
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

COORDINACIÓN DE POSGRADO



**“Distribución geográfica e índices de
diversidad de maíz (*Zea mays* L.) en la
República Mexicana”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

PRESENTA:
NOÉ DURÁN PUGA

DIRECTOR:
DR. JOSÉ ARIEL RUIZ CORRAL

LAS AGUJAS, ZAPOPAN, JAL., DICIEMBRE 2006

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y
Agropecuarias

Programa de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Forestales



La tesis "**Distribución geográfica e índices de diversidad de maíz (*Zea mays* L.) en la República Mexicana**" del C. Noé Durán Puga, se realizó bajo la dirección del Consejo particular que se indica, fue aprobada por el mismo y se aceptó como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAESTRIA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

Consejo Particular

Tutor: _____
Dr. José Ariel Ruiz Corral

Asesor: _____
Dr. José de Jesús Sánchez González

Asesor: _____
Dr. José Ron Parra

Asesor: _____
Dr. Diego Raymundo González Eguiarte

LAS AGUJAS, ZAPOPAN, JAL., DICIEMBRE 2006

CONTENIDO		Página
RESUMEN.....		2
I. INTRODUCCION.....		4
II. OBJETIVOS.....		6
2.1. Objetivo general.....		6
2.2. Objetivos particulares.....		6
III. HIPOTESIS.....		6
IV. REVISION DE LITERATURA.....		7
4.1. Origen y domesticación del maíz.....		7
4.2. Recursos fitogenéticos de México.....		9
4.3. Utilización de los recursos fitogenéticos relacionados con el maíz.....		11
4.4. Diversidad de especies.....		11
4.4.1. Diversidad de <i>Zea mays</i> en México.....		12
4.5. Intervalos climáticos, distribución geográfica y niveles de diversidad de especies.....		15
V. MATERIALES Y METODOS.....		17
5.1. Área de estudio.....		17
5.2. Materiales genéticos.....		17
5.3. Bases de datos y sistemas de información geográfica.....		17
5.4. Metodología.....		19
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		23
6.1. Tipos climáticos de distribución de las razas de maíz de México.....		23
6.1.1. Tipos climáticos de distribución de los grupos raciales morfológicos...		27
6.1.2. Tipos climáticos de distribución de los grupos raciales geográficos...		28
6.2. Intervalos climáticos de adaptación de los grupos raciales.....		29
6.3. Distribución geográfica actual y potencial de <i>Zea mays</i>		36
6.4. Intervalos climáticos óptimos.....		53
6.5. Índices de diversidad.....		54
VII. CONCLUSIONES.....		66
VIII. BIBLIOGRAFIA.....		68

