

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**



**Distribución Geográfica del Zacate Búfalo [*Buchloe dactyloides*
(Nutt.) Engelm] en México y su Asociación con el Nivel de
Ploidía.**

**Por:
PEDRO DÍAZ NÚÑEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenvista, Saltillo, Coah., México

Diciembre de 2006.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

**Distribución Geográfica del Zacate Búfalo [*Buchloe dactyloides* (Nutt.)
Engelm] en México y su Asociación con el Nivel de Ploidía.**

Por:

PEDRO DÍAZ NÚÑEZ

TESIS

**Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador, como
Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el comité asesor, conformado:

PRESIDENTE DEL JURADO

Ph. D. Juan Manuel Martínez Reyna

SINODAL

SINODAL

M.C. Susana Gómez Martínez

Ph. D. Iliana I. Hernández Javalera

SINODAL

M.C. Francisca Ramírez Godina

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

MC. Arnoldo Oyervides García

Buenavista, Saltillo, Coah., México

Diciembre de 2006

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la vida y el privilegio de descubrir cada día con cada logro el milagro de su amor inmenso, por permitirme conocer a las personas que quiero, por protegerme en todo momento y procurarme con las cosas que necesito y por darme la esperanza de alcanzar al final sus promesas de mejor vida.

A mis Padres, que me han demostrado su amor en todo y con todo, por el apoyo incondicional que me ofrecieron en mi vida de estudiante con la esperanza única de verme superado en la vida.

A mi Alma Terra Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, que me entrego todos los conocimientos que me convenía tomar y los instrumentos para formarme como un profesional.

A Doña Margarita Hernández Urbano, quien compartió sin condiciones su amistad y hogar durante mi estancia en Saltillo, por sus consejos, consuelos y apoyo tan oportunos. Solo Dios le devolverá tan grandes favores. Gracias "Abuela" por compartir conmigo momentos de alegría y de nostalgia que llevaré siempre en mis recuerdos.

Al Ph. D. Juan Manuel Martínez Reyna, por compartir su sabiduría al ser mi maestro y asesor, por su disponibilidad sin condiciones en la dirección de este trabajo, por sus acertadas observaciones y sugerencias; por su paciencia inigualable, sus consejos y confianza, y sobre todo por su amistad.

A la M.C. Francisca Ramírez Godina por sus acertadas observaciones sobre este trabajo.

A la Ph. D. Iliana Isabel Hernández Javalera por su prestada atención para la revisión y evaluación de esta tesis.

A la M.C. Susana Gómez Martínez por su valiosa colaboración en la revisión del presente trabajo.

A la TLQ Leticia Portos Gaona por su apoyo en los estudios de laboratorio que se realizaron para este trabajo.

A los Herbarios de la UNAM, UACH y UAAAN

Al Programa SAGARPA-SINAREFI por el financiamiento de esta tesis.

DEDICATORIA

A mis padres:

Manuel Díaz Pérez y Juana Núñez Hernández.

Por la vida, y el amor que me han dado de manera incondicional; por la confianza y esperanza que en mi mantienen y por ser siempre ejemplos de vida recta.

A mis hermanos:

Sebastián, Petrona, Margarita, Jesús, Valeriana, Rosa, Elia, Guadalupe y Fredi. Por comprender y compartir conmigo el significado de familia, sobre todo en momentos de dificultades.

A Doña Margarita Hernández Urbano por ofrecerme un calor de hogar y una amistad incomparable y por ser la mejor persona que conocí en Saltillo, Coah. No terminaré de darle las gracias.

A la familia Aguillón Martínez por considerarme parte de su familia, pero sobre todo por compartir su amistad y cariño. No borraré de mis recuerdos tan felices momentos. A Quique por ser un excelente amigo y a Thelma por su gran afecto.

A Irma, a Don Enrique y familia por conocerlos y compartir agradables momentos.

A Severo Hernández y familia por compartir gratos momentos.

Al Ing. José Ángel De la Cruz Bretón, por su amistad y consejos y por su apoyo para la realización de mi servicio social.

Al Dr. Carlos Zúñiga, por su completa disposición en compartir sus conocimientos y por sus consejos.

A todos los profesores que compartieron su sabiduría para mi formación profesional.

A todos mis compañeros de Generación y de la Universidad: Alberto, Avelino, Altunar, Chepe, Choca, Chuy, Cuellar, Cuesta, Dani, Edi, Ever, Fabi, Gustavo, Hugo, Licona, Jere, Julio, Mayolo, Musito, Noe, Pantoja, Rafa, Rox, Sami y Saúl.

RESUMEN

El Programa de Pastos del Departamento de Fitomejoramiento en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro lleva a cabo el único programa en el país de mejoramiento genético de Zacate Búfalo con fines de césped. Este programa cuenta con más de 150 colectas de diferentes entidades del país, 46 por ciento de los cuales se ha caracterizado morfológicamente, y de los cuales se ha logrado identificar algunos materiales con buena calidad de césped.

En este trabajo se determinó la distribución geográfica del Zacate Búfalo en la República Mexicana y dada la importancia de los niveles de ploidía en el mejoramiento genético de la especie se buscó establecer las relaciones posibles con las variables geográficas que definen su distribución.

Para determinar la distribución geográfica se obtuvieron las coordenadas geográficas de los sitios de colecta de materiales utilizados en el Programa de Mejoramiento de esta especie en la UAAAN, así como de los ejemplares consultados en los herbarios de la UNAM, de la UACH y de la misma UAAAN. Con esta información se elaboró una base de datos con 269 entradas y se utilizó el programa Arcview para su análisis y representación en mapas georreferenciados.

Para determinar la asociación de la distribución geográfica con el nivel de ploidía, las tres variables que indican la distribución de los sitios de colecta: latitud, longitud y altitud se correlacionaron con el conjunto de valores de ploidía.

Para lo anterior en el laboratorio, se realizó el conteo cromosómico de nueve materiales para determinar su nivel de ploidía a través de procedimientos mitóticos y meióticos para sumar un total de 52 materiales con diferentes niveles de ploidía con los 41 reportados por Hernández (2005) y dos consultados en el herbario nacional de la UNAM.

De acuerdo con los resultados, en México la especie se distribuye en un rango de latitud norte de 19.02° en Morelos a 29.44° en Coahuila; de longitud oeste de 97.7° en Puebla a 107.5° en Chihuahua y de altitud desde 10 msnm (metros sobre el nivel de mar) hasta 2828 msnm; sólo 10.5 por ciento de los sitios de colecta se localizan por debajo de los 1000 msnm, 47.3 por ciento entre los 1000 y 2000 m y 42.1 por ciento por arriba de los 2000 msnm. Esto incluye la mayor parte de la zona comprendida entre la Sierra Madre Oriental y Occidental desde el eje Neovolcánico al sur, hasta la frontera con Texas al norte. Se le encuentra en 16 estados de dicha zona y los estados con mayor número de sitios colectados son Coahuila, San Luis Potosí, Zacatecas y Nuevo León.

Se concluye además que existe una correlación estadísticamente significativa entre las variables geográficas latitud y altitud con el nivel de ploidía. En el caso de la latitud la correlación fué positiva y con la altitud fue negativa.

Del estudio citológico se encontraron cuatro diploides ($2n=2x=20$), tres tetraploides ($2n=4x=40$) y un triploide ($3x=30$) colectados en el Municipio de Real de Catorce, San Luis Potosí; donde un diploide fue colectado a la máxima altura de 2705 msnm. El RC-1 es el primer triploide que se reporta en estado natural en la investigación sobre esta especie. El material colectado en el estado de Tamaulipas a 25.16°N y 98.60°W y a sólo 91 msnm, resultó ser hexaploide ($2n=6x=60$). Éste es el hexaploide más meridional reportado a la fecha.

Con esta información se puede afirmar que el Zacate Búfalo tiene una gran área potencial donde pueden ser aprovechados sus múltiples beneficios, también nos hace afirmar que existe una extensa fuente de germoplasma valiosos para los programas de mejoramiento genético de la especie y nos permite implementar programas de conservación de los recursos genéticos en su medio natural, particularmente de los tipos diploides de esta especie catalogados como buenos ecotipos para césped y poco frecuentes en la naturaleza. Así como ampliar la investigación referente al estudio de las características de la especie asociadas con su entorno geográfico.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS -----	XII
ÍNDICE DE FIGURAS -----	XIII
INTRODUCCIÓN.-----	1
Objetivos -----	2
Hipótesis-----	3
REVISIÓN DE LITERATURA-----	4
Generalidades del Zacate Búfalo	
Origen-----	4
Descripción morfológica-----	4
Descripción taxonómica-----	6
Adaptación -----	7
Importancia como forraje-----	7
Importancia como césped-----	8
Distribución -----	9
Niveles de Ploidía -----	10
Importancia de los niveles de ploidía -----	11
Distribución y niveles de ploidía -----	13
Mejoramiento Genético del Zacate Búfalo -----	15
Asociación de Variables -----	16

Programa de Cobertura de puntos Arcview ^R -----	16
Aplicaciones -----	18
El GPS -----	19
Aplicaciones -----	19
MATERIALES Y MÉTODOS. -----	20
Datos Geográficos -----	20
Datos de Ploidía -----	22
Programa Arcview Versión 3.2 ^R -----	22
Base de Datos -----	22
Distribución Geográfica -----	23
Asociación de Distribución y Niveles de Ploidía -----	24
Estudios Citológicos -----	27
Material biológico -----	27
Preparaciones mitóticas -----	28
Preparaciones meióticas -----	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	33
Estudio citológico -----	33
Distribución Geográfica del <i>Buchloe dactyloides</i> en México -----	37
Asociación de Distribución y Niveles de Ploidía -----	42
CONCLUSIONES -----	53
RECOMENDACIONES -----	55
LITERATURA CITADA -----	56

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1. Materiales incluidos para el análisis de asociación de variables -----	25
Cuadro 3.2. Materiales de Zacate Búfalo utilizados en el estudio citológico -----	27
Cuadro 4.3. Niveles de ploidía de nueve materiales analizados por meiosis y/o mitosis -----	33
Cuadro 4.4. Número de colectas de Zacate Búfalo por estado -----	39
Cuadro 4.5. Coeficientes de correlación de la variable ploidía con las variables de distribución geográfica -----	44
Cuadro 4.6. Temperatura y precipitación registradas en estaciones meteorológica cercanas a los sitios de colecta de diploides y hexaploides -----	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Inflorescencia femenina (A) e inflorescencia masculina (B) -----	5
Figura 2.2. Patrones de distribución de poblaciones diploides (A), tetraploides (B) y hexaploides (C) en las Grandes Planicies del sur, EUA (Johnson et al., 2001) -----	13
Figura 2.3. Distribución geográfica de los materiales de Zacate Búfalo de acuerdo al nivel de ploidía. De Anda (2004) -----	14
Figura 4.1. Material RC-3. Diploide ($2n=2x=20$). Aumento 100x. Célula en metafase de mitosis -----	34
Figura 4.2. Material RC-10. Diploide ($2n=2x=20$). Aumento 100x A) Célula en diacinesis de meiosis y B) Célula en metafase I de meiosis -----	35
Figura 4.3. Materiales tetraploides ($2n=4x=40$) RC-2 (A) y RC-14 (B). Aumento 100x. Células en diacinesis de meiosis -----	35
Figura 4.4. Material RC-1 Triploide ($3x=30$). Aumento 100x. A) Célula en metafase I de meiosis y B) Célula en diacinesis de meiosis -----	36

Figura 4.5. Material TAMPS-86. Hexaploide ($2n=6x=60$). Aumento 100x. -----	36
Figura 4.6. Distribución del Zacate Búfalo en México -----	38
Figura 4.7. Área de distribución y de potencial de adaptación del Zacate Búfalo en México -----	40
Figura 4.8. Área de distribución y de adaptación del Zacate Búfalo en EUA (Johnson et al., 2001) y México -----	41
Figura 4.9. Patrón de distribución del nivel de ploidía del Zacate Búfalo en México -----	43
Figura 4.10. Distribución de los niveles de ploidía de acuerdo a la altitud -----	45
Figura 4.11. Distribución de los niveles de ploidía de Zacate Búfalo en los EUA y México -----	47
Figura 4.12. Materiales diploide, triploide y tetraploide en el área de Real de Catorce, SLP. -----	48
Figura 4.13. Sitio de colecta del material TAMPS-86 el 1 de diciembre de 2004 -----	51

INTRODUCCIÓN

EL Zacate Búfalo [*Buchloe dactyloides* (Nutt) Engelm] es una especie dioica monotípica, originaria de la región central de México. En el estado de San Luis Potosí es donde se han reportado más poblaciones diploides, y se considera que de ahí se dispersó por toda la región conocida como las Grandes Planicies de Norteamérica.

Este zacate presenta gran potencial de ser usado como césped ya que ofrece grandes ventajas por su hábito de crecimiento estolonífero y perenne, su gran resistencia a estrés hídrico, a temperaturas extremas, a plagas y a enfermedades, además de su amplia adaptabilidad a diferentes condiciones edáficas y ecológicas. Por tal motivo, el mejoramiento de esta gramínea con fines de césped ha despertado gran interés sobre todo en los Estados Unidos de América.

En México, el único programa conocido, encaminado al mejoramiento de esta especie con el fin de aprovecharlo como césped, es el “Programa de Pastos” del Departamento de Fitomejoramiento en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Actualmente se tienen más de 150 colectas, debido a que en todo programa de mejoramiento debe haber un adecuado conocimiento

de los recursos genéticos con que se cuenta, el 46 por ciento de los materiales se han caracterizado morfológica y citológicamente. Se ha determinado el nivel de ploidía de los materiales estudiados y se han identificado algunos ecotipos sobresalientes en calidad de césped.

Sin embargo, a pesar de los avances en recolección y caracterización del germoplasma, en México aún no se tienen bien definidas las áreas de distribución de esta gramínea, ni tampoco la relación de dicha distribución con el nivel de ploidía.

