558m			
	ZONA B N 18° 18' 44.3" W 97° 30' 21.4" 1559	1	10 individuos/250 células	60
	N 18° 18' 14.2" W 97° 30' 15.1" 1559			
	N 18° 18' 05.9" W 97° 36' 15.9" 1528			
	ZONA C N 18° 19' 22.9" W 97° 28' 40.7" 1457m			
N 18° 19' 26.6" W 97° 28' 51.1" 1494m				

	Localidad Zapotitlán Salinas, Puebla.	No. De poblaciones	No. de plantas analizadas por muestreo y células encontradas	2 n
	ZONA D N 18° 19' 31.7" W 97° 27' 17.6" 1458m	1	10 individuos/250 células.	60
	N 18° 19' 31.4" W 97° 27' 18.2" 1443m			
	N 18° 19' 33.1' W 97° 27' 09.3" 1425m			

Tabla 2. Conteos cromosómicos de *Agave peacockii* Croucher. En la localidad de Zapotitlán Salinas, Puebla.

Taxa	Localidad Zapotitlán Salinas, Puebla.	No. De poblaciones	No. de plantas analizadas por muestreo y células encontradas	2 n
<i>Agave peacockii</i> Roehl.	ZONA A No se detecto su presencia			
	ZONA B No se detecto su presencia			
	ZONA C No se detecto su presencia			
	ZONA D N 18° 19' 33.6" W 97° 27' 08.4" 1446m	1	10 individuos/250 células	60

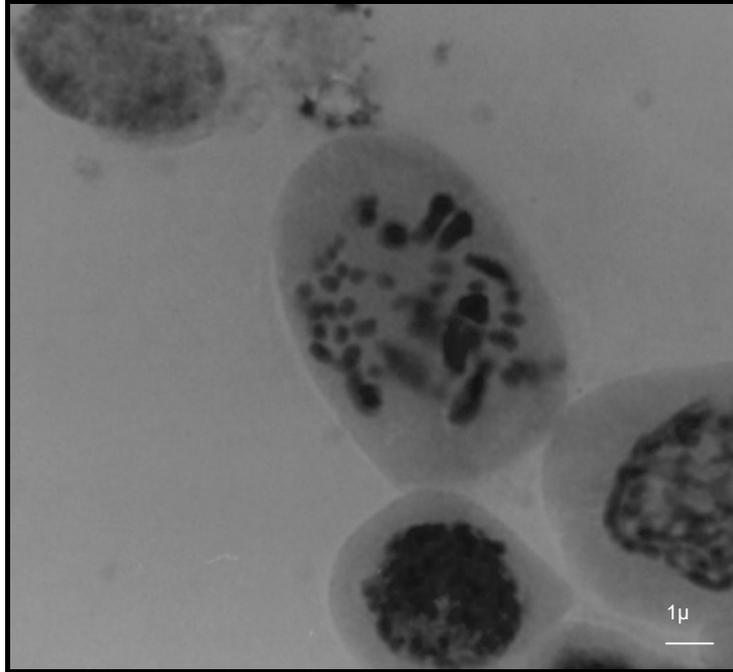


Figura 6. Célula mitótica de *Agave marmorata* con número cromosómico de $2n=60$.

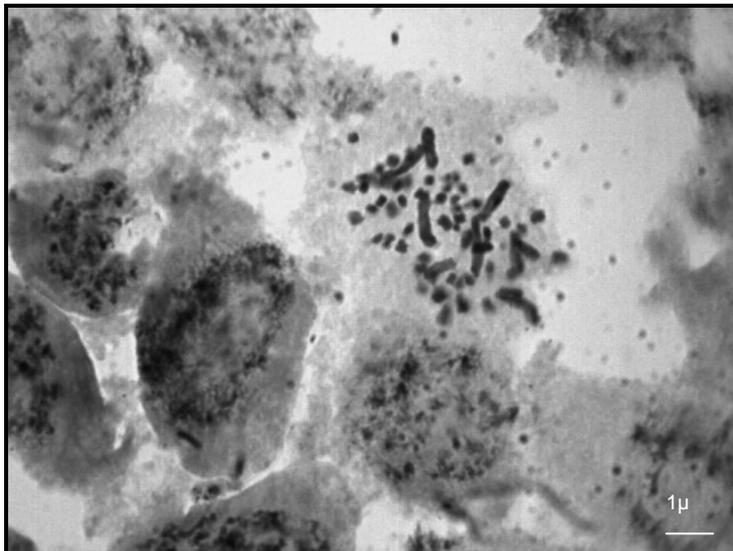


Figura 7. Célula mitótica de *Agave peacockii* con número cromosómico de $2n=60$.

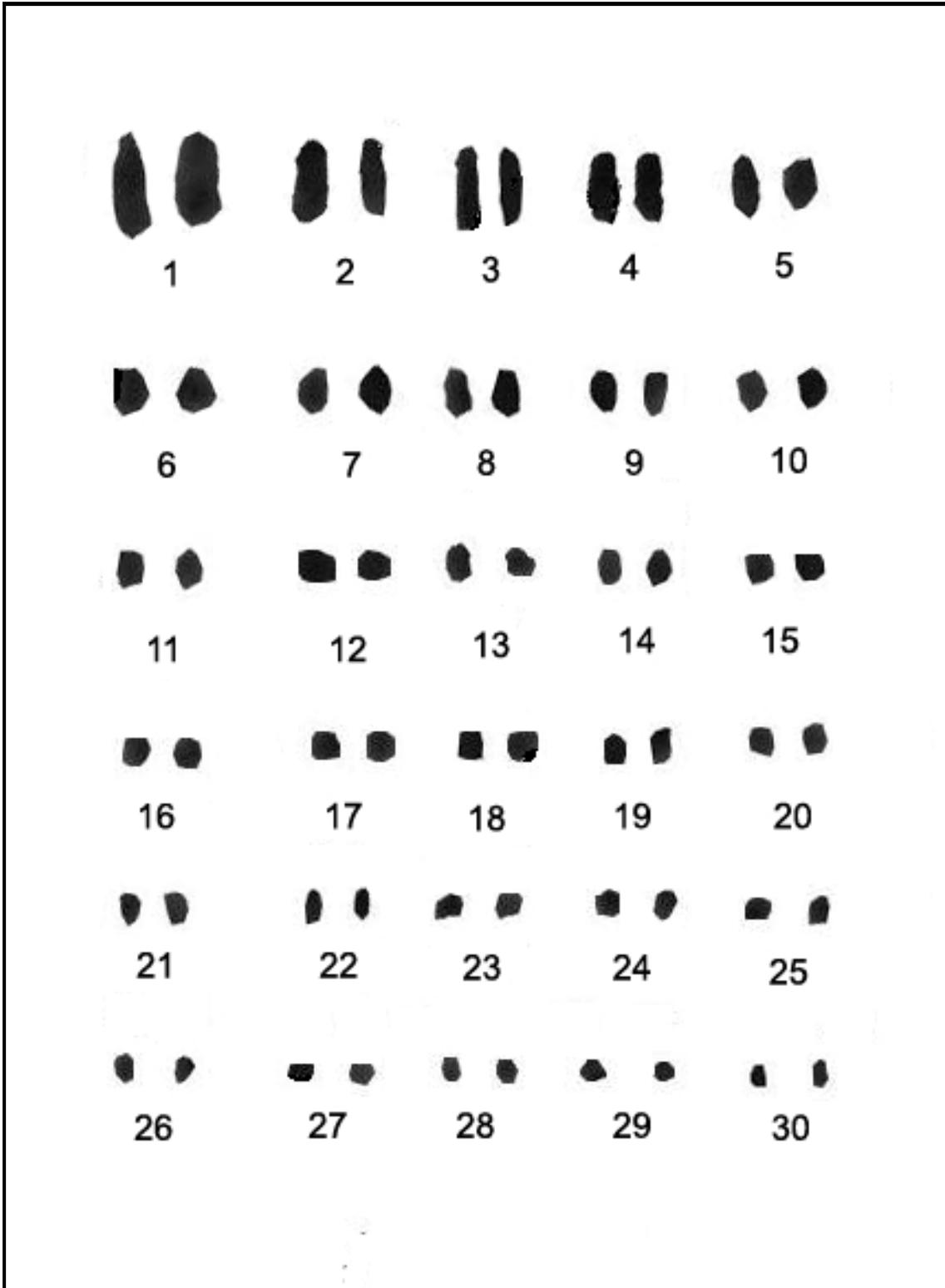


Figura 8. Cariotipo de *Agave marmorata* (2n=60)

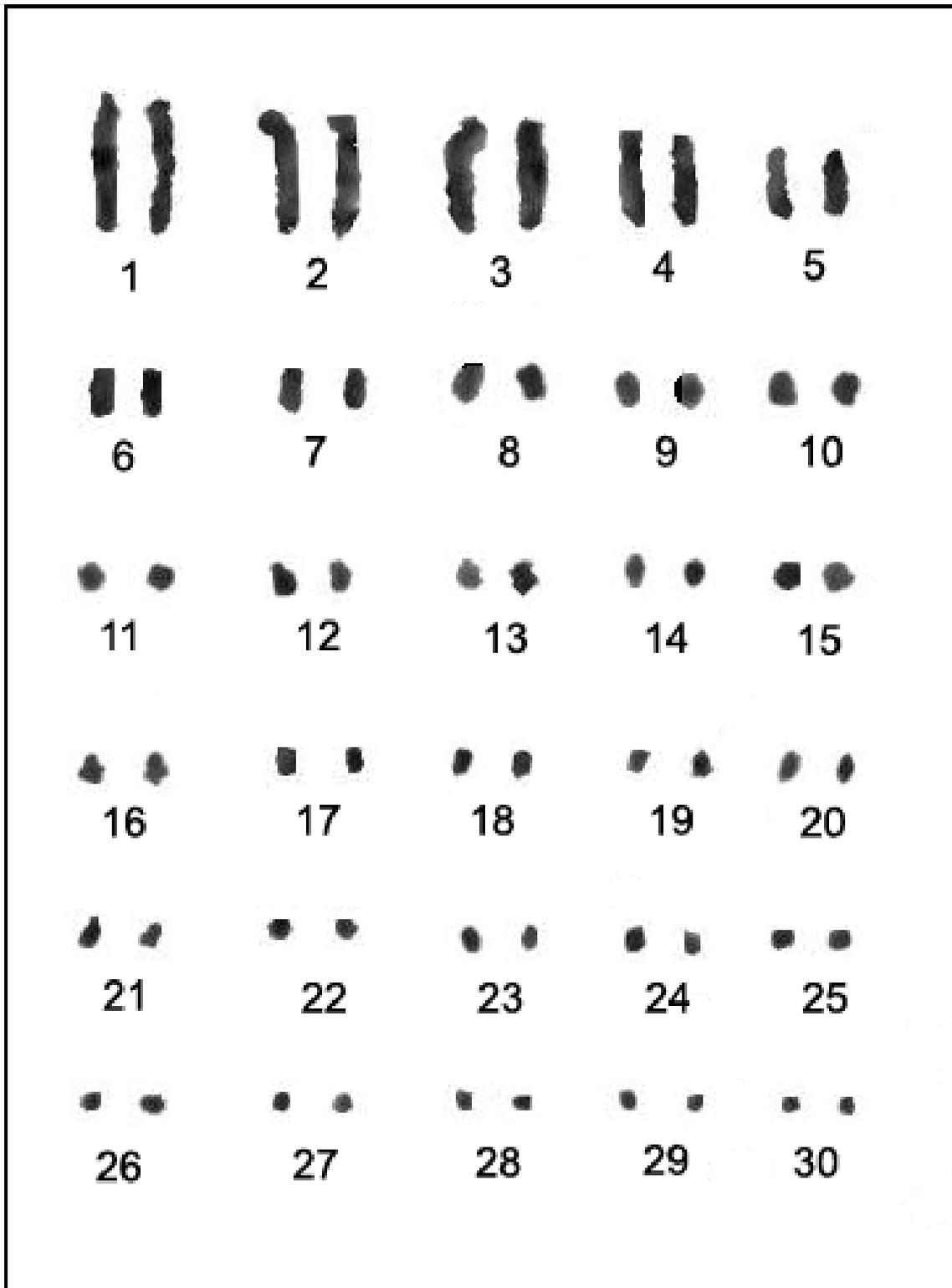


Figura 9. Cariotipo de *Agave peacockii* ($2n=60$)

Tabla 3. Determinación de los valores d, r, i para la nomenclatura de cromosomas propuesta por Levan *et al.* (1964). Cariotipo de *Agave marmorata* Roehl.

Par	C	s	L	d	r	i	Nomenclatura
1	2,35	0,4	2,0	6,6	4,9	17,0	st
2	1,85	0,3	1,6	6,8	5,2	16,2	st
3	1,85	0,3	1,6	6,8	5,2	16,2	st
4	1,6	0,3	1,3	6,3	4,3	18,8	st
5	1,3	0,5	0,8	2,3	1,6	38,5	m
6	1,1	0,4	0,7	2,7	1,8	36,4	sm
7	1,05	0,4	0,7	2,4	1,6	38,1	m
8	1,05	0,4	0,7	2,4	1,6	38,1	m
9	1,0	0,4	0,6	2,0	1,5	40,0	m
10	0,9	0,45	0,5	0,0	1,0	50,0	M
11	0,9	0,45	0,5	0,0	1,0	50,0	M
12	0,8	0,4	0,4	0,0	1,0	50,0	M
13	0,75	0,37	0,4	0,1	1,0	49,3	M
14	0,75	0,37	0,4	0,1	1,0	49,3	M
15	0,7	0,3	0,4	1,4	1,3	42,9	m
16	0,7	0,3	0,4	1,4	1,3	42,9	m
17	0,7	0,3	0,4	1,4	1,3	42,9	m
18	0,65	0,3	0,4	0,8	1,2	46,2	m
19	0,65	0,3	0,4	0,8	1,2	46,2	m
20	0,65	0,3	0,4	0,8	1,2	46,2	m
21	0,65	0,3	0,4	0,8	1,2	46,2	m
22	0,65	0,3	0,4	0,8	1,2	46,2	m
23	0,55	0,2	0,4	2,7	1,8	36,4	sm
24	0,55	0,2	0,4	2,7	1,8	36,4	sm
25	0,55	0,2	0,4	2,7	1,8	36,4	sm
26	0,55	0,2	0,4	2,7	1,8	36,4	sm
27	0,5	0,15	0,4	4,0	2,3	30,0	sm
28	0,45	0,15	0,3	3,3	2,0	33,3	sm
29	0,45	0,15	0,3	3,3	2,0	33,3	sm
30	0,45	0,15	0,3	3,3	2,0	33,3	sm

Tabla 4. Determinación de los valores d, r, i para la nomenclatura de cromosomas propuesta por Levan *et al.* (1964). Cariotipo de *Agave peacockii* Croucher.