Por lo anterior, el objetivo general de este trabajo fue determinar la distribución del Zacate Búfalo en México y su asociación con el nivel de ploidía con la finalidad de establecer las regiones potenciales de las variedades mejoradas que se desarrollen en un futuro.

Objetivos específicos:

- Determinar la distribución geográfica del Zacate Búfalo en México.
- Determinar la asociación posible de las variables de distribución geográfica y el nivel de ploidía.
- Determinar el nivel de ploidía de nueve materiales de Zacate Búfalo, ocho colectados en diferentes sitios en el área de Real de Catorce, SLP y uno colectado en Tamaulipas.

Hipótesis

1. Los materiales de Zacate Búfalo poseen amplia distribución en México.
2. La distribución del Zacate Búfalo se correlaciona con su nivel de ploidía.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del Zacate Búfalo

Origen

Las semillas fosilizadas encontradas en praderas de Kansas en Estados Unidos indican que el origen del Zacate Búfalo se remonta de 5 a 7 millones de años. Se cree que las razas hexaploides evolucionaron en México a partir de materiales diploides y tetraploides y sólo sufrieron pequeñas modificaciones genéticas en su migración hacia las Grandes Planicies de EUA (Wu, 2000).

Descripción morfológica

El Zacate Búfalo es una planta perenne, dioica y ocasionalmente monoica, de porte bajo y estolonífera (Hernández, 1987). Su altura oscila de 5 a 13 cm y puede llegar a los 30 cm como máximo (Hopper y Nesbitt, 1930). Cantú (1989) establece que la longitud de sus limbos varía en un rango de 2-10 cm y de 1-3 mm de ancho.

Las plantas estaminadas tienen una inflorescencia en panícula con 2-4 ramificaciones espigada de 5 -15 mm de longitud con hasta 10 espiguillas de aproximadamente 4 mm de largo. Cada espiguilla posee 2 florecillas sésiles e imbricadas, insertadas en forma unilateral en 2 hileras sobre un ráquis (Figura 2.1).

La inflorescencia pistilada consiste de pequeñas espiguillas agrupadas llamadas involucros y están localizados en la parte hojosa de la planta (Gould y Shaw, 1992). Los involucros son pequeñas estructuras rígidas y duras que contienen las florecillas y están coronados por ápices dentados de color verde que constituyen las glumas (Figura 2.1). Generalmente tiene de 4-5 florecillas por involucro y 2 involucros por inflorescencia que se encuentra parcialmente incluida en las vainas infladas de las hojas superiores (KSU Web, 2002).

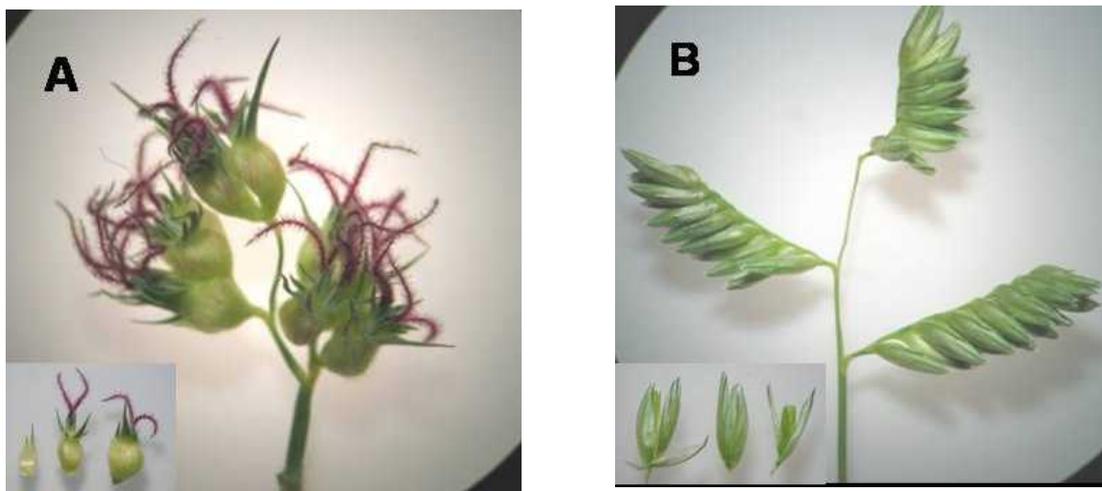


Figura 2.1 Inflorescencia femenina (A) e inflorescencia masculina (B).

Descripción Taxonómica

El género *Buchloe* es monotípico, es decir solamente consta de una especie, [*Buchloe dactyloides* (Nutt.) Engelm]. (Kartesz, 1994).

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

Súper división: Spermatophyta

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Cyperales

Familia: Poaceae

Tribu: Cynodonteae

Género: *Buchloe*

Epíteto específico: *dactyloides*

Adaptación

El Zacate Búfalo ha demostrado tener una gran adaptación a diferentes condiciones climáticas y edáficas como lo prueba el estar distribuido en vastas regiones, desde la parte norte y centro de México hasta el sur de Canadá. Ese gran potencial de adaptación, sin duda se debe a que posee gran resistencia al estrés hídrico, temperaturas extremas, a plagas y a enfermedades.

Esta especie puede encontrarse en todas las texturas de suelo (Beetle, 1950), aunque le favorecen mayormente los suelos arcillo-limosos o arcillosos con alta retención de humedad. Pocas veces se encuentra en suelos arenosos (USDA, 2001).

Cantú (1989) señala que esta especie se adapta desde suelos ligeramente ácidos, hasta moderadamente alcalinos. Puede establecerse en regiones con rangos de precipitación que van desde los 300 a 600 mm y no está adaptado a lugares sombreados (USDA, 2001).

Importancia como forraje

El Zacate Búfalo es uno de los más importantes forrajes de porte bajo y de las comunidades de pastos cortos de las Planicies Centrales de Norteamérica. Todas las clases de ganado lo consumen durante todo el año (Johnson et al., 1970). Debido a su hábito de crecimiento bajo y vigor general,

persiste en pastoreo pesado y tiene un valor considerable en conservación de suelos (Gould y Shaw., 1992).

Importancia como césped

El Zacate Búfalo ha sido considerado como el mejor césped nativo (Beetle, 1950). Fue nombrado como “El Pasto del Futuro” en la primera plana del periódico Wall Street Journal el 20 de noviembre de 1995.

El Zacate Búfalo es de gran importancia como césped ya que soporta climas con temperaturas extremas, es altamente resistente a la sequía, su requerimiento en fertilizante es muy bajo, su porte bajo reduce las podas y consecuentemente los gastos para su mantenimiento disminuyen, tiene una gran adaptación a muchos tipos de suelos, desde ligeramente ácidos hasta moderadamente alcalinos, prefiere texturas arcillosas, compactadas y profundas (Brede, 2000). Existen ecotipos de Zacate Búfalo que toleran hasta -22 °C (Qian et al., 2001).

El Zacate Búfalo por sus ventajas económicas y ecológicas es una gran opción para ser empleado como césped en la región semiárida de México (Rosas, 2003).

Distribución

Las características geográficas constituyen factores de gran importancia en la distribución de los organismos (Cabrera y Willink, 1973). La naturaleza de una ruta migratoria depende, de la continuidad de condiciones apropiadas del medio; por lo contrario una barrera a la migración consiste en una interrupción en la continuidad de ambientes apropiados. Los mares, los ríos, las montañas y los desiertos pueden ser algunas veces caminos de la migración y otras barreras infranqueables.

La distribución del Zacate Búfalo se reporta de Canadá hasta el centro de México, de ahí su rica biodiversidad genética. Ramsey y Brooks (1987) mencionan que su distribución abarca la parte central de Montana, al este hasta Minnesota y al sur hasta Louisiana, Texas, Nuevo México, Arizona y México.

Hughes et al. (1981) mencionan que el Pasto Búfalo se encuentra principalmente en el centro y el sur de las Grandes Llanuras, generalmente en suelos duros con alto contenido de arcilla.

En México el Zacate Búfalo se encuentra del Centro al Norte del país (Cantú, 1989), en la región semiárida (Hernández, 1987). Posee amplio rango de distribución en el centro y norte (Santos et al., 1981), siendo constituyente principal del pastizal mediano abierto donde crece en suelos arcillo-limosos alcalinos.

En el estado de Durango, el Zacate Búfalo se distribuye esporádicamente y ocupa el lugar 29 entre las gramíneas comunes en esa entidad (Gentry, 1957).

La Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (1994) a través del Programa de Manejo del Área Natural Protegida de Flora y Fauna de “Maderas del Carmen” señala que en el Zacatal del noroeste de Coahuila, se encuentra al Zacate Búfalo como una de las especies más importantes.

En México, investigadores del Programa de Pastos de la UAAAN han colectado germoplasma de Zacate Búfalo en una región que se extiende desde 20° 31' a 29° 20' latitud norte y 98° 35' a 104° 24' longitud oeste (Martínez y Hernández, 2006).

Nivel de Ploidía

El término ploidía se refiere al número de juegos de cromosomas en una célula. Las células haploides tienen un sólo juego de cromosomas, los organismos diploides son aquellos que tienen dos juegos de cromosomas y los organismos con más de dos juegos de cromosomas se denominan poliploides.

El nivel de ploidía se puede determinar por medio de observación citológica o por citometría de flujo. La observación citológica se realiza en

mitosis en células somáticas en metafase y en meiosis en diacinesis. El empleo de citometría de flujo es una alternativa rápida que permite estudios poblacionales detallados respecto a la variación existente en niveles de ploidía (Galbraith et al., 1983., De Laat et al., 1987).

En el Zacate Búfalo los materiales diploides tienen 20 cromosomas, es decir, el doble de su número básico ($x=10$) y adicionalmente existen otros niveles de ploidía: tetraploide y hexaploide (Johnson et al., 1998). Usando citometría de flujo (Johnson et al., 2001) agrupó materiales de zacate Búfalo de acuerdo a niveles de ploidía y encontró diploides, tetraploides, pentaploides y hexaploides.

Usando análisis citológico y citometría de flujo niveles de ploidía de 41 materiales de Zacate Búfalo colectados en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas fueron determinados. La serie entera de poliploides de esta especie fue encontrada en esta colección (Martínez y Hernández, 2006).

Importancia de los niveles de ploidía

Barker et al. (1998) mencionan que los diferentes niveles de ploidía pueden expresarse en el vigor y tamaño de la semilla, producción de forraje, capacidad de establecimiento, calidad de leche cuando se utiliza como alimento para vacas, tolerancia al frío, capacidad de competir con otras especies,

concentración de azúcares y materia orgánica digestible. Sin embargo, estas características no siempre son detectadas a simple vista.

Huff et al. (1993) realizó un estudio donde concluye que los materiales hexaploides de Zacate Búfalo toleran más las heladas que los diploides y tetraploides. Wu (2000), encontró diferencias en el crecimiento de las razas de Zacate Búfalo con diferente grado de ploidía. Generalmente las razas diploides exhibieron una tasa de crecimiento más rápida y una mayor densidad que los tetraploides y hexaploides. Además en ensayos de campo efectuados en el norte de California, notó que los hexaploides entraban más pronto en latencia.

Johnson et al. (1998 y 2001) mencionan que las diferencias en la resistencia al frío entre materiales de Zacate Búfalo parecen estar asociadas con los niveles de ploidía altos y mencionan que no han encontrado correlación morfológica con relación al número cromosómico. Sin embargo, Martínez y Hernández (2006) encontraron que en los materiales mexicanos la mayor parte de los hexaploides puede ser diferenciada de otros niveles de ploidía porque éstos tienen más pubescencia, las hojas más anchas, y los entrenudos más largos y más gruesos.

Poehlman y Allen (2003) mencionan que los niveles de ploidía en el Zacate Búfalo pueden ser limitantes en los programas de mejoramiento genético de la especie.

Distribución y niveles de ploidía

Johnson et al. (2001) realizaron un estudio para determinar la distribución de los niveles de ploidía y correlacionarlos con el potencial de adaptación. Para ello colectaron 273 materiales de Zacate Búfalo en los estados de Colorado, Nuevo México, Kansas, Oklahoma y Texas (Grandes Planicies del sur de Norteamérica) durante los años 1994 y 1995. En resumen ellos encontraron lo siguiente: 2.6 por ciento de la colección fue diploide, con sitios de colecta en el noroeste de Texas y el este de Nuevo México, el 23 por ciento fueron identificados como tetraploides colectados principalmente en la región oeste de Texas, este de Nuevo México y sureste de Colorado y el nivel de ploidía más común fue el hexaploide, representando el 73 por ciento de la colección, con una amplia distribución en toda el área de recolección (Figura 2.2).

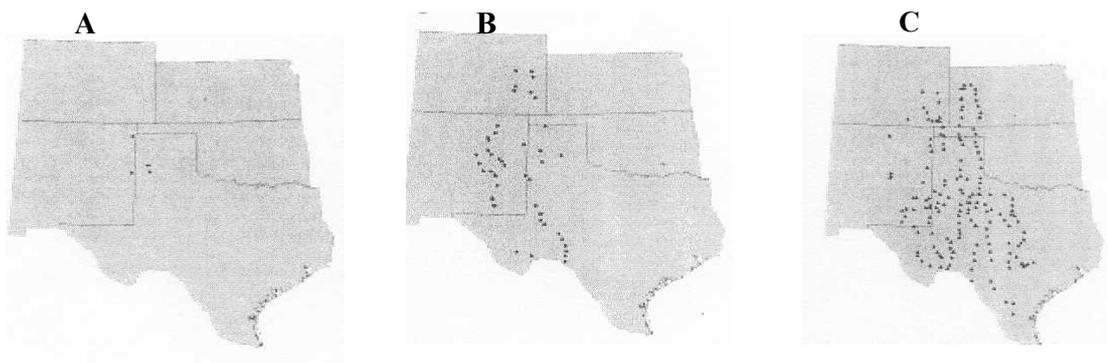


Figura 2.2 Patrones de distribución de poblaciones diploides (A), tetraploides (B) y hexaploides (C) en las Grandes Planicies del sur, EUA (Johnson et al., 2001).