Par	C	s	L	d	r	i	Nomenclatura
1	2,55	0,3	2,25	7,6	7,5	11,8	t
2	2,4	0,4	2,00	6,7	5,0	16,7	st
3	2,2	0,4	1,80	6,4	4,5	18,2	st
4	1,9	0,4	1,50	5,8	3,8	21,1	st
5	1,2	0,3	0,90	5,0	3,0	25,0	st
6	0,9	0,3	0,60	3,3	2,0	33,3	sm
7	0,85	0,3	0,55	2,9	1,8	35,3	sm
8	0,75	0,2	0,20	0,0	1,0	50,0	M
9	0,6	0,3	0,30	0,0	1,0	50,0	M
10	0,6	0,3	0,30	0,0	1,0	50,0	M
11	0,6	0,3	0,30	0,0	1,0	50,0	M
12	0,6	0,3	0,30	0,0	1,0	50,0	M
13	0,55	0,27	0,28	0,2	1,0	49,1	M
14	0,55	0,27	0,28	0,2	1,0	49,1	M
15	0,5	0,25	0,25	0,0	1,0	50,0	M
16	0,5	0,25	0,25	0,0	1,0	50,0	M
17	0,5	0,25	0,25	0,0	1,0	50,0	M
18	0,5	0,25	0,25	0,0	1,0	50,0	M
19	0,45	0,22	0,23	0,2	1,0	48,9	M
20	0,45	0,22	0,23	0,2	1,0	48,9	M
21	0,45	0,22	0,23	0,2	1,0	48,9	M
22	0,45	0,15	0,30	3,3	2,0	33,3	M
23	0,4	0,2	0,20	0,0	1,0	50,0	M
24	0,4	0,2	0,20	0,0	1,0	50,0	M
25	0,4	0,2	0,20	0,0	1,0	50,0	M
26	0,3	0,15	0,15	0,0	1,0	50,0	M
27	0,3	0,15	0,15	0,0	1,0	50,0	M
28	0,3	0,15	0,15	0,0	1,0	50,0	M
29	0,25	0,12	0,13	0,4	1,1	48,0	M
30	0,2	0,1	0,10	0,0	1,0	50,0	M

II) Estudio areográfico

La distribución espacial de *Agave marmorata* abarca toda la localidad de Zapotitlán Salinas, Sin embargo, las poblaciones de dicho agave se encuentran aisladas. Por otra parte, *Agave peacockii* solamente se encontró al suroeste de la localidad. (Figs.10-15)

Con relación al tipo de suelo, se observó que *A. marmorata* presentó preferencia por los suelos del tipo LPq-RGc (Leptosol lítico-Regosol calcárico), ya que su distribución se situó principalmente en las áreas que comprende dicho tipo de suelo. Aunque también se localiza en diferentes tipos de suelo como el Regosol calcárico (RGc) y el Leptosol lítico (LPq). En lo que concierne a *A. peacockii* sólo se le pudo observar en suelos del tipo LPq-RGc (Fig.10). Cabe destacar que todos estos suelos presentan características buenas para el crecimiento radicular de estas especies, porque están favorecidas por la actividad microbiana, así como para el movimiento adecuado de nutrientes y agua, a pesar de que la materia orgánica presente en todos los tipos de suelo de la región es pobre. (Muñoz, *et al.*, 2002)

La vegetación que se asocia con *A. marmorata* corresponde al Matorral Crassicaule (MC), Matorral Espinoso (ME), Matorral Crassicaule-Matorral Subinerme (MC-MB), Matorral Espinoso-Matorral Crassicaule (ME-MC), Vegetación secundaria (VS), Agricultura de temporal (TA) y Desmonte (D). Mientras que *A. peacockii* sólo se asocia con Matorral Crassicaule-Matorral Subinerme (MC-MB). (Fig.11)

El clima predominante en todas las zonas de estudio fue el BSohw (Fig.12), el cual se caracteriza por ser seco. Este tipo de clima abarca toda la cuenca del río Salado y el área de Zapotitlán Salinas. Una característica importante es que la zona de estudio no presenta un rango de climas, lo cual determina el tipo de vegetación asociada a ambas especies de magueyes. La altitud en la que se ubicaron a *A. marmorata* y *A. peacockii* va fue de los 1417 a los 1560 msnm (Fig.13).

En la figura 14, se observan los sitios y las pendientes donde se localizaron poblaciones de *A. marmorata* y *A. peacockii*. La pendiente predominante en los sitios de muestreo, generalmente, se ubicó en un rango de 0 a 25 grados. La orientación de ambas especies varió de un sitio a otro, principalmente a que se tomaron geoposiciones de manera azarosa. (Fig.15)

Finalmente, la distribución espacial de *A. marmorata* dentro de la zona de estudio abarca un área de aproximadamente 343 hectáreas y un perímetro de 3928 m, en tanto que *A. peacockii*, posee un área aproximada de 100 hectáreas y un perímetro de 1500 m. (Fig.10-15)

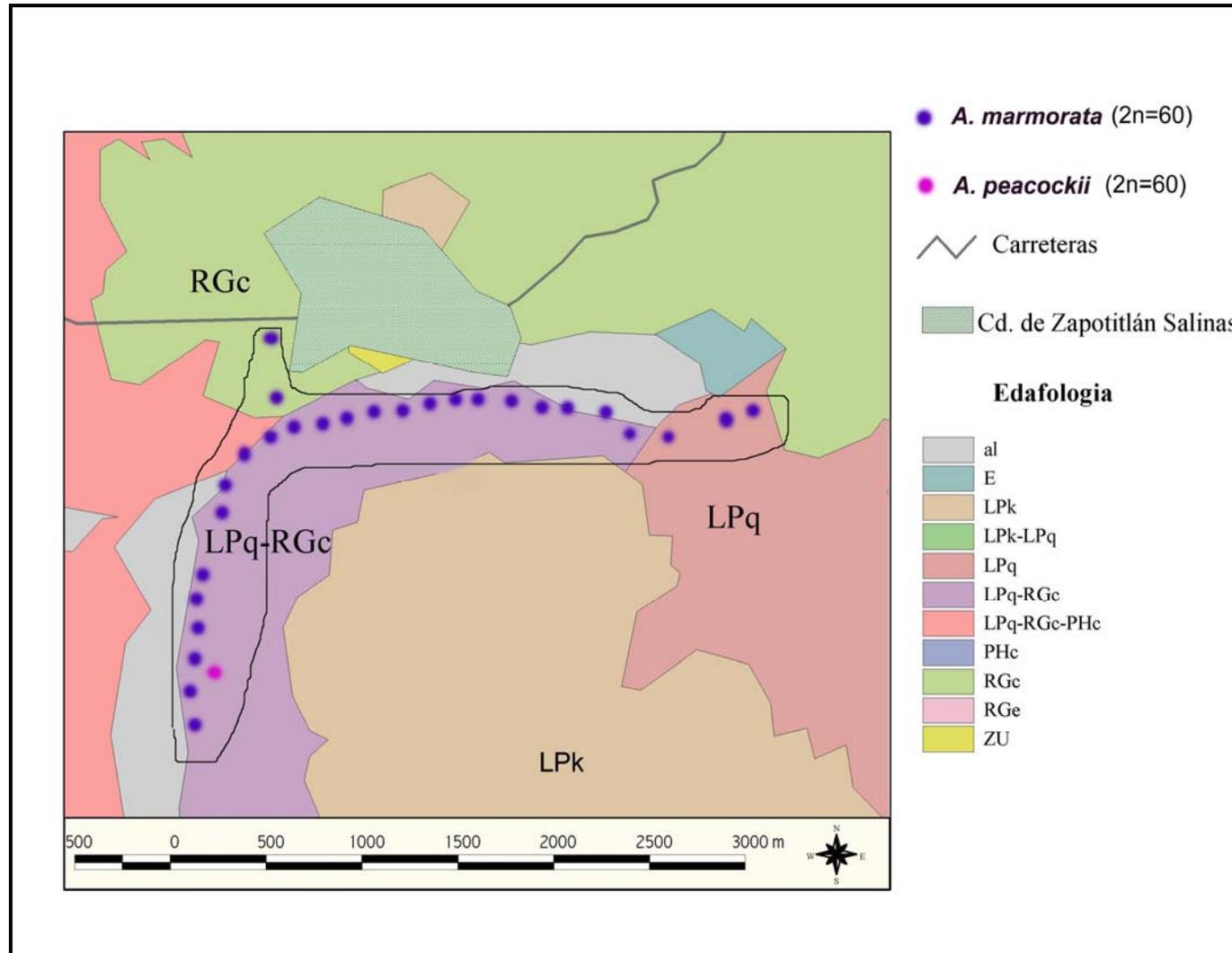


Figura 10. Área de distribución en la zona de estudio de *A. marmorata* y *A. peacockii* en los tipos de suelo.

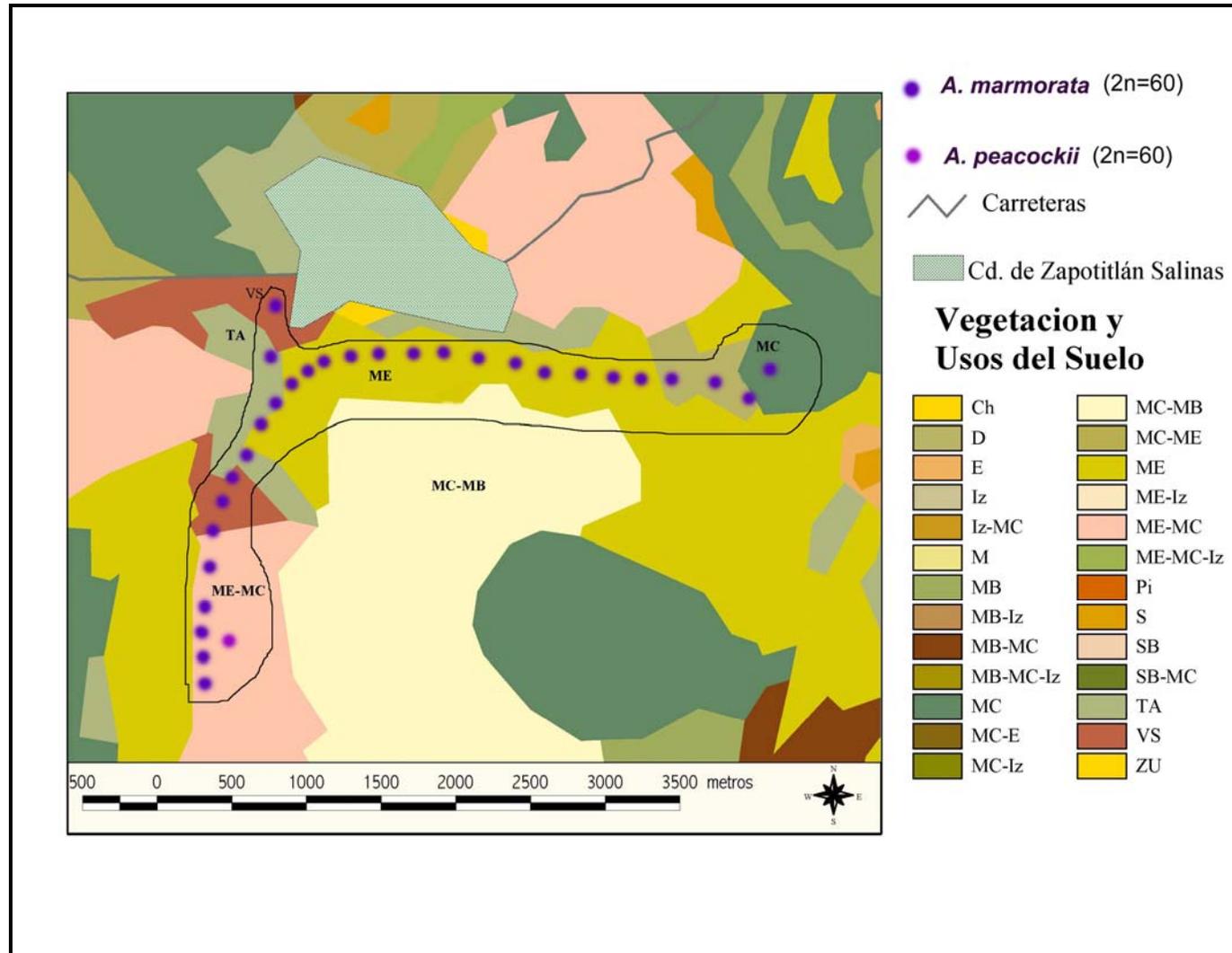


Figura 11. Área de distribución en la zona de estudio de *A. marmorata* y *A. peacockii* en los tipos de vegetación.