Dichos autores también reportan la existencia de poblaciones pentaploides en el medio natural y de la existencia de triploides artificiales que habían sido creados mediante cruzas controladas en la Universidad de Texas Tech, pero mencionan que no contaban con ningún reporte de que este nivel de ploidía existiera en forma natural. En este trabajo también destacan la correlación significativa entre el nivel de ploidía y la longitud, pero no así en la correlación del nivel de ploidía y la latitud puesto que los hexaploides se distribuyen en toda el área de recolección.

Huff et al. (1993) indican que los materiales diploides se reportan únicamente al oeste de la Cd. de San Luis Potosí, y en el sureste de Texas, pero De Anda (2004) encontró un diploide en la parte norte de San Luis Potosí en el municipio de Real de Catorce y menciona que de manera general los materiales hexaploides predominan en la región norte de Coahuila, siendo los tetraploides los más comunes en la región estudiada (Figura 2.3).

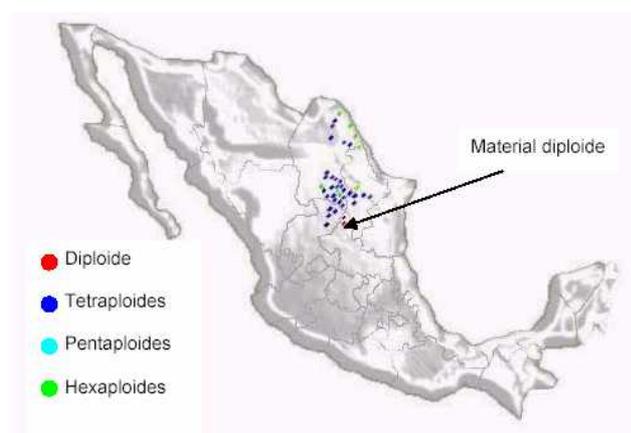


Figura 2.3 Distribución geográfica de los materiales de Zacate Búfalo de acuerdo al nivel de ploidía. De Anda (2004).

Hernández (2005) usando las variables morfológicas y de calidad para la agrupación de materiales de Zacate Búfalo, no encontró ninguna relación con el nivel de ploidía, ni con el sitio de colecta, por lo que asume que tampoco existía asociación con la altitud.

Martínez y Hernández (2006) reportan cuatro hexaploides colectados cerca de la frontera de Coahuila con Texas, y dos en el sur de Coahuila a 25° 26' latitud norte, siendo este sitio el más meridional reportado para un hexaploide. Además reportan dos materiales diploides colectados en San Luis Potosí, el B62, colectado a 23° 41' latitud norte (Real de Catorce) fue colectado a 2620 msnm que es la máxima altitud donde se ha recolectado Zacate Búfalo.

Mejoramiento Genético del Zacate Búfalo

Los esfuerzos en el mejoramiento del Zacate Búfalo se ha hecho en Estados Unidos, principalmente por la Universidad de Nebraska, Universidad de California-Davis, Universidad Texas Tech y algunas compañías semilleras, quienes han obtenido variedades que ya han sido certificadas (Riordan y Johnson, 1997). En México se implementó un programa de mejoramiento de esta especie desde 1999 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Martínez, 2002).

Asociación de Variables

La asociación o correlación entre dos variables puede ser positiva o negativa (Rebolledo, 2002). Cuando se puede probar que la variación de una variable está de alguna forma asociada con la variación de otra, entonces se puede afirmar que las dos variables están correlacionadas. Una correlación es positiva cuando las dos variables X y Y aumentan y es negativa cuando al aumentar una variable la otra disminuye. La correlación se expresa mediante un coeficiente de correlación (r), que puede tomar valores desde -1 hasta +1. Una correlación perfecta entre dos variables tiene un valor de uno (positivo o negativo); por otro lado un coeficiente cero de correlación indica ausencia de asociación entre las mismas.

El Sistema de Análisis Estadístico (SAS) por sus siglas en ingles, facilita grandemente algunas tareas relacionadas con conjuntos de variables y datos entre ellos la correlación, aplicando los diseños de Pearson nos da la probabilidad estadística del valor dado (Rebolledo, 2002).

Programa de cobertura de puntos Arcview^R

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen el núcleo de la geoinformática y se apoyan en diferentes programas computacionales o

software a fin de lograr la integración más eficaz para el tratamiento automatizado de los datos geográficos.

Arcview es una herramienta desarrollada por la empresa estadounidense ESRI. Con ella se pueden representar datos georreferenciados, analizar las características y patrones de distribución de esos datos y generar informes con los resultados de dichos análisis (Environmental Systems Research Institute, 1996).

El proceso de georeferenciación consiste básicamente en ligar o relacionar una información geográfica a unos puntos en común, es decir poder llevar toda la información a unas coordenadas bases para que posteriormente otros datos se puedan unir al mismo y estos guarden la misma relación.

El documento principal de las aplicaciones de Arcview es el proyecto, un archivo en el que se almacena todo el trabajo que se realiza con el SIG. Este archivo se guarda con la extensión “.apr” y puede estar compuesto por varios tipos de documentos (mapas, tablas, gráficos, etc) para los cuales existen diferentes “interfaces de usuario” (vistas, temas, gráficos, etc.).

Vistas: área de trabajo con información cartográfica (ríos, lagos, curvas de nivel, parcelas, caminos, etc.). Dentro de una vista, podemos agregar diferentes tipos de “temas” o capas de información cartográfica: vectoriales,

raster, etc. Los temas o capas del tipo “vectoriales” representan elementos geográficos, mediante tres formas básicas: puntos, líneas y polígonos.

Temas: dentro de una vista pueden existir distintas “capas” o “layers” de información geográfica (ríos, lagos, curvas a nivel, parcelas, caminos, etc.). Cada tema es una “capa” de información. El formato nativo de Arcview GIS para almacenar localizaciones y atributos de los elementos espaciales es el Shape.

Tablas: Contienen la información alfanumérica necesaria para la caracterización de los elementos (polígonos, líneas o puntos) que componen los mapas temáticos, cartografía en general y gráficos. Arcview permite trabajar con tablas con formato dBASE, INFO o Delimited Text. Las filas representan los elementos u objetos, y las columnas representan las variables o atributos asociadas a cada elemento.

Aplicaciones

Arcview es uno de los softwares más utilizados para procesar los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para solucionar problemas relacionados con campos muy diversos.

Cruz (2001) utilizó Sistemas de Información Geográfica y entre otras: Arcview para estudiar factores ambientales asociados a la distribución de

Pinnus engelmannii Carr. y Castañeda (2003) utilizando Arcview actualizó la información geohidrológica del estado de Coahuila.

EI GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) por sus siglas en ingles, es un sistema de navegación por satélites (De León, 1998). El sistema fue desarrollado e instalado y actualmente es operado, por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Originalmente para fines militares, pero actualmente es usado para distintas finalidades de carácter civil (Web). El receptor GPS funciona midiendo su distancia de los satélites, y usa esa información para calcular su posición.

Aplicaciones

- Navegación terrestre, marítima y aérea.
- Topografía y geodesia. Localización agrícola (agricultura de precisión).
- Salvamento.
- Deporte, acampada y ocio.
- Aplicaciones científicas en trabajos de campo.
- Rastreo y recuperación de vehículos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos Geográficos

Los elementos esenciales para este trabajo fueron los datos geográficos de latitud, longitud y altitud de los sitios de colecta. Para ello se recurrió a los herbarios de la UNAM (Universidad Autónoma de México), la UACH (Universidad Autónoma de Chapingo) y de la UAAAN, para registrar las colectas de Zacate Búfalo, de cada ejemplar se tomó los datos que contenían y en un formato se anotó: latitud, longitud, altitud, número de colecta, sitio de colecta, fecha de colecta (día, mes y año), municipio, entidad, autor de la colecta, etc., y adicionalmente se le tomó una fotografía el cual se guardó con referencia al número de colecta. Se consultó también los registros de recolección de germoplasma utilizados para el Programa de Pastos de la UAAAN, los cuales además de la información recabada en los ejemplares de herbarios, éstos contaban con los siguientes datos: tipo de muestra, condición en el sitio de colecta, hábitat, textura del suelo, profundidad del suelo, pedregosidad, drenaje del suelo, topografía, vegetación natural, enfermedades y plagas observadas, datos que se incluyeron también en la elaboración de la base de datos. Sin embargo, no se estudiaron los efectos de todas las variables debido a que dicha información no se tuvo para toda la colección.

En la mayoría de los sitios de colecta (sobre todo los consultados en herbarios) no se contó con las coordenadas de los sitios por lo que existieron dos modalidades para obtenerlos:

- Para los sitios más alejados se hicieron aproximaciones utilizando cartografías del INEGI. También se realizaron consultas de las coordenadas reportadas en el Archivo de localidades en la página Web de dicha institución, guiados por los nombres de localidades de los sitios de colecta, lo cual resultó conveniente para algunos casos en donde las referencias han cambiado o adoptado otras denominaciones (pueblos con otro nombre).
- Para los sitios a los cuales se tenía facilidades de acceso, se programaron recorridos para la toma de datos. De esta manera, con la información del nombre de la localidad y con la ayuda de mapas que indican las vías más adecuadas para llegar al lugar se hicieron los recorridos. Una vez en el sitio se registró la información con el GPS almacenándola en la memoria del mismo y en una hoja de registro de datos.

Datos de Ploidía

Para estimar la correlación con las variables geográficas los datos de ploidía se obtuvieron de la siguiente manera: nueve analizadas por métodos citológicos en este trabajo, 41 reportados por Hernández (2005) y dos consultados en el herbario de la UNAM y que fueron colectados en Zacatecas por Rador, para un total de 52 materiales con diferentes niveles de ploidía. Estos materiales fueron colectados en los estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí y Tamaulipas, y se conservan en el banco de germoplasma (excepto los obtenidos en la consulta de herbarios) a cargo del programa de mejoramiento de este zacate en la UAAAN (Cuadro 3.1).

Programa Arcview Versión 3.2^R

Se utilizó éste software para crear una cobertura de puntos georreferenciados, con el fin de determinar y analizar la distribución del Zacate Búfalo en la república mexicana y su asociación con el nivel de ploidía.

Base de Datos

Para poder incluir la información por analizar en un proyecto de Arcview^R se elaboró una base de datos en el formato *dBASE IV*, en el cual se consideraron como elementos principales: Número de colecta, latitud, longitud, altitud y nivel de ploidía. Otros elementos que se incluyeron solo como

información adicional de los sitios de colecta fueron: fecha de colecta, sitio de colecta, municipio, estado, autor de la colecta, institución, tipo de muestra, condición de la muestra, hábitat, textura del suelo, profundidad del suelo, pedregosidad del terreno, drenaje del suelo, topografía, vegetación natural, enfermedades y plagas del material.

Distribución Geográfica

En Arcview se creó un proyecto incluyendo documentos y temas predefinidos del programa en formato shape: mapa de la república mexicana, carreteras, ciudades, etc. En el mismo proyecto se incluyó la base de datos creada anteriormente y en la misma vista se incluyó como tema para visualizar en ortofotos (puntos digitales con información) los sitios de colecta, y se simbolizaron cada elemento y cada variable para analizar la distribución de acuerdo a: niveles de ploidía, latitud, altitud, etc. Para los niveles de ploidía se asignó un símbolo para cada nivel (2x, 3x, 4x y 6x) y para las variables geográficas latitud, longitud y altitud, se clasificaron por rangos asignándose de igual forma un símbolo a cada rango.

La determinación de la distribución geográfica del [*Buchloe dactyloides* (Nutt) Engelm] se basó principalmente en la presencia o ausencia detectada de Zacate Búfalo en un sitio. Esto se evidenció en los registros de herbarios y de germoplasma.

Sin duda éste es una de las mejores aproximaciones de las áreas y rangos que domina una especie ya que no son estimaciones si no la representación de las evidencias.

Asociación de Distribución y Nivel de Ploidía

Para determinar la asociación del nivel de ploidía y la distribución, se utilizó la correlación de las variables latitud, longitud y altitud con la variable ploidía considerando que los primeros determinan el espacio geográfico de la especie y sus particularidades. EL mapa de distribución por ploidía se usó también para evidenciar dicha asociación.

La correlación de las variables se hizo con el programa “Sistemas de Análisis Estadístico” (SAS^R) versión 2001 donde se introdujeron 52 datos para cada variable (Cuadro 3.1)

Cuadro 3.1 Materiales incluidos para el análisis de asociación de variables.

Nº de colecta	Entidad	Latitud N	Longitud W	Altitud	Nivel de ploidía
964314	Zac	23.63	103.65	225	4x***
964306	Zac	22.47	102.80	2164	4x***
TAMPS-86	Tamps	25.16	98.60	91	6x**
B7	Coah	25.25	101.19	1810	4x*
B8	Coah	25.30	101.33	1698	4x*
B9	Coah	25.31	101.35	1704	4x*
B12	Coah	25.37	101.54	1535	4x*
B13	Coah	25.32	101.67	1707	4x*
B14	Coah	25.32	101.78	1844	6x*
B15	Coah	25.39	101.96	1706	4x*
B20	NL	25.48	100.62	2254	4x*
B22	Coah	25.39	100.64	2195	4x*
B39	Coah	25.43	100.86	1650	4x*
B42	Coah	25.30	100.89	2460	4x*
B44	Coah	25.34	100.77	1991	4x*
B45	Coah	25.23	100.42	2727	4x*
B50	Coah	25.28	100.97	2219	4x*
B54	Coah	24.87	101.08	1781	4x*
B55	Coah	24.75	101.16	1869	4x*
B56	Zac	24.60	101.36	1837	4x*
B59	Zac	24.15	101.47	1885	4x*
B61	SLP	23.93	100.97	1876	4x**
B62	SLP	23.68	100.88	2650	2x*
B63	SLP	23.78	100.69	1688	4x*
B66	Coah	25.48	101.02	1798	4x*
B68	NL	25.35	100.28	1925	4x*
B70	NL	24.62	99.91	1770	4x*
B73	NL	24.61	100.05	1655	4x*

Continuación.....