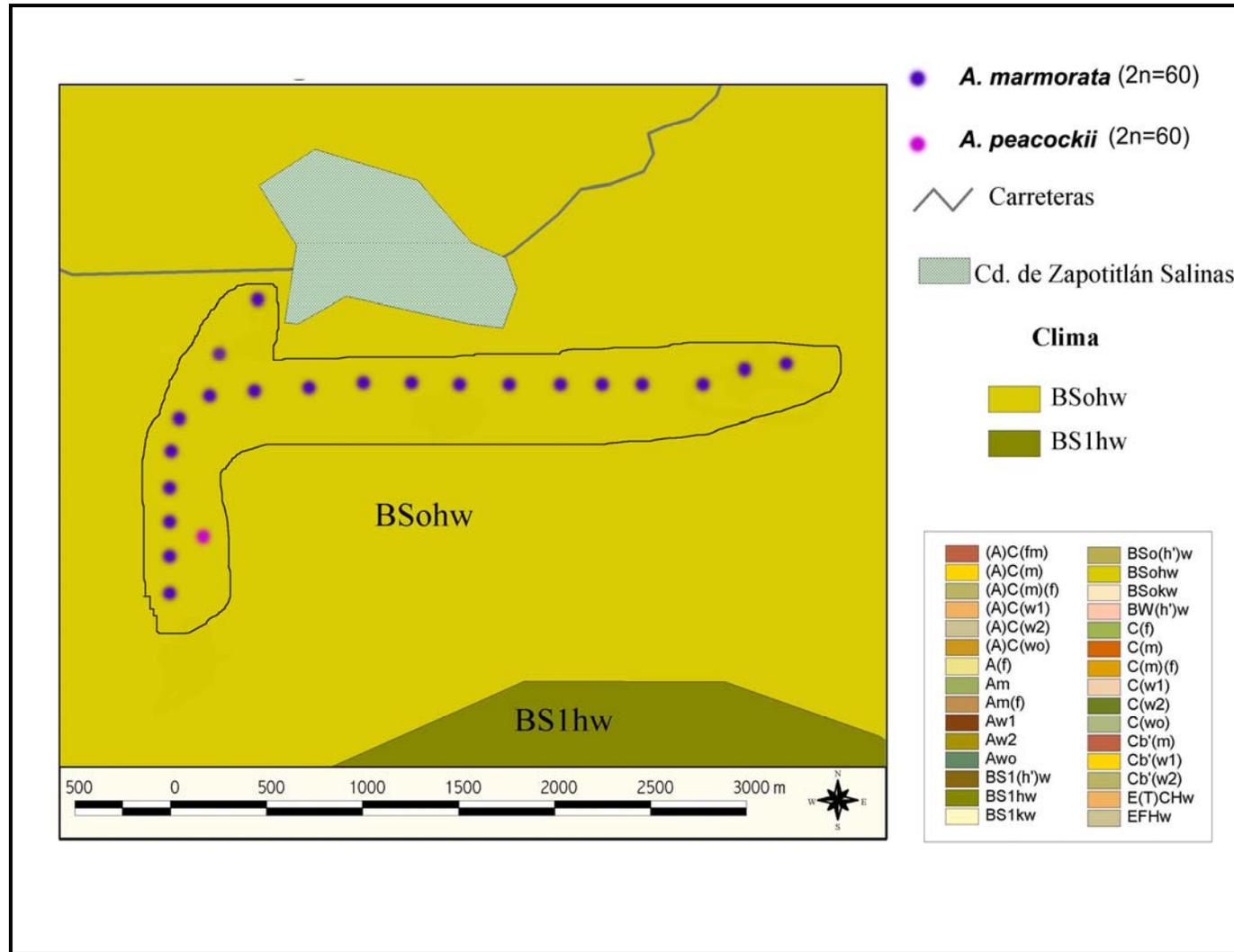
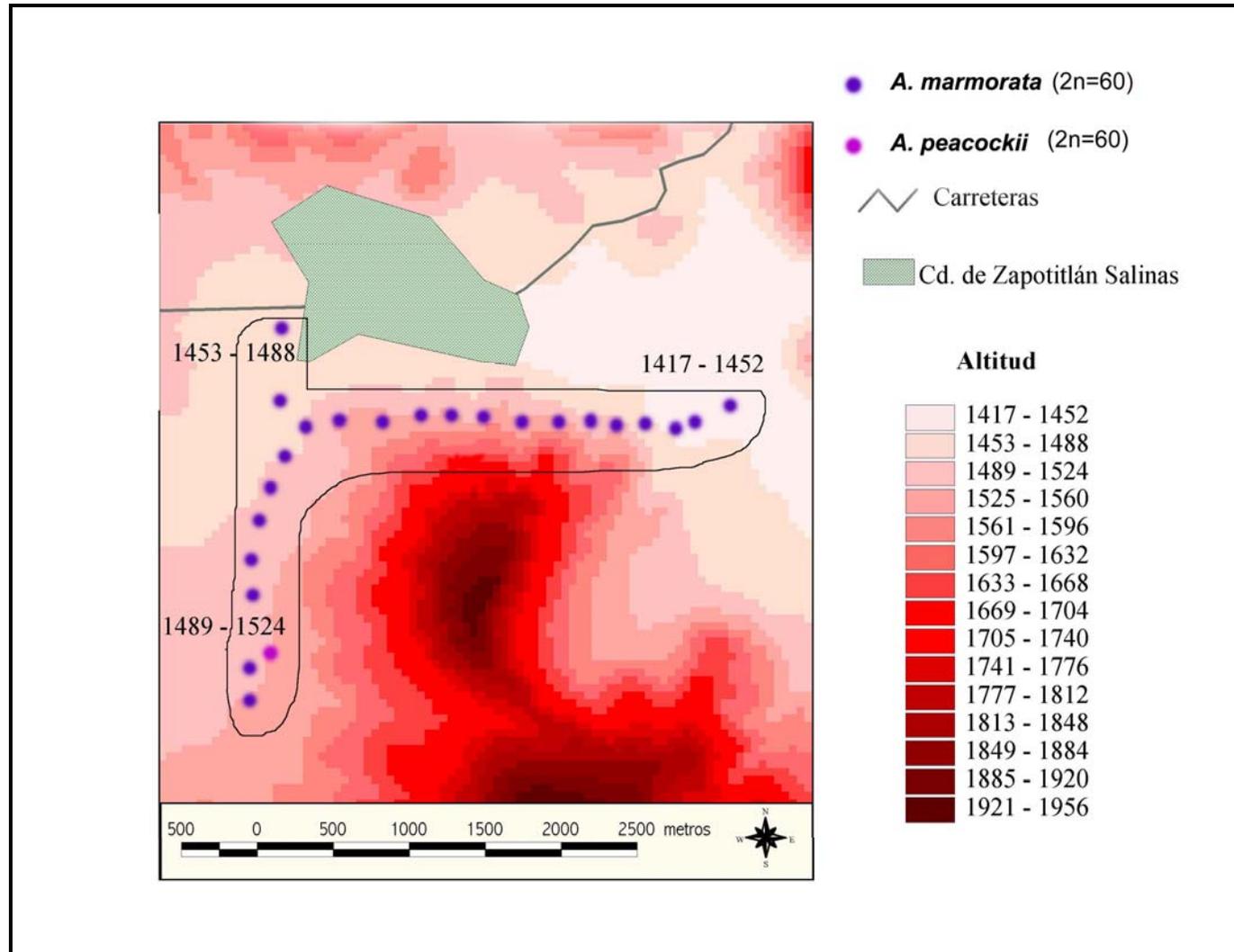


Figura 12. Área de distribución en la zona de estudio de *A. marmorata* y *A. peacockii* en los tipos de clima.



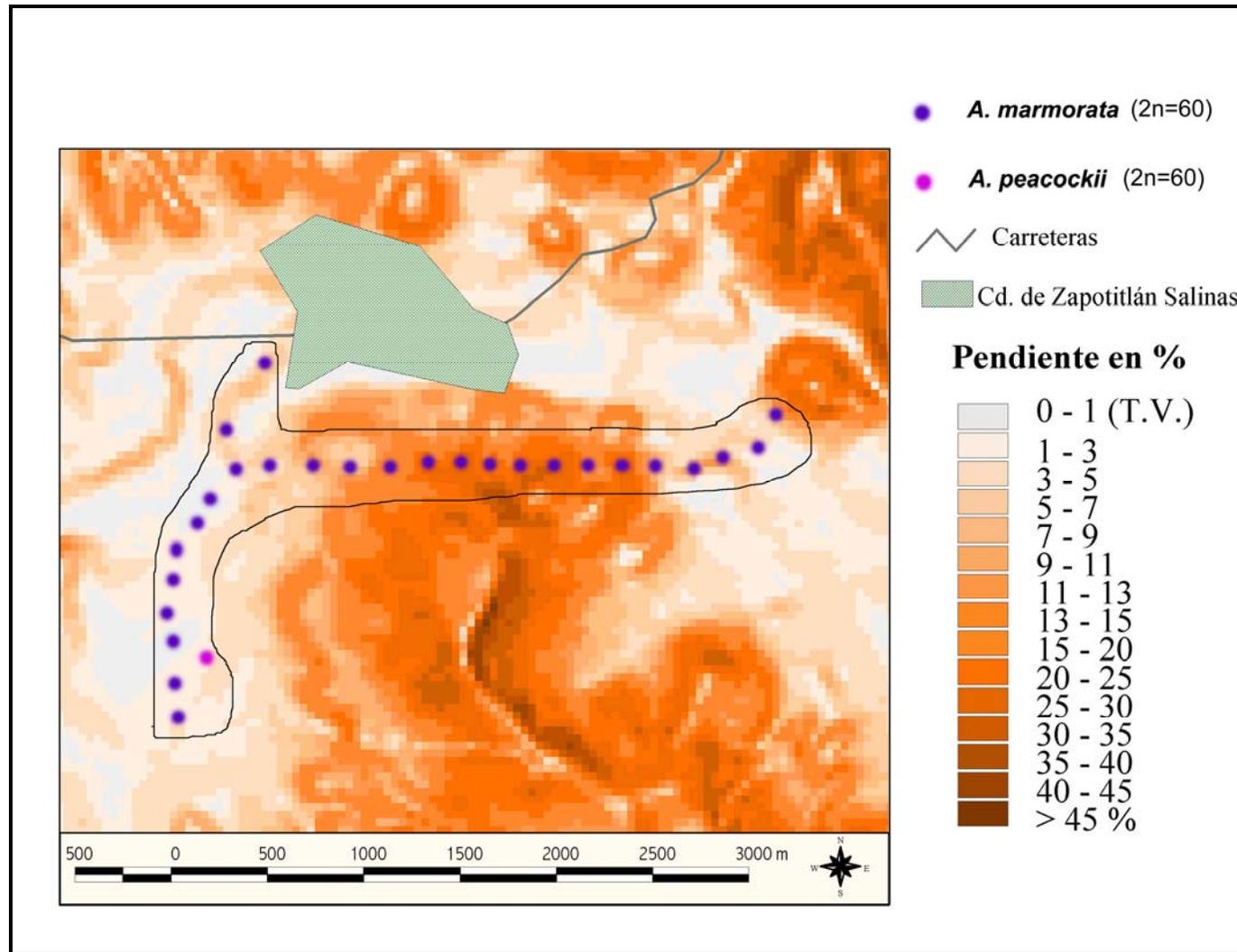


Figura 14. Área de distribución en la zona de estudio de *A. marmorata* y *A. peacockii* en los tipos de pendiente.

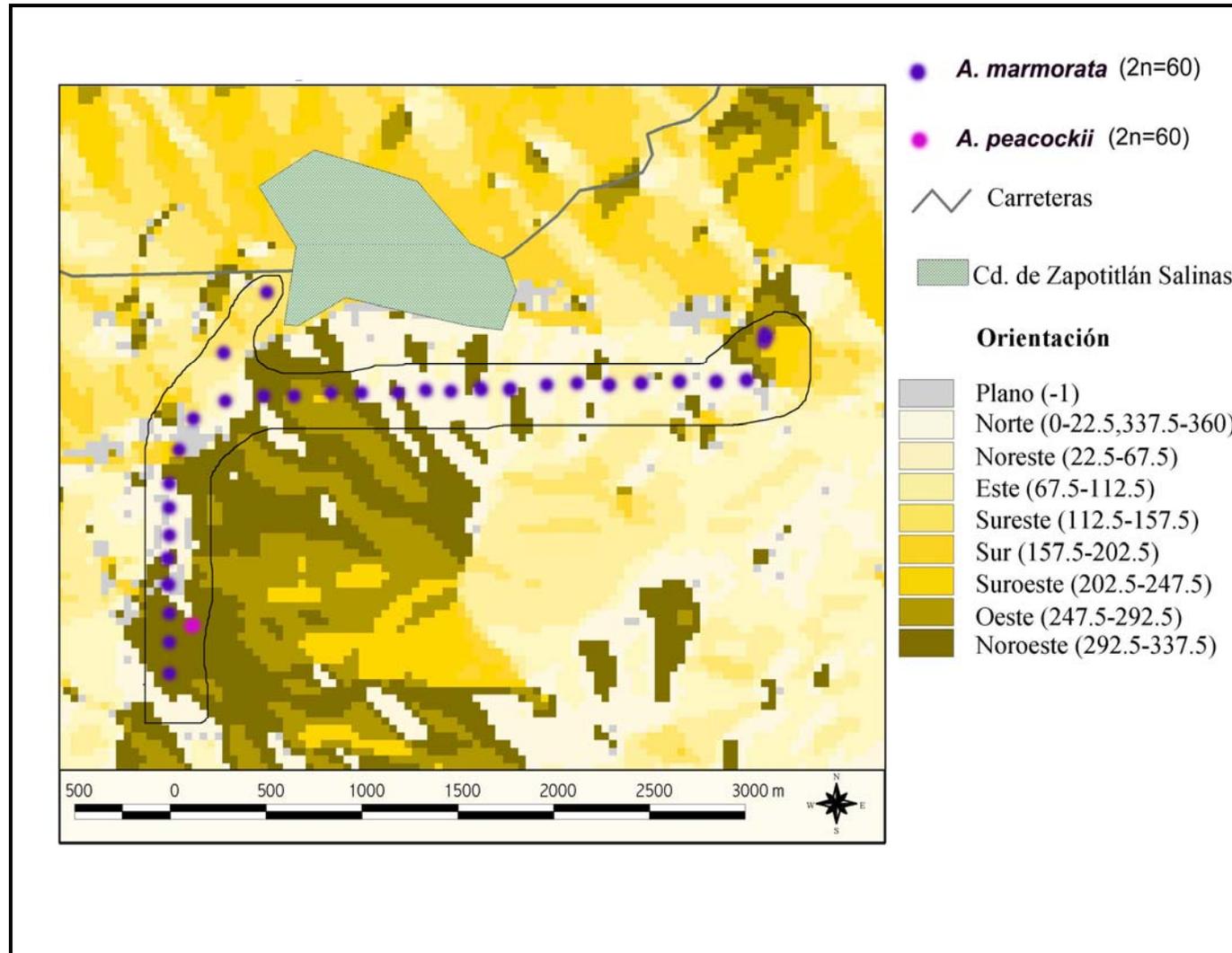


Figura 15. Área de distribución en la zona de estudio de *A. marmorata* y *A. peacockii* en los tipos de orientación.

Análisis y Discusión

El conteo cromosómico demostró que los niveles de ploidía de *Agave marmorata* y *Agave peacockii* corresponden a $2x$. La expresión de su carácter diploide ($2x=2n=60$) coincidió con lo señalado por la literatura (Granick, 1944; Darlington, 1956; Cave, 1964; Banerjee y Sharma 1988, 1989), en relación a que las especies del género que se establecen en la altiplanicie del país, tienen carácter diploide, por lo que se determinó aquí su centro de origen.

Los resultados de esta investigación también corroboran los reportes sobre estudios citogenéticos y taxonómicos previos para la familia Agavaceae, asimismo los números cromosómicos reportados para las dos especies son múltiplos del número básico establecido para el género ($X=30$); además ambas especies presentaron el carácter bimodal en sus cariotipos (10 cromosomas largos y 50 cromosomas pequeños en la condición diploide) y otro rasgo interesante descubierto en este estudio es la persistencia notable de los cromosomas grandes del tipo acrocéntrico y subtelocéntrico (Granick, 1944; Cave, 1964; Castorena-Sánchez *et al.*, 1991).

En el nivel de asimetría de sus cariotipos, se observó una variación mínima en el nivel intracromosómico (A_1). Para *A. marmorata* es de 0.0083 y de 0.0079 para *A. peacockii*. Esta diferencia mínima se debe a la presencia de un par cromosómico submetacéntrico y otro par acrocéntrico demás en el genomio de *A. peacockii* que corresponden al 8.3% de su cariotipo en relación al 6.6% en *A. marmorata* mientras que, las dos especies en sus genomio los cromosomas acrocéntricos y subtelocéntricos representan un 7.5%. Esto último, se refleja en los valores promedio de sus índices centroméricos que fue de 40.0 y 44.5 tanto para *A. marmorata* y *A. peacockii*, respectivamente. Además, en el nivel de asimetría intercromosómica (A_2)

no hay fuertes variaciones en la longitud de sus cromosomas (0.53 para *A. marmorata* y 0.85 para *A. peacockii*). Por tanto, esto es un indicativo de que los cariotipos de estas plantas son asimétricos de acuerdo a los criterios de Romero-Zarco (1986). Lewitsky (1931) mencionó: “un cariotipo que presenta cromosomas mayoritariamente metacéntricos y de talla similar, es decir simétrico, es considerado primitivo, en contraposición a los cariotipos asimétricos en cuyo caso son derivados”. Por tanto, esta condición asimétrica de los cariotipos puede ser tomada como un parámetro que indica la dirección evolutiva de las especies aquí analizadas, y hacen pensar que en relación a la especiación de este género y apoyando lo señalado por Castorena-Sánchez, *et al.* (1991), quizás las mutaciones puntuales y los rearrreglos estructurales de los cromosomas pequeños han tenido influencia en la evolución de *A. marmorata* y *A. peacockii* para su establecimiento y supervivencia en esta zona.