B75	Coah	28.62	100.91	395	4x*
B76	Coah	28.90	101.23	370	4x*
B77	Coah	29.15	101.23	341	6x*
B79	Coah	29.28	100.89	380	6x**
B84	Coah	29.15	100.78	350	6x*
B86	Coah	27.93	101.23	370	4x*
B87	NL	25.65	100.63	1187	6x*
B88	NL	27.04	99.72	130	6x*
B92	Coah	27.52	100.61	789	4x*
B93	Coah	27.52	100.62	569	4x*
B96	NL	24.17	100.38	1720	4x**
B97	Coah	28.67	100.70	230	4x*
B98	Coah	28.31	100.38	179	4x**
B99	Coah	28.04	100.07	245	6x*
B106	SLP	22.46	101.15	1928	2x**
B111	SLP	23.17	101.05	2054	4x**
RC-1	SLP	23.70	100.89	2676	3x**
RC-2	SLP	23.70	100.89	2674	4x**
RC-3	SLP	23.70	100.89	2662	2x**
RC-5	SLP	23.70	100.89	2705	4x**
RC-7	SLP	23.70	100.89	2662	2x**
RC-9	SLP	23.69	100.86	2623	2x**
RC-10	SLP	23.70	100.85	2512	2x**
RC-14	SLP	23.78	100.69	1716	4x**

* Nivel de ploidía obtenido por Citometría de flujo.

** Nivel de ploidía obtenido por procedimientos citológicos.

*** Nivel de ploidía obtenida en la consulta del herbario de la UNAM

x = 10

Estudios Citológicos

Material biológico

Para el estudio citológico se utilizaron ocho materiales colectados en un rango de altitud de 1700 a 2700 msnm en el área de Real de Catorce, SLP y uno colectado en el estado de Tamaulipas a 91 msnm (Cuadro 3.2). Los cuales se conservan en forma vegetativa en campo y en invernaderos de la UAAAN.

Cuadro 3.2 Materiales de Zacate Búfalo utilizados en el estudio citológico.

MATERIAL	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD
RC-1	2676	23°41'	100°53'
RC-2	2674	23°41'	100°53'
RC-3	2662	23°41'	100°53'
RC-5	2705	23°41'	100°53'
RC-7	2662	23°41'	100°53'
RC-9	2623	23°41'	100°51'
RC-10	2512	23°42'	100°51'
RC-14	1716	23°46'	100°41'
TAMPS-86	91	25°09'	98° 36'

El estudio citológico se realizó en el laboratorio de Citogenética de la UAAAN, con anteras inmaduras y ápices de raíz, buscando células en división meiótica y mitótica, respectivamente para realizar el conteo de cromosomas.

Preparaciones Mitóticas

a) *Obtención de meristemos*

Para poder observar los cromosomas en el proceso de Mitosis se requieren células de cualquier tejido siempre y cuando se encuentre en división activa. Los meristemos de ápices de raíz resultan adecuados para este fin.

Para esto, las células en metafase se obtuvieron de guías de los diferentes materiales que se llevaron al laboratorio donde se colocaron en bolsas de plástico sellado, con un poco de agua y se dejaron a temperatura ambiente. De esta forma se obtuvieron ápices de raíz en 16-18 horas con un tamaño adecuado (1.5-2.0 cm). Este procedimiento permitió realizar fácilmente la observación del tamaño de la raíz y la realización del corte de los ápices de raíces.

b) *Pretratamiento de meristemos*

El pretratamiento consistió en someter los ápices de raíz a la acción de agentes químicos. Después de haber sido cortados los meristemos, fueron colocados en 8-Hidroxiquinoleína al 0.04%, por espacio de tres horas en total oscuridad, con la finalidad de acortar los cromosomas y aumentar el número de células en metafase.

c) Fijación

Posteriormente se pasaron al fijador Farmer (tres partes de alcohol etílico y una parte de ácido acético) con el propósito de preservar la organización del tejido, permaneciendo en esta solución hasta el momento de la hidrólisis.

d) Hidrólisis

Los ápices de raíz previamente tratados con el fijador fueron lavados tres veces con agua destilada con intervalos de 30 minutos en agua destilada, al término de este tiempo se enjuagaron nuevamente y se pasaron a ácido clorhídrico al 0.1N por 10 minutos, luego se lavaron dos veces con agua destilada para eliminar el ácido, dejándolos nuevamente durante 30 minutos en agua destilada. Posteriormente se pasaron a Buffer de Citratos durante 30 minutos, en esta etapa se cortan los ápices, dejando sólo los meristemas que pasan a una solución de enzimas (pectinasa y celulasa) en baño maría a 37°C durante una hora, después se eliminó la enzima mediante dos enjuagues con agua destilada y se dejaron en agua.

e) Estudio microscópico

Los meristemas ya tratados se extrajeron con una pipeta y se colocaron sobre un portaobjetos con una gota de fijador Farmer. Con

una aguja curva de disección se presionaron suavemente para extender las células meristemáticas sobre el portaobjetos, el cual se enjuagó con unas gotas de fijador Farmer para eliminar residuos de tejido, quedando así lista la preparación para su observación. Para su estudio al microscopio se colocó una gota de carmín y un cubreobjetos, el análisis se hizo con 1000 aumentos en un microscopio compuesto Carl Zeiss.

Preparaciones Meióticas

a) Obtención del Material

Los microsporocitos en desarrollo son células en las que se puede encontrar la división meiótica, en ocasiones es difícil seleccionar flores en estado apropiado de desarrollo donde pueda observarse la división meiótica. El Zacate Búfalo presenta una inflorescencia masculina con maduración escalonada de la parte superior a la parte inferior lo cual facilita el proceso de selección de las espiguillas para el análisis. Las inflorescencias fueron colectadas de las 7 AM a las 12 AM. Los factores ambientales como la temperatura y la humedad tienen gran influencia en la actividad metabólica de la planta, por lo que puede variar su período de floración.

b) Fijación

Al colectarse las inflorescencias, se colocaron en pequeños frascos con fijador Farmer con la finalidad de matar instantáneamente el tejido y fijar las fases de la división celular sin que se deterioren los tejidos. Las inflorescencias permanecieron en fijador Farmer hasta su análisis.

c) Procedimiento

De las inflorescencias que se encontraban en fijador Farmer, se tomaron algunas ramificaciones espigadas y se colocaron sobre una caja Petri para enjuagarlas con agua destilada, se disectó una espiguilla para extraerle las anteras, se colocaron en un porta objetos, se agregó una gota de colorante carmín propiónico. Con una aguja de disección curva se cortaron las anteras a la mitad y se aplastaron para liberar los microsporocitos y se extrajeron los residuos de las envolturas de las anteras, se mantuvieron en reposo durante dos minutos hasta que se colorearon.

Se colocó un cubreobjetos sobre los microsporocitos disueltos en la gota de colorante, se calentó la preparación con un mechero de alcohol y se presionó suavemente, sin movimientos laterales sobre un papel filtro.

En revisión bajo el microscopio, si el aplastado no fue suficiente se vuelve a presionar, y si los microsporocitos estaban sobre coloreados se agregaba una gota de ácido propiónico por los bordes del cubreobjeto y se volvía a presionar y a dar calor.

Se observó nuevamente al microscopio hasta que se obtuvo una buena diferenciación de color entre los cromosomas y el citoplasma, Se eligieron las mejores células en diacinesis de las diferentes preparaciones, se observaron al microscopio, se tomaron las microfotografías y sobre estas microfotografías se realizó el conteo de cromosomas (Hernández, 1984).

Microfotografía

Después de la elaboración de las preparaciones. Las microfotografías son una herramienta de gran utilidad para imprimir en papel lo que estamos observando en el microscopio y facilitar su análisis.

Las fotografías se tomaron a color en un microscopio con cámara integrada digital Pixera Viewfinder pro conectada a la computadora, verificándose la intensidad de luz y el contraste. Se tomaron las fotografías con 1000 aumentos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio Citológico

Se analizaron nueve materiales en diacinesis de meiosis y/o en células en metafase en mitosis, los resultados se reportan en el Cuadro 4.3.

Cuadro 4.3 Niveles de ploidía de nueve materiales analizados por meiosis y/o mitosis

MATERIAL	PLOIDÍA*	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD
RC-1	3x	2676	23°41'	100°53'
RC-2	4x	2674	23°41'	100°53'
RC-3	2x	2662	23°41'	100°53'
RC-5	4x	2705	23°41'	100°53'
RC-7	2x	2662	23°41'	100°53'
RC-9	2x	2623	23°41'	100°51'
RC-10	2x	2512	23°42'	100°51'
RC-14	4x	1716	23°46'	100°41'
TAMPS-86	6x	91	25° 9'	98° 36'

* x = 10

En la Figura 4.1 se muestra una microfotografía del material RC-3 en metafase de mitosis en la cual se pueden observar y contar los 20 cromosomas que posee. Considerando que el número básico de la especie es 10, se determinó que se trata de un material diploide.



Figura 4.1 Material RC-3. Diploide ($2n=2x=20$). Aumento 100x. Célula en metafase de mitosis.

En la Figura 4.2 se muestra una microfotografía del material RC-10 en diacinesis (A) y metafase I (B) donde se pueden observar y contar los 10 cromosomas bivalentes que posee un material diploide. Cabe señalar que es muy poco frecuente encontrar en metafase I cromosomas bivalentes separados, debido al tamaño reducido de las células y de los cromosomas.

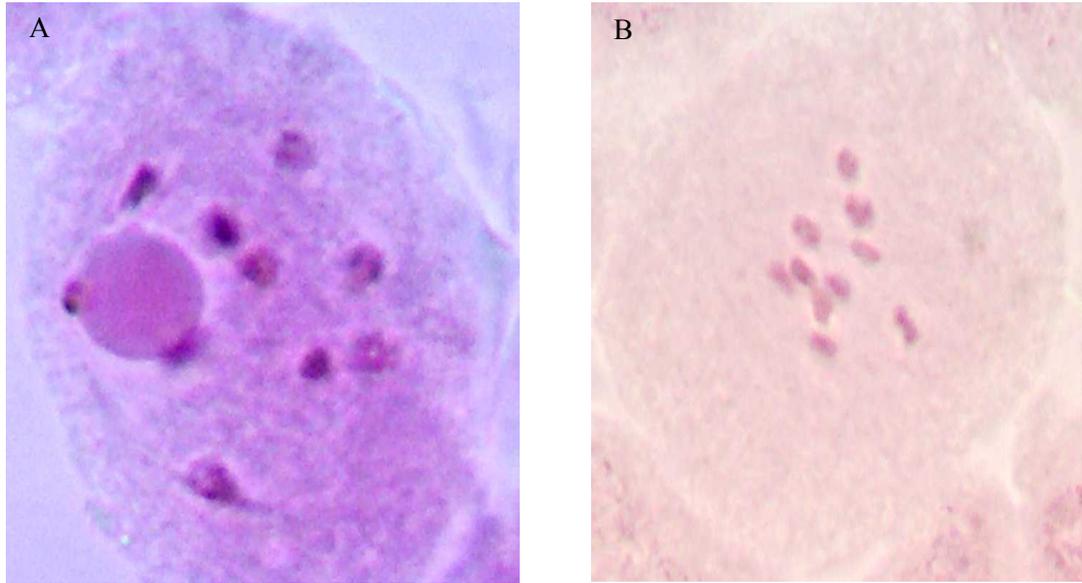


Figura 4.2 Material RC-10. Diploide ($2n=2x=20$). Aumento 100x. A) Célula en diacinesis de meiosis, B) Célula en metafase I de meiosis.

En la Figura 4.3 se muestra una microfotografía del material RC-2(A) y RC-14(B) ambos son tetraploides con 20 cromosomas bivalentes.

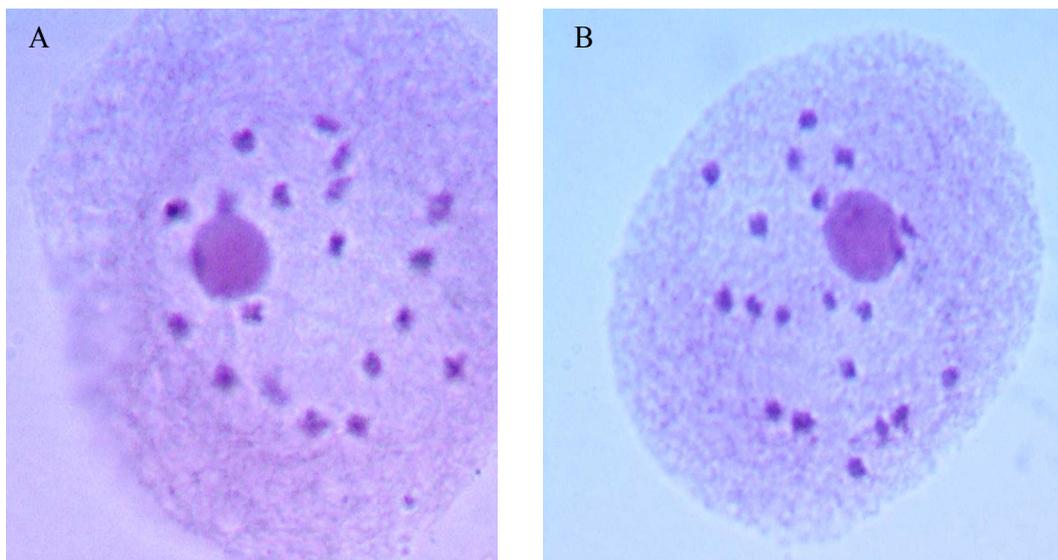


Figura 4.3 Materiales tetraploides ($2n=4x=40$). Aumento 100X. RC-2 (A) y RC-14 (B) Células en diacinesis de meiosis.