Este estudio también confirmó lo señalado por Brandham y Doherty (1998), en relación a que la familia Agavaceae presenta cariotipos del tipo de ortoselección; es decir, los miembros de esta familia presentan uniformidad en el número básico, su cariotipo es bimodal, y presentan similitudes en la longitud total de los cromosomas. Por consiguiente *A. marmorata* y *A. peacockii*, presentan cariotipos del tipo de ortoselección. Estos investigadores mencionaron que la familia Agavaceae al presentar cariotipos de ortoselección, sus tendencias evolutivas se debe principalmente al incremento de Ácido ribonucleico (DNA), que se distribuye en estos complementos cromosómicos en proporción a longitud del cromosoma, de manera que se conserva la uniformidad del cariotipo.

Existen reportes donde se ha observado variación en el número cromosómico somático en plantas con reproducción vegetativa (Banerjee y Sharma 1988, 1989). En la subcuenca de Zapotitlán Salinas, estas dos especies representaron en su mayoría poblaciones de origen asexual (clonal), principalmente en *A. peacockii*. En ambas se registró una frecuencia muy baja en la variación cromosómica, esto conduce en la biología de las plantas asexuales a tener una fuente de variación genética muy reducida, que no participa significativamente en el proceso de especiación. Por tanto, por el carácter diploide, la uniformidad de sus cariotipos y la baja frecuencia de variación somática en estas especies, su forma endémica puede acentuarse más.

Por otra parte, de acuerdo con los resultados obtenidos, en el estudio citogeográfico, se determinó que la distribución de *A. marmorata* en la localidad de Zapotitlán Salinas, Puebla es continua; sin embargo cabe destacar que los individuos de éste maguey se encuentra separados, esto se debe principalmente a la fuerte erosión y fragmentación que sufren los suelos de las terrazas aluviales, lo cual provoca que la especie en estudio se localice en áreas restringidas. Sin embargo, ésta especie tiene, según lo observado en el campo, una frecuencia alta de reproducción sexual, en comparación con *A. peacockii*, lo cual ayudaría a aumentar su distribución en la zona.

En la actualidad, la transformación de las terrazas aluviales, el mal manejo de las especies, el saqueo y uso del suelo para actividades agrícolas afectan y amenazan el establecimiento y la distribución de estos magueyes en la zona.

Finalmente, al establecerse la relación entre los resultados del análisis citogenético y los de aerografía, para *A. marmorata*, se determina que la variación de las condiciones del suelo, los diferentes tipos de vegetación de la zona, así como el clima no afectan el establecimiento y su distribución. Por tanto, la condición de ploidía ($2n$) de esta planta tiene una respuesta de plasticidad (recombinación genética, debido a su alta tasa de reproducción sexual) que le permite estar presente y formar un elemento biológico importante de la vegetación de esta zona de estudio. Mientras que *A. peacockii* por su condición de ploidía ($2n$) y su posible carácter híbrido, su distribución es más limitada ya que sólo se le ubica en áreas poco perturbadas, por lo que su presencia en la zona dependerá de la sincronización de la floración de los progenitores y su capacidad de reproducción, tanto sexual como asexual.

Conclusiones

- I. Se registró por primera vez el número cromosómico de *Agave marmorata* y *Agave peacockii*, ($2x=2n=60$).
- II. Los cariotipos de las dos especies fueron asimétricos.
- III. Debido a la uniformidad en el número básico, en el carácter bimodal de los cariotipos, en la longitud total de los cromosomas de *A. marmorata* y *A. peacockii*, se confirmó que los cariotipos son del tipo de ortoselección.
- IV. El estudio citogeográfico de *A. marmorata* indica que la variación en los diferentes parámetros no afectan su establecimiento y su distribución.
- V. El estudio citogeográfico de *A. peacockii* establece que por su condición de ploidía ($2n$) y su posible carácter híbrido, su distribución es más limitada.
- VI. Los factores como tipo de suelo y vegetación no afectaron la distribución de las poblaciones de *A. marmorata*, en la Localidad de Zapotitlán Salinas. Sin embargo, esto no sucedió con *A. peacockii*, probablemente por que éstos factores actúan como limitantes; aunque cabe destacar que éste maguey es probablemente un híbrido.

Anexo

Nomenclatura recomendada por Levan, Fredga y Sandberg (1964),
para la determinación de la proporción de brazos cromosómicos.

Nomenclatura		$d = \frac{10(r-1)}{r+1}$	$r = L / s$	$i = \frac{100}{r+1}$	Posición Centromérica
M	Metacéntrico	0.0	1.0	50.0	Punto medio en el sentido estricto
m	Metacéntrico	0.5 – 2.5	1.05 – 1.67	47.5 – 37.5	Región media
sm	Submetacéntrico	2.5 – 5.0	1.67 – 3.0	37.5 – 25.0	Región submedia
st	Subtelocéntrico	5.0 – 7.5	3.0 – 7.0	25.0 – 12.5	Región subterminal
t	Acrocéntrico	7.5 – 9.5	7.0 – 39.0	12.5 – 2.5	Región terminal
T	Telocéntrico	10.0		0.0	Región terminal en el sentido estricto

Valores del Tipo de suelo de la Figura 10

Clave	Leyenda
Al	Aluvión
E	Erosión
LPk	Leptosol rendzico
LPk-LPq	Leptosol rendzico – Leptosol litico
LPq	Leptosol litico
LPq-RGc	Leptosol litico – regosol calcárico
LPq-RGc-PHc	Leptosol litico – regosol calcárico – Feozem calcárico
PHc	Feozem calcárico
RGc	Regosol calcárico
Rge	Regosol eutrico
ZU	Zona urbana

Valores de vegetación y uso de suelo de la Figura 11

Clave	Leyenda
?	Sin datos
Ch	Chaparral
D	Desmonte
E	Erosión
Iz	Izotal
Iz-MC	Izotal – Matorral Crassicaule
M	Matorral
MB	Matorral Subinerme
MB-Iz	Matorral Subinerme - Izotal
MB-MC	Matorral Subinerme – Matorral Crassicaule
MB-MC-Iz	Matorral Subinerme - Matorral Crasicaule - Izotal
MC	Matorral Crassicaule
MC-E	Matorral Crasicaule – Erosión
MC-Iz	Matorral Crasicaule - Izotal
MC-MB	Matorral Crasicaule – Matorral subinerme
MC-ME	Matorral Crasicaule – Matorral Espinoso
ME	Matorral Espinoso
ME-Iz	Matorral Espinoso – Izotal
ME-MC	Matorral Espinoso - Matorral Crassicaule
ME-MC-Iz	Matorral Espinoso - Matorral Crasicaule- Izotal
Pi	Pastizal inducido
S	Selva
SB	Selva Baja
SB-MC	Selva Baja – Matorral Crassicaule
TA	Agricultura de Temporal
VS	Vegetación Secundaria
ZU	Zona Urbana

Literatura Citada

Álvarez de Zayas, A. 1989. Distribución geográfica y posible origen de las agaváceas. Rev. Jar. Bot. Nac. (Cuba) Vol. X 1: 25-36.