En la Figura 4.4 se observa una microfotografía del material RC-1 en metafase I (A) donde se cuentan 10 cromosomas univalentes (1 - 10) y en diacinesis (B) donde se cuentan 10 cromosomas bivalentes (1 - 10), distinguidos por el tamaño de cada uno, por lo que se asume que se trata de un triploide.

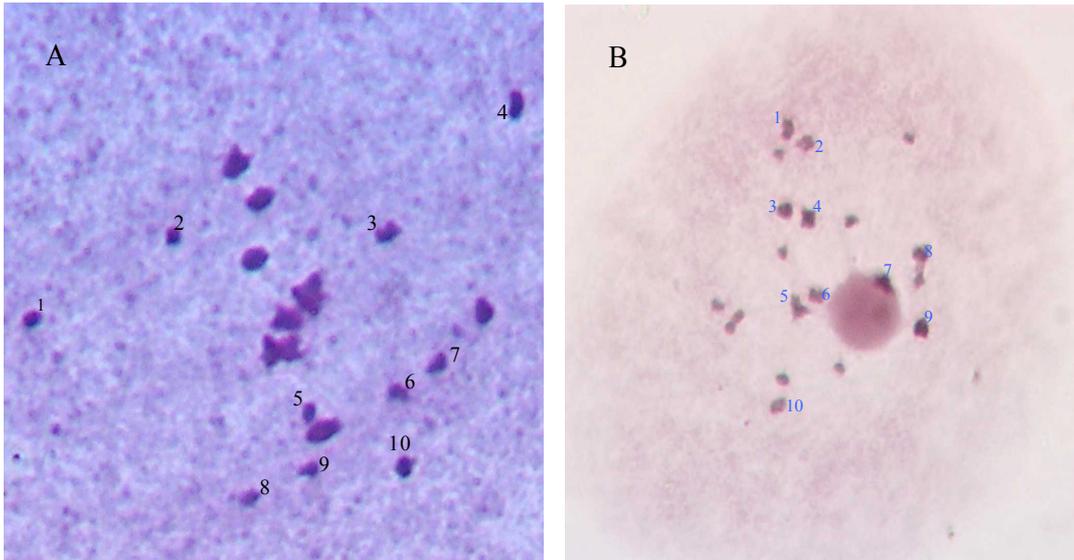


Figura 4.4 Material RC-1. Triploide ($3x=30$). Aumento 100X. A) Célula en metafase I de meiosis y B) Célula en diacinesis de meiosis.

En la Figura 4.5 se observa en diacinesis de meiosis el TAMPS-86 con 30 cromosomas bivalentes, lo que indica que se trata de un material hexaploide.

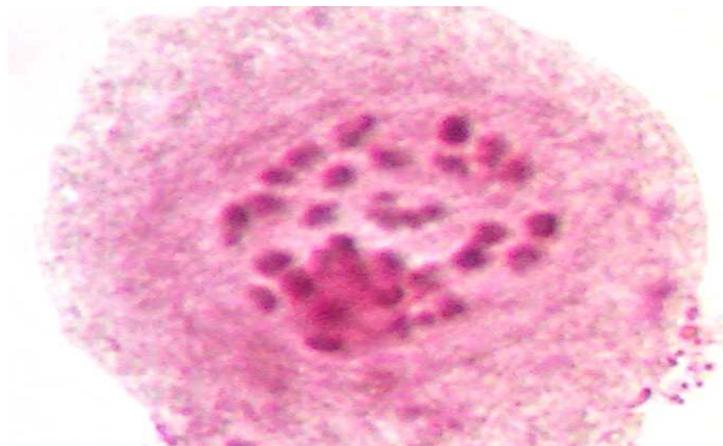


Figura 4.5 Material TAMPS-86 Hexaploide ($2n=6x=60$). Aumento 100x.

Distribución Geográfica del *Buchloe dactyloides* en México

La georeferenciación de 269 observaciones de la base de datos, indica que el Zacate Búfalo se encuentra en 16 entidades del territorio mexicano. Esto incluye la mayor parte de la zona comprendida entre la Sierra Madre Oriental y Occidental desde el eje Neovolcánico al sur, hasta la frontera con Texas al norte (Figura 4.6). Los estados con mayor número de sitios colectados son Coahuila, San Luis Potosí, Nuevo León y Zacatecas (Cuadro 4.4).

El reporte más meridional de presencia de Zacate Búfalo en México se localiza en el estado de Morelos a 19.02°N, mientras que el más boreal se reporta en Coahuila a 29.44°N. En longitud oeste se reporta desde Puebla a Chihuahua de 97.75° a 107.52° respectivamente (Figura 4.6). Sólo 10.5 por ciento de los sitios de colecta se localizan por debajo de los 1000 msnm, 47.3 por ciento entre los 1000 y 2000 m y 42.1 por ciento por arriba de los 2000 msnm.

La mayor altitud a la que se ha recolectado Zacate Búfalo es a 2828 m en el Cerro del Potosí en Nuevo León, mientras que en Tamaulipas se han recolectado materiales a sólo 10 msnm; los rangos por entidad se presentan en el Cuadro 4.4.

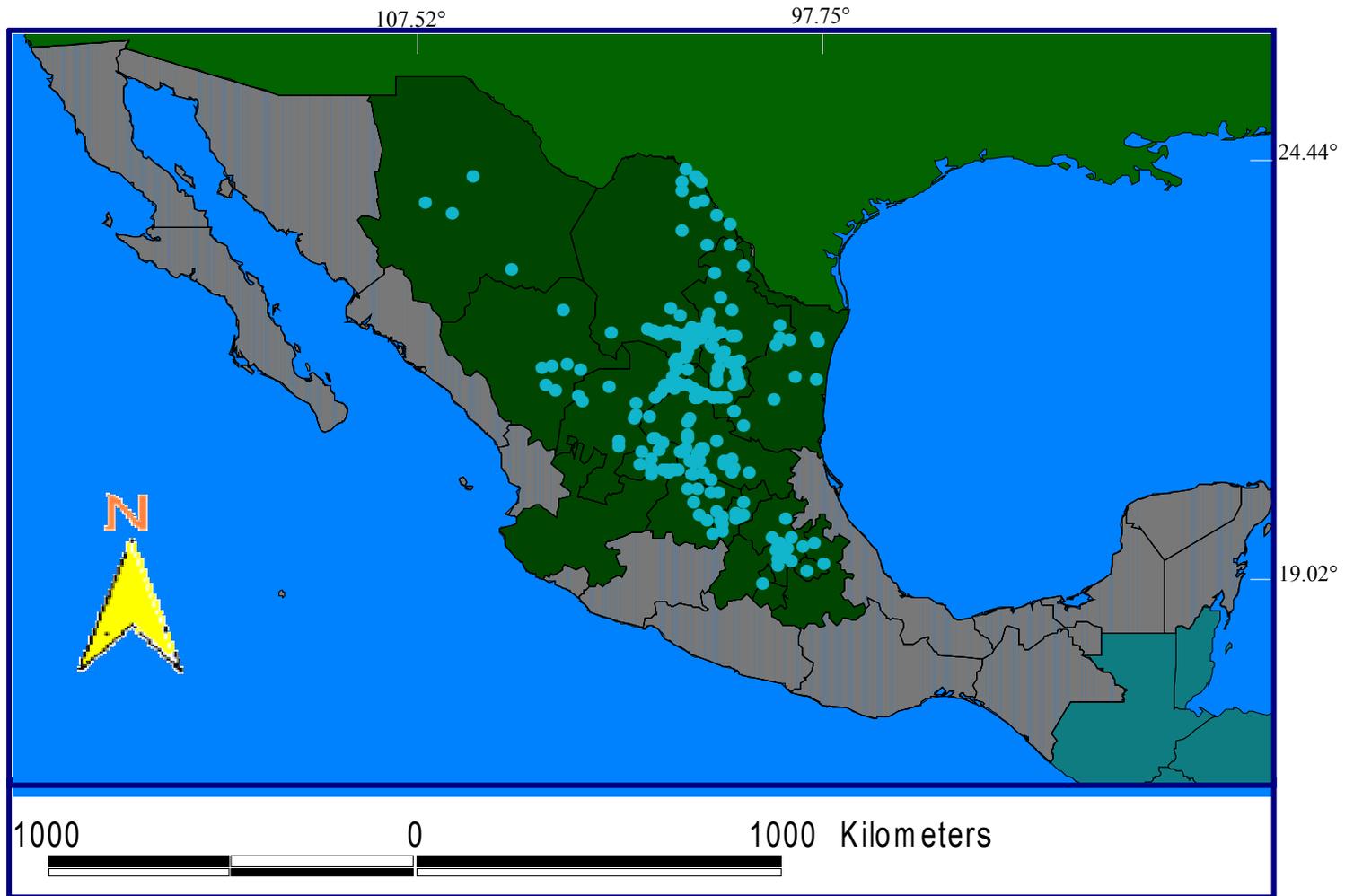


Figura 4.6. Distribución del Zacate Búfalo en México.

Cuadro 4.4. Número de colectas de Zacate Búfalo por estado.

Estado	Número Colectas*	Rangos de Altitud (msnm)
Coahuila	76	170 – 2727
San Luis Potosí	60	900 – 2713
Nuevo León	39	104 – 2828
Zacatecas	29	1533 – 2370
Tamaulipas	10	10 – 2050
Querétaro	10	1950 - 2600
Guanajuato	8	1700 - 2730
Hidalgo	8	2100 - 2500
Durango	7	1700 - 2500
Estado de México	6	2240 - 2740
Jalisco	4	1000 - 2220
Chihuahua	4	1540 - 2030
Aguascalientes	3	1943 - 2400
Puebla	2	2000
Tlaxcala	2	2164 - 2580
Morelos	1	2130

* Incluye registros de germoplasma y ejemplares de herbarios de la UNAM, UACH y UAAAN.

En la Figura 4.7 se presenta el área de distribución del Zacate Búfalo basado en los sitios de colectas. Sin embargo, el área de distribución del género monotípico *Buchloe* podría extenderse más allá de los sitios reportados tanto hacia el sur hasta las áreas semiáridas de Oaxaca, y hacia el Noroeste hasta Sonora y Baja California dado a que pueden existir condiciones similares al de las áreas donde hasta ahora se ha recolectado. El hecho de que no se

tenga reportado al oeste de la Sierra Madre Occidental es evidencia de que esta cordillera ha constituido una barrera natural que ha impedido su dispersión hasta esas regiones semiáridas. De igual forma hacia la parte semiárida de Oaxaca que es separada por las montañas y sierras que forman el eje Neovolcánico.

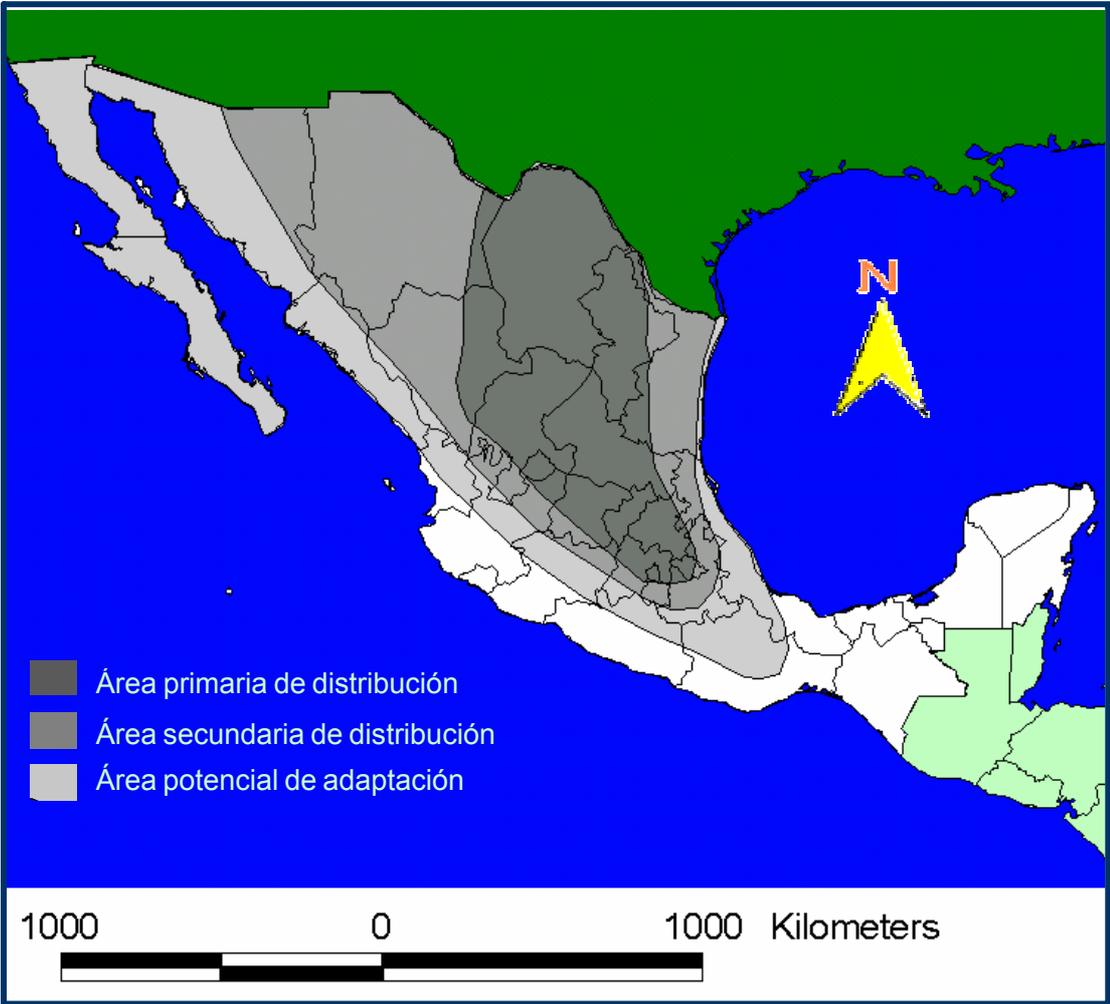


Figura 4.7. Área de distribución y de potencial de adaptación del Zacate Búfalo en México.

En la Figura 4.8 se presenta el mapa del área de distribución y área con potencial de adaptación de Zacate Búfalo en los Estados Unidos de América reportada por Johnson et al. (2001) y el mapa obtenido en este trabajo para México, donde se observa que pueden coincidir estas áreas en el sur y norte de ambos países respectivamente.

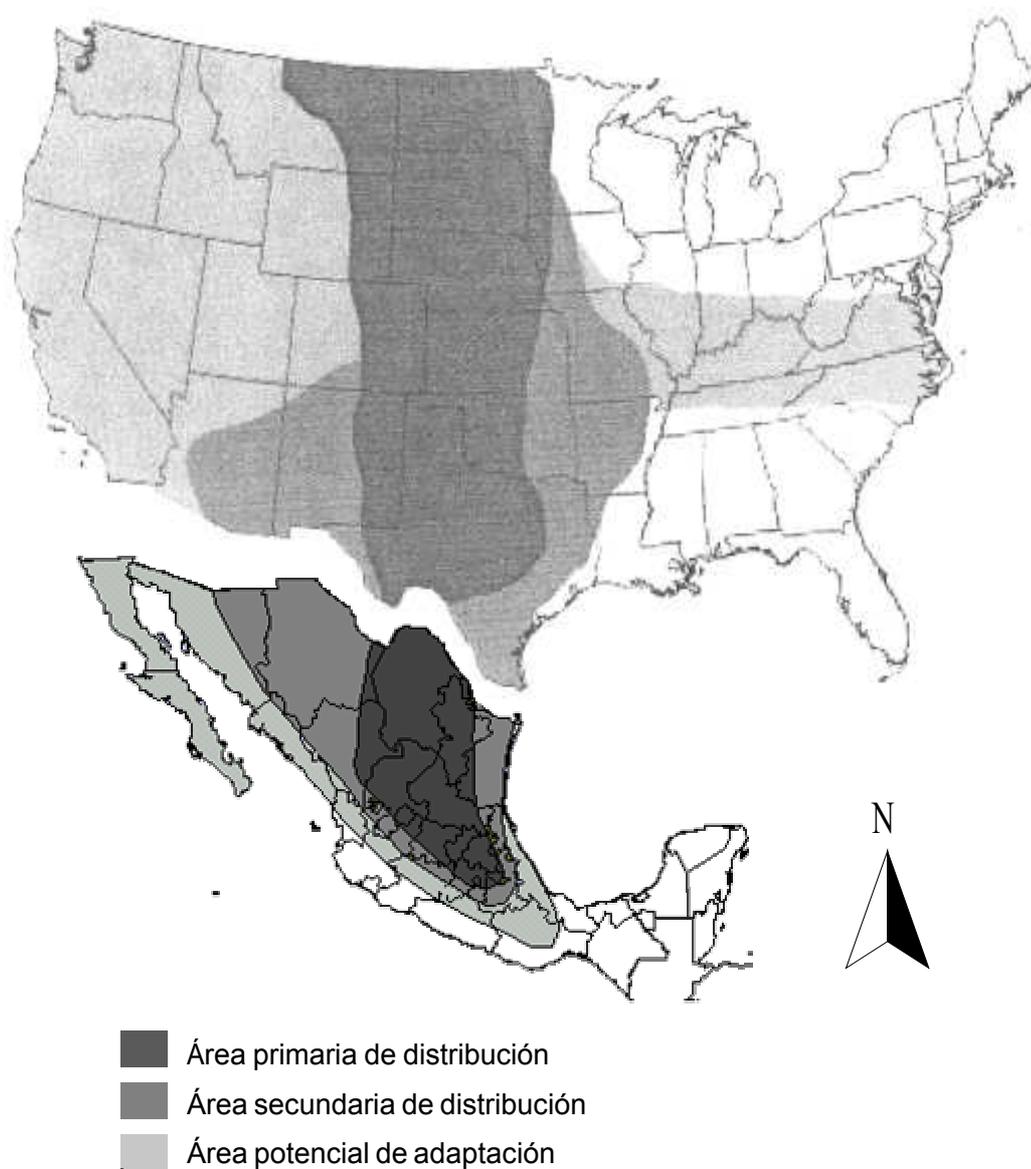


Figura 4.8. Área de distribución y adaptación del Zacate Búfalo en EUA (Johnson et al., 2001) y México.

Asociación de la distribución geográfica con los niveles de ploidía

Dada la importancia de los niveles de ploidía en el Zacate Búfalo y de que los materiales colectados en México presentan diferentes niveles de ploidía se estableció la correlación entre las variables geográficas de distribución y el nivel de ploidía. El nivel de ploidía de los materiales incluidos fueron obtenidos por métodos citológicos y por Citometría de flujo y fueron colectados en los estados de Coahuila, Zacatecas, Nuevo León, San Luís Potosí y Tamaulipas en un rango de 96.60° a 103.65° longitud oeste, 22.45° a 29.28° latitud norte (Figura 4.9) y desde 91 msnm hasta 2727 msnm.

Los patrones de distribución por niveles de ploidía no están bien definidos. Sin embargo, contrariamente a lo que mencionan Johnson et al. (2001) quienes no encontraron correlación entre latitud y ploidía, en el mapa generado en este estudio (Figura 4.9) se observa una mayor presencia de hexaploides (6x) conforme la latitud aumenta; los diploides (2x) se presentan con mayor frecuencia a menores latitudes; en tanto que los tetraploides se distribuyen principalmente en latitudes intermedias entre los niveles extremos. Estadísticamente esto se respalda con un coeficiente de correlación altamente significativo ($r = 0.564$; $P < 0.0001$) entre nivel de ploidía y latitud (Cuadro 4.5). En este cuadro, también se observa un valor de correlación negativo ($r = -0.600$; $P < 0.0001$) altamente significativo entre nivel de ploidía y altitud, lo que indica que a mayor altitud el nivel de ploidía de las colectas fue menor. Lo anterior se

refleja también en la Figura 4.10 donde los hexaploides se encuentran a rangos de altitud inferiores que a los de los tetraploides y diploides.

En cuanto a la longitud no se observó relación con el nivel de ploidía (Cuadro 4.5) porque los tetraploides se encuentran distribuidos en toda el área de estudio y parecen ser los más ampliamente adaptados (Figura 4.9).

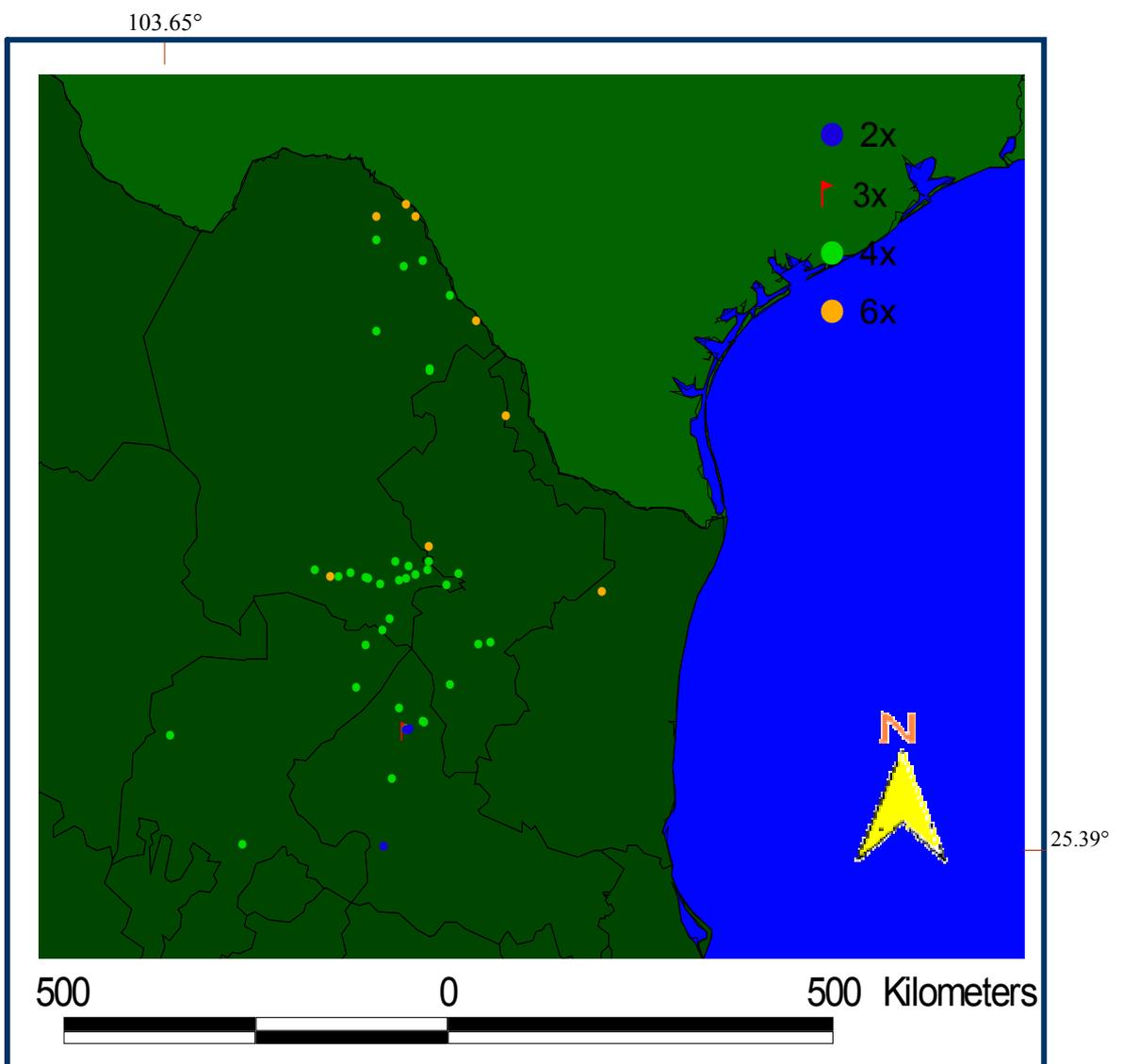


Figura 4.9. Patrón de distribución de ploidía del Zacate Búfalo en México.

Tomando en cuenta que en México las poblaciones diploides y hexaploides representan el 26.9 por ciento de los materiales estudiados para determinar la asociación de variables, estos resultados son válidos para la región norte del área de distribución del Zacate Búfalo en México.

Cuadro 4.5. Coeficientes de correlación de la variable ploidía con las variables de distribución geográfica.

Variable	Latitud	Longitud	Altitud
Nivel de ploidía	0.564	-0.189	-0.600
Nivel de significancia	<.0001	0.1795	<.0001

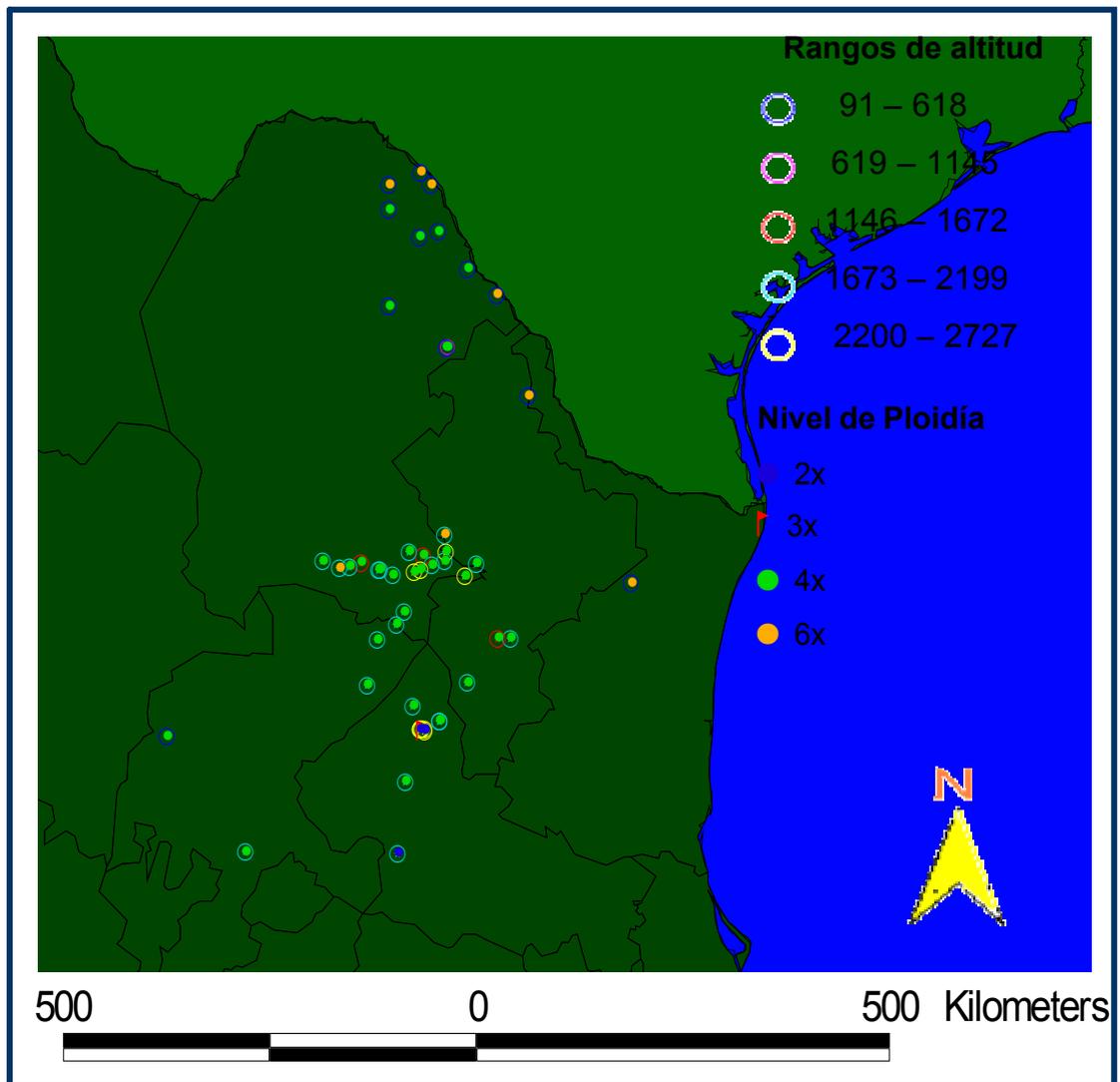


Figura 4.10. Distribución de los niveles ploidía de Zacate Búfalo de acuerdo a la altitud.