Arizaga, S. y Ezcurra, E. 2002. Propagation mechanism in *Agave macrocartha* (Agavaceae), a tropical Arid-Land succulent rosette. Am. J. Bot. **89**: 632-641.

Barrera, C. C. 2001. Descripción y regionalización fisiográfica del Valle de Zapotitlán, Puebla. Tesis de licenciatura, ENEP- Iztacala, UNAM. Tlalnepantla, Estado de México.

Banerjee, S. y Sharma. 1988. Structural differences of chromosomes in diploid Agave. Cytologia **53**: 415-420.

Banerjee, S. y Sharma. 1989. Structure and behavior of chromosomes in four different species of Agave. Cytologia **54**:667-672.

Brandham, P. E. y Doherty, M. J. 1998. Genome size in the Aloaceae, and Angiosperm Family displaying karyotypic orthoselecyion. A. Bot. **82**(supplementA): 67-73.

Castorena-Sánchez, I. 1985. Estudio citogenéticos en Agaves productores de Fibra en Yucatán. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

Castorena-Sánchez, I., Escobedo, R. M. y Quiroz, A. 1991. New cytotaxonomical determinants recognized in six taxa of *Agave* in the sections *Rigidae* and *Sisalanae*. Can. J. Bot. **69**:127-1264.

Cave, S. M. 1964. Cytological observations on some genera of the Agavaceae. Madroño **17**: 163 – 169.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad), 2004. Lista de especies vegetales protegidas, términos de referencia generales, Internet. <http://www.conabio.gob.mx>.

Darlington, C. D. 1956. Chromosome Botany, G. Allen and Unwin, London.

Environmental Systems Research Institute (ESRI). 1995. Geographic Information System version 3.1. Redlands, CA. USA.

Flores-Maya, S. 1986. Estudio citogenético y fitogeográfico de *Agave crassispina* Trel y *Agave lechuguilla* Torr, en el municipio de Pinos, Zacatecas y en el municipio de Real de Catorce, San Luis Potosí, México. Tesis de Licenciatura. FES-Iztacala, UNAM. México. 134 Pág.

García, E. 1973. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarla a las condiciones de la republica Mexicana). Instituto de Geografía de la U.N.A.M., 2ª edición. México.

García, V. A. 1990. Técnicas y procedimientos de citogenética vegetal. 3ª edición. Colegio de postgraduados. México 144 pp.

García, M. G. 2001. Mapeo y caracterización de las Terrazas Aluviales del Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis de licenciatura. FES Iztacala. UNAM. México.

García-Mendoza, A. 1995. Riqueza y Endemismo de la familia Agavaceae en México. En: Linares E., P. Dávila, F. Chiang, R. Bye y T.S. Elias (eds.) Conservación de plantas en peligro de extinción: diferentes enfoques. UNAM. México. Pp. 51-83.

García-Mendoza, A. 2002. Distribution of *Agave* (Agavaceae) in Mexico. *Cact. Succ. J.* 74: 177-186.

Gentry, H. S. 1982. Agaves of continental North America. University of Arizona. U. S. A. 512-514 pp.

Granick, B. E. 1944. A Karyosystematic study of the genus *Agave*. *Am. J. Bot.* 31: 283-298.

Index to plant Chromosome numbers (IPCN). 2005. Base de datos de números cromosómicos de plantas. Internet. <http://www.mbot.org>

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1987. Síntesis geográfica, nomenclator y anexo cartográfico del Estado de Puebla. 56pp.

Krapovickas, A. 1972. La información cromosómica y su importancia en la Sistemática. En: I Congreso Latinoamericano, V Mexicano de Botánica. Sociedad Botánica de México. México, D.F. 247-263 pp.

Levan, A. K. F. y Sandberg, A. A. 1964. Nomenclature for centromeric position on chromosomes. *Hereditas*. **52**:201–220.

Lewitsky, G. A. 1931. The Karyotype in systematics (On the base karyology of the subfamily Helleboreae). *Bull. Appl. Bot., Gen. Pl.-Breed.* **27**:220–240.

López-Galindo, F., D. Muñoz-Iniestra, M. Hernández-Moreno, A. Soler-Aburto, M.C. Castillo-López y I. Hernández-Arzate. 2003. Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la Subcuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Bol. Soc. Geo. Mex.* **1**: 19-41.

Mejías, A. J. y Cristina, A. 2004. Karyological studies in Iberian *Sonchus* (Asteraceae: Lactuceae): *S. oleraceus*, *S. Microcephalus* and *S. asper* and a general discussion. *Folia Geobot.* **39**: 275-297.

Muñoz, I. D., Soler, A. A. y García, M. G. 2002. Las terrazas aluviales de la cuenca baja de Zapotitlán, Puebla, desde una perspectiva geomorfo - edafológica. Lab. de Edafología UBIPRO. Proyecto UBIPRO- informe anual. Unidad de Biología, tecnología y prototipos UNAM.

Moreno, R. J. 2003. Análisis citogeográfico de *Agave karwinskii* Zucc. y *Agave macroacantha* Zucc. En las terrazas aluviales del Valle de Zapotitlán, Puebla. Tesis de Licenciatura. FES-Iztacala, UNAM. México. 59 Pág.

Oliveros-Galindo. 2000. Descripción estructural de las comunidades vegetales en las terrazas fluviales del río el Salado, en el valle de Zapotitlán de la Salinas, Puebla, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Tlalnepantla, Edo. de México, 60 pp.

Reinchenbacher, F. 1985. Conservation of Southwestern Agaves. Desert Plant 7:88,103-106 pp.

Rivera, C. J. 1983. Estudio citogenético y fitogeográfico de *Agave karwinskii* Zuc. En los valles de Tehuacán, Puebla, y centrales de Oaxaca. Tesis de licenciatura. ENEP-Iztacala, UNAM. México.

Rodríguez, V. M. y Seijo, G. 2001. Estudio del ciclo celular en una especie leñosa: *Gleditsia amorphoides* (Leguminosae). Fac. Ciencias Agrarias. 4 Pág.

Romero, Z. C. 1986. A new method for estimating karyotype asymmetry. Taxon. 35:526-530.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D.F. 432 pp.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2004. Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Internet <http://www.semarnat.gob.mx>

Stace, C. A. 2000. Cytology and cytogenetics as a fundamental taxonomic resource for the 20th and 21st centuries. Taxon. 49:451-465.

Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO). 1998. Investigación en problemática del deterioro ambiental, restauración de sistemas degradados y manejo sustentable de recursos naturales en zonas áridas. Proyecto UBIPRO-Informe anual.FES-Iztacala, UNAM. 25 pp.

UTHSCSA. 2003. Analizador de imágenes versión 3.1. <http://www.uthscsa.com>

Valiente-Banuet, A. , Dávila, P. Arizmendi, M. C. Rojas-Martínez, A. y Casas, A. 1995. Bases ecológicas del desarrollo sustentable en zonas áridas: el caso de los bosques de cactáceas columnares del Valle de Tehuacán y Baja California Sur, México. En: IV Curso sobre desertificación y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe. Colegio de Posgraduados, Edomex. 20-36 pp.

Valverde, P. L., Vite, F. y Zavala-Hurtado, I. 1996. A morphometric analysis of a putative hybrid between *Agave marmorata* Roezl and *Agave kerchovei* Lem. *Agave peacockii* Croucher. Bot. J. L. Soc.**122**:155-161.

Vázquez, R. A. 1977. Estudio citogenético y de variación en una población de *Agave atrovirens*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

Zavala-Hurtado, J. A. 1982. Estudios ecológicos en el Valle Semiárido de Zapotitlán, Puebla. I. Clasificación numérica de la vegetación basada en atributos binarios de presencia o ausencia de las especies. *Biotica* **7**:97-120.