En la Figura 4.11 se incluye la distribución de los diferentes niveles de ploidía de Zacate Búfalo en los EUA y México. Los datos de Estados Unidos se obtuvieron de un cuadro reportado por Gulsen et al. (2005). En el mapa de esta figura se observa que en cada país se tienen diferentes patrones de distribución de ploidía, en EUA los diploides se encuentran conviviendo con los hexaploides, mientras que en México los diploides, se distribuyen más al sur, en convivencia con los tetraploides y separados por más de 200 Km. de los hexaploides. Los diploides son los menos frecuentes, tanto en México como en las Grandes Planicies del Sur de EUA, estas poblaciones representan sólo el 11.53 y 2.6 por ciento, respectivamente. Sin embargo, la diferencia más contrastante es la mayor abundancia de tetraploides en México, representando un 71.15 por ciento, mientras que en Estados Unidos el nivel de ploidía predominante es el hexaploide, representando el 73 por ciento.

En la misma Figura se observan las dos áreas de diploides en México, en los municipios de Real de Catorce y San Luis Potosí, localizados éstos en la región norte y centro del estado de San Luis Potosí, respectivamente. En Real de Catorce, SLP también se recolectó un material triploide, este es el primer triploide encontrado en forma natural en toda el área de distribución del Zacate Búfalo. En esta localidad también se encuentra el área donde se han obtenido el mayor número de materiales diploides en México. En la Figura 4.12 se presenta una ampliación de esta área para visualizar la mayoría de los sitios de colecta de dicha área. El sitio de colecta del triploide se localiza a 22.45° latitud norte y 101.14° longitud oeste a 2676 msnm; dos materiales diploides se

colectaron a 3 m y 47 m de este sitio y a 45 metros del sitio se colectó un material tetraploide. La presencia de plantas diploides y tetraploides explica la ocurrencia del material triploide, cuyo origen es sin duda el cruzamiento de una planta diploide con una planta tetraploide.

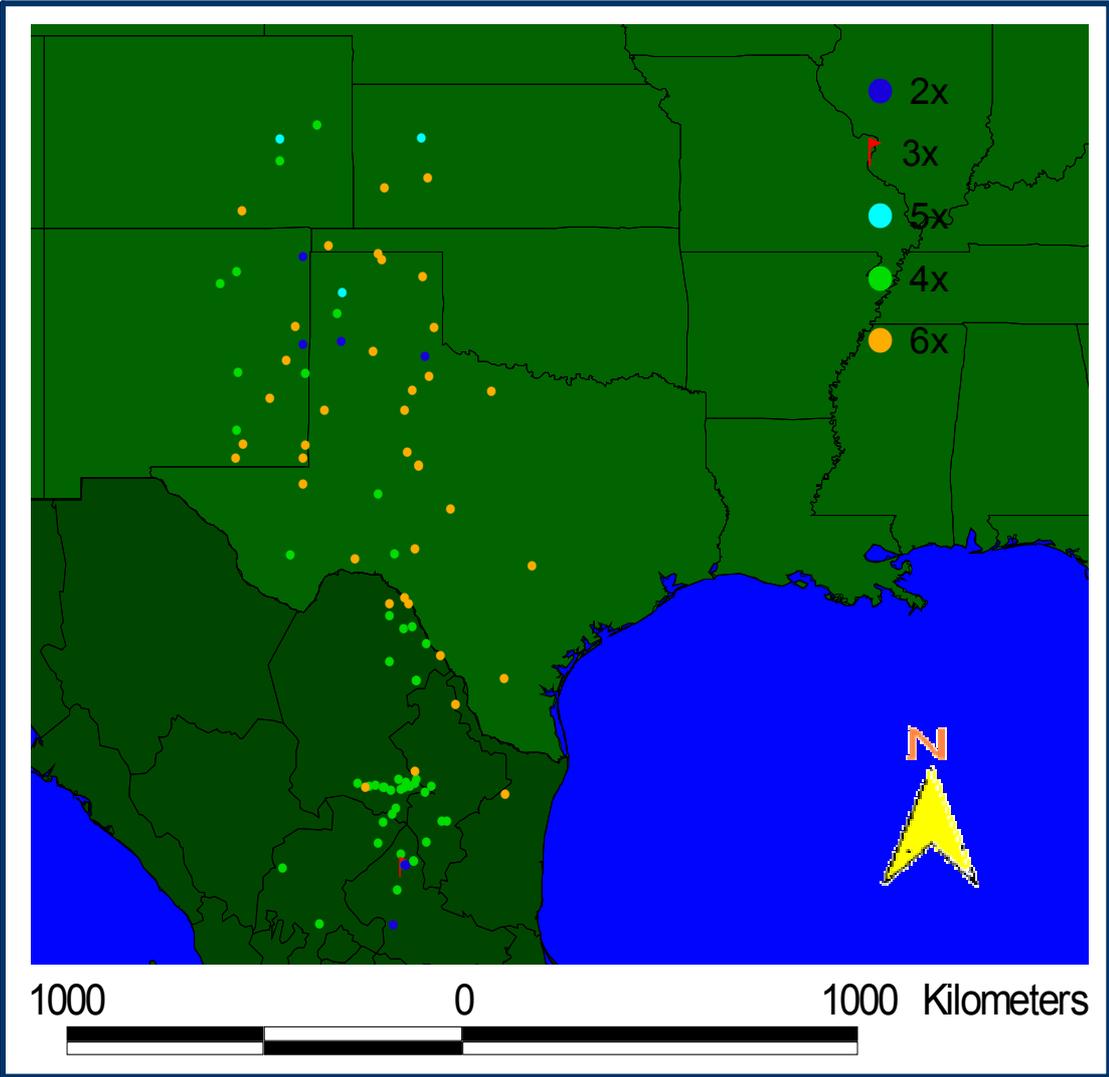


Figura 4.11. Distribución de los niveles de ploidía de Zacate Búfalo en los EUA y México.

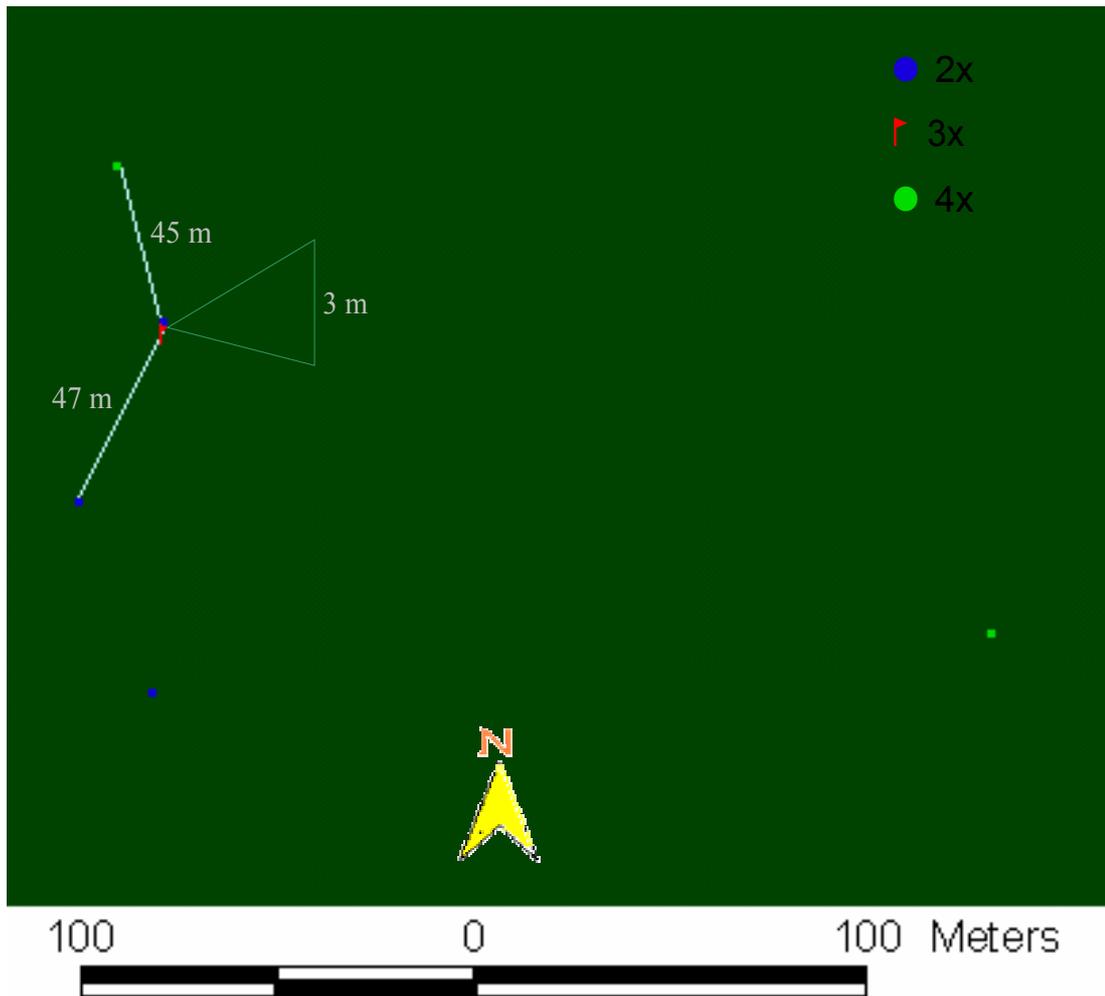


Figura 4.12. Materiales diploide, triploide y tetraploide en el área de Real de Catorce, SLP.

La baja ocurrencia en forma natural de los pentaploides y triploides puede deberse a la limitada producción de semilla y poco vigor de planta (Johnson et al., 2001). Esto puede ser totalmente cierto en especies de reproducción completamente sexual. En especies con reproducción sexual y asexual ésta última puede permitir la sobrevivencia de aquellos triploides o pentaploides que logren una conjunción de caracteres favorables que resulte en un individuo competitivo.

Igualmente en la Figura 4.11 se localiza un hexaploide en el estado de Tamaulipas (TAMPS-86), colectado a 25.16° latitud norte, 98.60° longitud oeste, es el hexaploide más meridional que se haya reportado a la fecha, y a sólo 91 msnm es también el hexaploide colectado a menor altitud. Otro aspecto importante de este sitio y de manera general de los hexaploides encontrados en México es que a diferencia de los de Estados Unidos, su distribución no parece estar asociado o relacionado sólo con bajas temperaturas (Huff et al., 1993, Johnson et al., 1998 y 2001) ya que su rango de distribución, extendida mayormente cerca de los márgenes del río Bravo, abarca regiones con clima extremo, frío en invierno, hasta 9.6°C de temperatura mensual en enero y caliente en verano, hasta 30.4°C en agosto. Por otro lado, el hecho de que en este estudio los diploides se localicen en altitudes superiores a los 2500 msnm, también puede ser indicativo de la poca correlación de los niveles de ploidía con las bajas temperaturas, ya que a estas altitudes las temperaturas son templadas con inviernos fríos (Cuadro 4.6). Con relación a la precipitación total, los hexaploides se localizan en sitios con un rango de precipitación de 393 a 598 mm y los diploides en sitios con precipitación menor a los 300 mm (Cuadro 4.6), esto en concordancia con la alta correlación entre nivel de ploidía y precipitación total reportada por Johnson et al. (2001).

Otro aspecto importante del material TAMPS-86 es que a la fecha de su recolección el 1 de diciembre de 2004 no presentaba signos de latencia. (Figura 4.13). Esto debe estar relacionado, sin duda con temperaturas que no caen por debajo de 15.9°C en el mes más frío.

Cuadro 4.6 Temperatura y precipitación registradas en estaciones meteorológicas cercanas a los sitios de colecta de diploides y hexaploides.

Localidad	Mes													PROM. ANUAL	# de Colecta
	A-O	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Real de	T 10	12.8	15.1	16.3	19.8	22	22.4	21.9	21.7	20.9	18.4	14.6	13.1	18.2	* RC
Catorce, SLP.	P 10	19.5	7.5	7.2	6.3	41.8	35.8	38	31.5	24.3	18.3	19.8	19.8	269.8	3, 4, 5, 7, 9, 10
Rincón de	T 38	13	14.1	17.1	19.9	21.1	20.4	19.3	19	18.8	16.9	15.2	13.3	17.3	* B
Porvenir, SLP	P 38	11.5	5.8	11.3	7.4	26.3	47.3	45.6	39.9	60	34.7	3.5	5.9	299.2	106
Méndez, Tamps.	T 33	15.9	18.1	21.6	25.4	27.5	29.6	29.4	29.4	27.8	23.9	19.5	16.2	23.6	** TAMPS
	P 45	20.8	18.9	20.9	39.6	65.4	78.8	38.7	85.8	125	64.4	24.3	15.9	598.3	86
Gral. Cepeda,	T 15	13.5	14.8	18.2	21.4	23.9	24.8	24.5	23.7	21.7	19.1	16	14	16.6	** B
Coah.	P 15	7.7	10.2	6.6	10.6	18.2	51.8	67.6	74.2	63.2	29.9	11.4	11.8	363.1	14
Acuña, Coah.	T 27	9.6	12.2	17.4	22.2	25.6	29.2	30.3	30.4	27.5	21.6	15.3	10.7	21	** B
	P 28	13.6	21.5	18.7	44.4	59.5	59.2	28.8	48	76.2	60.3	20.6	13.7	464.5	77, 79, 84

Tomado del libro: Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen (García, 1988).

* Diploide

** Hexaploide

A-O = Años Observados.

T = Temperatura.

P = Precipitación.

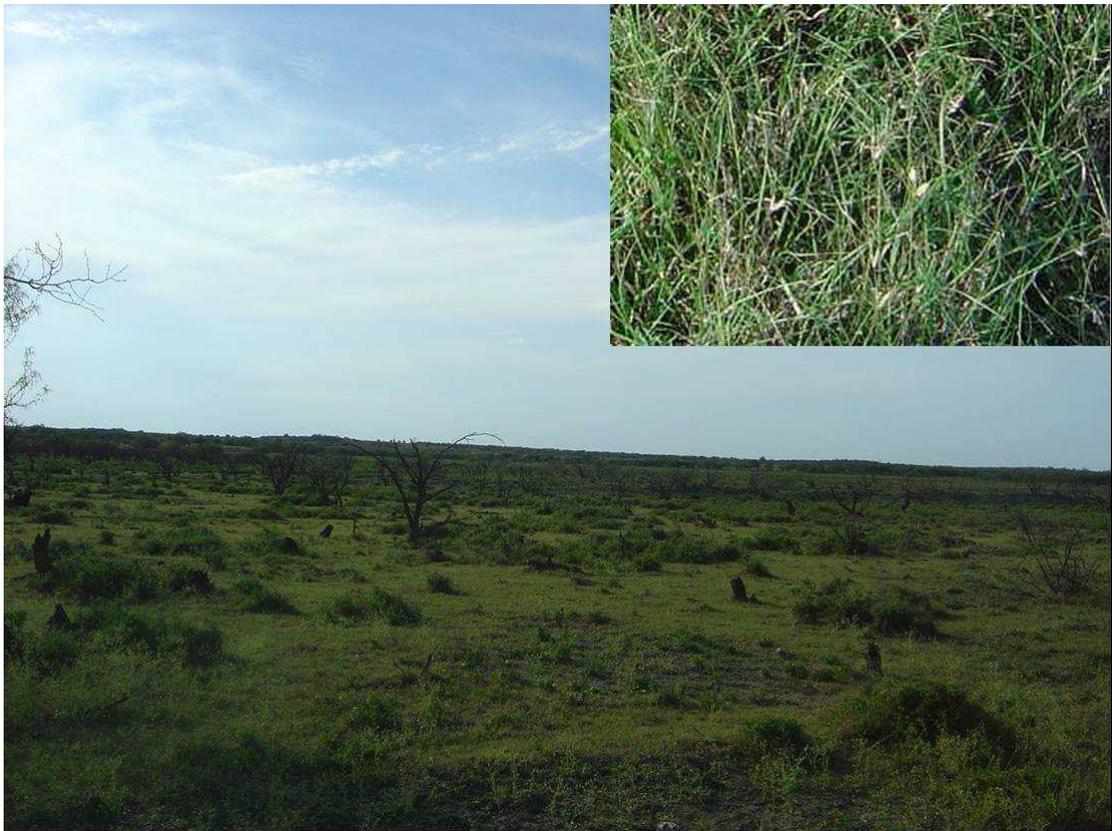


Figura 4.13. Sitio de colecta del material TAMPS-86 el 1 de diciembre de 2004.

El haber encontrado un hexaploide en la situación geográfica del TAMPS-86 amplía el rango de distribución de este nivel de ploidía y nos puede indicar que el nivel de ploidía elevado confiere mayor capacidad de adaptación al individuo a diferentes ambientes.

Con este reporte también podemos inferir en la posibilidad de encontrar hexaploides hacia latitudes inferiores aunque esto último tiene que ser verificado con estudios de ploidía.

Una vez más se reafirma la diferencia que presentan los materiales de Estados Unidos y los materiales de México (Huff et al., 1993), pero sería interesante conocer en que y en donde radican esas diferencias genéticas y estudiar también su importancia.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos y en los objetivos planteados en este trabajo, las conclusiones fueron las siguientes:

1. El Zacate Búfalo posee amplia distribución geográfica en México principalmente en áreas semiáridas del país.
2. Los estados donde el Zacate Búfalo abunda más son: Coahuila, San Luís Potosí, Zacatecas y Nuevo León.
3. Existe correlación significativa y positiva entre latitud y nivel de ploidía y correlación negativa entre la altitud y nivel de ploidía; es decir que los diploides se localizan a menor latitud y a mayor altura que los hexaploides.
4. No existe asociación entre el nivel de ploidía y la longitud.
5. En los materiales colectados en el área de Real de Catorce, San Luis Potosí se encontraron de ocho materiales cuatro diploides, tres

tetraploides y un triploide, este último es el primero en ser reportado en forma natural en la especie.

6. Poblaciones con diferente nivel de ploidía pueden convivir en áreas comunes, lo que puede dar origen a niveles intermedios de ploidía como, triploides y pentaploides y a diferentes tipos de aneuploides.
7. Por su amplia distribución geográfica el Zacate Búfalo tiene una gran área potencial para ser aprovechada como césped en México.

RECOMENDACIONES

a) Es interesante e importante seguir con estudios referentes a la distribución de las especies con potencial de ser aprovechadas para beneficio del hombre y su ambiente como es el caso del Zacate Búfalo, para solidificar las bases de los programas de mejoramiento del mismo.

b) En el caso específico del estudio de la distribución geográfica del *Buchloe* y sus repercusiones en sus atributos citogenéticas y por ende fisiológicos y fenotípicos debe ampliarse para establecer las verdaderas asociaciones entre estas variables.

c) Es necesario para lo anterior destinar recursos suficientes para la investigación y desarrollo de las actividades referentes; pues sólo así se estará contribuyendo al desarrollo soberano del país.

LITERATURA CITADA

- Arcview Gis, 1996, Environmental Systems Research Institute Inc, Redlands, USA.
- Beetle, A. 1950. Buffalograss-native of the shortgrass plains. Bull. 293. University of Wyoming, Agricultural Experiment Station. 31 p. [414] Laramie, WY.
- Brede, D. 2000. Turfgrass maintenance reduction handbook: sports, lawns, and golf. Chelsea and harbor press, Michigan, EUA. 173 p.
- Cabrera, A. L y A. Willink. 1973. Biogeografía de América Latina. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington, D. C. 120 p.
- Cantú, J. E. 1989. 150 Gramíneas del Norte de México. Monografía UAAAN.
- Castañeda, L. J. P. 2003. Actualización de la información Geohidrológica del Estado de Coahuila de Zaragoza, utilizando Arcview Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah. 110 p.
- Cruz, J. S. D. 2001. Factores ambientales asociados a la distribución de *Pinus engelmannii* Carr. en la Sierra Tarahumara, Chih., utilizando Sistemas de Información Geográfica. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Torreón, Coah. 113 p.
- De Anda, V. E. G. 2004. Determinación de los niveles de ploidía de 42 materiales de zacate búfalo (*Buchloe dactyloides* (Nutt.) Engelm] a través

- de Citometría de Flujo. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah. 68p.
- De León, R. A. 1998. Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Y operación de equipos de recepción. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo Coah.
- Galbraith, D. W., K. R. Harkis, J. M. Maddox, N. M. Ayres, D.P. Sharma and E. Firoozabady. 1983. Rapid flow cytometry analysis of the cell cycle in intact plant tissues. *Science* 220:1049-1051.
- García, de M. E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen. 4ª ed. México D.F. 217p.
- Gentry, H. S. 1957. Los pastizales de Durango. Ediciones del Instituto de Recursos Renovables, A. C. México, D. F.
- Gould, F. W. y R. B. Shaw. 1992. Gramíneas clasificación sistemática. 1ª ed., Ed. AGT, México D.F. 288 p.
- Gulsen, O., R. C Shearman, K. P. Vogel, D. J. Lee and T. Heng-Moss. 2005. Organelle DNA Diversity among Buffalograsses from the Great Plains of North America Determined by cpDNA and mtDNA RFLPs. *Crop Sci.* 45:186-192
- Hernández, C. R. E. 2005. Caracterización morfológica y de calidad de césped y determinación del nivel de ploidía de ecotipos de Zacate Búfalo (*Buchloe dactyloides* (Nutt.) Engelm]. Tesis de Maestría. UAAAN, Saltillo, Coah. 93 p.
- Hernández, E. 1987. Los pastos y pastizales de las zonas áridas del centro y noreste de México. *Xolocotzia* (II): 530.

- Hernández, S. M. 1984. Manual de laboratorio citología y citogenética. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. pp: 4-92.
- Hernández, G. G. y Romero, P. L. Plantas de pastizales. Departamento de Recursos Naturales. UAAAN. Buenavista Saltillo, Coah.
- Hitchcock A. S. 1950. Manual of the grasses of The United States. Washington.
- Hopper, T. H. and L. Nesbitt. 1930. The chemical composition of some North Dakota pasture and hay grasses. Bull. 236. Fargo, ND: North Dakota Agricultural College, Agricultural Experiment Station. 39 p.
- Huff, D. R., R. Peakall and P. E. Smouse. 1993. RAPD variation within and among natural populations of outcrossing buffalograss *{Buchloe datyloides (Nutt.) Engelm.}* Theor. Appl. Genet. 86:927-934.
- Hughes. H. D., M. E, Heath y D. S. Metcalfe. 1981. Forrajes. Décima impresión. Continental, S, A., México. 363 p.
- Johnson, J. R., J. T. Nichols. 1970. Plants of South Dakota grasslands: A photographic study. Bull 566. Brookings.
- Johnson, P. G., K. E. Kenworthy, D. L. Auld, and Riordan T. P. 2001. Distribution of buffalograss polyploid variation in the southern great plains. Crop Sci 41: 909-913.
- Johnson, P. G., T. P. Riordan, and K. Arumuganathan. 1998. Ploidy level determinations in buffalograss and clones populations. Crop Sci. 38: 478-482.
- Kartesz, J. T. 1994. A synonymized checklist of the vascular flora of the United States, Canada, and Greenland. Volume II--thesaurus. 2nd ed. Portland, Or: Timber Press. 816 p.

- Martínez, R. J. M. 2002. Colección de germoplasma de zacate búfalo (*Buchloe dactyloides*). In: Memorias del XIX Congreso Nacional de Fitogenética, Saltillo, Coah. p. 385
- Martínez, R. J. M. y Hernández, C. R. E. 2006. Distribution of ploidy level variation in Mexico. In: Abstracts 59 Annual Meeting. Society for Range Management. Vancouver, Canada.
- Moore, D. M. 1979. Citogenética Vegetal. Ed. Omega, México D.F. pp: 46-65
- Muller, I. M. 1941. An experimental study of rhizomes of certain prairie plants. Ecological Monographs. 11: 165-188.
- Paul, G. Jhonson, Kewin. E. K., Dick, L. A y Riordan T. P. Distribution of Buffalograss Polyploid Variation in the Southern Great Plains. Crop Sci. 41: 909-913.
- Poehlman, J. M. y D. Alles. 2003. Mejoramiento Genético de las Cosechas. 2ª ed. Limusa. México, D.F.
- Qian, Y. L., S. Ball Z, Tan. A. J. Koski and S. J. Wilhem. 2001. Freezing tolerance of six cultivars of buffalograss. Crop Sci. 41:1174-1178.
- Ramsey, G. W. and C. R. Brooks. 1987. *Buchloe dactyloides* (Nutt.)Engelm. Poaceae) new to Virginia in Bedford County. Virginia Journal of Science. 38(3): 247-252.
- Rebolledo, R. H. H. 2002. Manual SAS por computadora. Editorial Trillas.
- Riordan, T.P., and P.G. Johnson. 1997. Grass germplasm in the USA: a status report. pp: 50-51.

- Rosas, P. J. A. 2003. El zacate Búfalo (*Buchloe dactyloides*): una alternativa de césped para la región semiárida de México. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah. 82 p.
- Santos, S. J., R. J. Valdés y A. R. Vásquez. 1981. Gramíneas del Rancho Los Ángeles. UAAAN, Buenavista Saltillo, Coah.
- SAS. 2001. Institute Inc., Carry, NC, USA.
- Shaw, R. B., and C.M. Bern. 1987. Sex ratios of [*Buchloe dactyloides* (Nutt.) Engelm] along catenas on the shortgrass steppe. Botanical Gazette. 148 (1): 85-89.
- Singh, R. J. 2003. Plant Cytogenetics. CRC Press. pp: 38-53
- Wu, L. 2000. "Buffalograss: This ancient American Forage Grass. May Have a Future as Turf. DIVERSITY Vol. 16, No: 1 y 2. pp 42-43
- Barker, R. E., J. A. Kilgore, R. L. Cook and A. E. Garay. 1998. <[http://cropandsoil.oregons-tate.edu/seedext/ Pub/1998/SR9919.html](http://cropandsoil.oregons-tate.edu/seedext/Pub/1998/SR9919.html)>
- USDA, 2001. *Buchloe dactyloides* <http://plants.usda.gov/cgi_bin/profile.cgi>
- KSU Web. 2002. Kansas State University.
- <http://www.inegi.gob.mx/geo/default.asp>
- http://www.ecoatlas.org.ar/docs/manuales/manual_av.pdf.
- http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamiento_global
- <<http://spuds.agron.ksu.edu/ksgrasskey/images/Buchloedactyloides.html>>
- <http://sepultura.semarnat.gob.mx/ucanp/data/programasmanejo/maderas/presentacion.html>