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivos determinar los rangos climáticos de adaptación y los lugares más probables de distribución de las diversas razas de maíz (*Zea mays* L.) en México, así como a la cuantificación de la diversidad de esta especie en las diversas regiones agroecológicas del país. Para lograr estos objetivos se conformó una matriz de datos georreferenciados de cada uno de los puntos de colecta de las 46 razas de maíz, utilizando los resultados del proyecto LAMP. Con esta matriz de datos se caracterizaron los rangos climáticos de adaptación de las razas realizando una búsqueda de coordenadas de cada uno de los sitios de colecta en el Sistema de Información Ambiental Nacional (SIAN) del INIFAP, el cual está compilado en el sistema de información geográfica (SIG) IDRISI32. Las variables que se consideraron en esta caracterización fueron: temperatura media anual, temperatura media mayo-octubre, precipitación acumulada promedio anual, precipitación acumulada promedio mayo-octubre, precipitación acumulada promedio noviembre-abril, altitud y tipo climático. Para la variable tipo climático se trabajó con el esquema de clasificación del INIFAP (Medina *et al.*, 1998). Con los rangos climáticos de las razas y con el SIAN se procedió a delimitar las áreas potenciales de distribución de las razas haciendo uso del sistema IDRISI32. Finalmente se determinaron los índices de diversidad del maíz por Entidad federativa, por tipo climático y por estrato altitudinal, utilizando los métodos de Margalef, Simpson y Shannon. Para estos análisis se utilizó el sistema SDR II V. 2.65. Los resultados mostraron que las razas se distribuyen bajo los diferentes rangos de altitud, precipitación acumulada media anual, temperatura media anual y número de tipos climáticos: **Raza Ancho**, 900 a 2100 m, 770 a 1505 mm, 16.8 a 23.2°C, 6 tipos climáticos (tc); **R. Apachito**: 1900-2510 m, 493-1108 mm, 12.1-15.1°C, 2 tc; **R. Arrocillo**: 1458-2814 m, 453-3018 mm, 11.9-20.3°C, 5 tc; **R. Azul**: 1900-2579 m, 493-1283 mm, 13.6-15.2°C, 2 tc; **R. Blando de Sonora**: 115-947 m, 490-1225 mm, 19.6-23.0°C, 3 tc; **R. Bofo**: 400-1440 m, 491-1288 mm, 19.5-23.9°C, 5 tc; **R. Bolita**: 1460-2465 m, 437-1688 mm, 14.4-18.9°C, 5 tc; **R. Cacahuacintle**: 1960-2700 m, 422-1862 mm, 12.7-17.6°C, 4 tc; **R. Celaya**: 1000-2389 m, 437-2506 mm, 14.8-22.7°C, 11 tc; **R. Chalqueño**: 1066-2900 m, 422-2506 mm, 11.3-22.4°C, 10 tc; **R. Chapalote**: 70-750 m, 483-1394 mm, 21.4-24.4°C, 5 tc; **R. Comiteco**: 820-2100 m, 954-4245 mm, 17-23.6°C, 10 tc; **R. Cónico Norteño**: 1377-2670 m, 426-2633 mm, 11-20.6°C, 8 tc; **R. Cónico**: 1700-2900 m, 426-2731 mm, 11.2-18.9°C, 9 tc; **R. Cristalino de Chihuahua**:

1610-2510 m, 436-1277 mm, 12.1-17.5°C, 3 tc; **R. Cubano Amarillo**: 100-870 m, 574-1534 mm, 21.8-25.2°C, 3 tc; **R. Maíz Dulce**: 1284-2090 m, 471-961 mm, 16.2-21.2°C, 7 tc; **R. Dulcillo del Noroeste**: 20-947 m, 509-1680 mm, 19.6-25°C, 5 tc; **R. Dzit Bacal**: 0-782 m, 535-2748 mm, 22.2-26.2°C, 9 tc; **R. Elotes Cónicos**: 1567-2700 m, 443-2169 mm, 12.7-19.7°C, 7 tc; **R. Elotes Occidentales**: 705-2170 m, 450-2506 mm, 15.9-23.7°C, 10 tc; **R. Gordo**: 1900-2510 m, 446-1257 mm, 12.5-16.3 °C, 3 tc; **R. Harinoso de Ocho**: 120-410 m, 552-2168 mm, 20.8-25°C, 2 tc; **R. Jala**: 1042-1850 m, 756-1148 mm, 18-22°C, 3 tc; **R. Mushito**: 1400-2600 m, 543-2597 mm, 13.5-20.6°C, 5 tc; **R. Nal-Tel de Altura**: 1740-2430 m, 905-1302 mm, 14.7-19.1°C, 1 tc; **R. Nal-Tel**: 10-1286 m, 478-3513 mm, 21.5-25.6°C, 8 tc; **R. Olotillo**: 10-1870 m, 692-3655 mm, 18.4-26.1°C, 13 tc; **R. Olotón**: 760-2303 m, 710-3867 mm, 15.6-24°C, 9 tc; **R. Onaveño**: 200-1163 m, 491-943 mm, 17.3-23°C, 5 tc; **R. Palomero de Chihuahua**: 1964-2140 m, 486-778 mm, 13.7-14.9°C, 2 tc; **R. Palomero Toluqueño**: 2140-2887 m, 500-2086 mm, 11.4-15.9°C, 5tc; **R. Pepitilla**: 514-2050 m, 488-2169 mm, 17.1-24.6°C, 12 tc; **R. Reventador**: 20-1752 m, 469-1821 mm, 18.7-26°C, 8 tc; **R. Tabloncillo Perla**: 10-1460 m, 466-2114 mm, 18.9-25°C, 9 tc; **R. Tablilla de Ocho**: 1400-1950 m, 501-902 mm, 17-20°C, 3 tc; **R. Tabloncillo**: 350-2050 m, 432-2114 mm, 16.5-24.9°C, 10 tc; **R. Tamaulipeco (Ratón)**: 84-1300 m, 446-2738 mm, 20.7-24.6°C, 7 tc; **R. Tehua**: 500-1000 m, 907-1844 mm, 23-24.8°C, 5 tc; **R. Tepecintle**: 8-1400 m, 532-3473 mm, 21-26.5°C, 10 tc; **R. Tuxpeño**: 0-1700 m, 437-4171 mm, 16.6-26.6°C, 19 tc; **R. Tuxpeño Norteño**: 1400-1701 m, 433-1007 mm, 17.1-19.4°C, 4 tc; **R. Vandeño**: 9-1645 m, 662-3872 mm, 19.4-26.6°C, 8 tc; **R. Zamorano Amarillo**: 1436-2070 m, 722-1150 mm, 16.8-20.2°C, 5 tc; **R. Zapalote Chico**: 50-880 m, 637-1978 mm, 23.4-26.4°C, 4 tc; **R. Zapalote Grande**: 50-830 m, 736-3405 mm, 23.6-26.5°C 4 tc. En todos las razas estudiadas, las áreas potenciales de distribución son más extensas que las áreas donde se ubican puntos de accesión, lo cual denota posibilidades de encontrar ejemplares de de dichas razas en áreas diferentes a donde hasta la fecha han sido reportadas. De acuerdo con los criterios de número de especies (razas) y los índices de Margalef, Simpson y Shannon, los estados con mayor riqueza y diversidad de *Zea mays* son Michoacán y Oaxaca. La mayor riqueza de *Zea mays* medida por el criterio número de razas tanto por los tres índices de diversidad utilizados se encontró en los tipos climáticos Subtrópico Subhúmedo Semicálido y Trópico Semiárido Cálido. Tanto por el número de razas como por el valor de los índices de diversidad se deduce que la mayor riqueza de especies se da en el estrato altitudinal que va de los 1000 a los 1900 m.

I. INTRODUCCION

El maíz es el cultivo más importante y de mayores repercusiones en la economía de la República Mexicana. Constituye la principal fuente de proteínas y carbohidratos, ya que anualmente se consumen en México 6.5 millones de toneladas de maíz en forma de tortillas (INEGI, 2003).

Cada año, es mayor la presión en cuanto a cubrir la demanda de este cereal en México. De hecho, nuestro país necesita realizar importaciones anuales para cubrir esta demanda. Pugnar por un alto nivel de rendimiento de grano en este cultivo es un objetivo difícil de lograr, debido a que se produce en una amplia gama de condiciones agroecológicas y socioeconómicas, lo que de manera lógica dificulta la implementación de tecnologías de producción únicas. Ante esta situación, la utilización de la amplia diversidad genética del maíz en México, para la generación de genotipos de siembra adecuados a los diversos ambientes del país, puede ser una estrategia inteligente.

Por lo anterior, la conservación de recursos fitogenéticos es considerada área prioritaria no sólo en México sino en todo el mundo, debido a las significativas implicaciones que tiene la conservación de la diversidad genética, sobre el mantenimiento y generación de poblaciones de plantas, que constituyen la base para programas de mejoramiento genético de las principales especies de cultivo. Desde este punto de vista, poner en riesgo la conservación de recursos genéticos, es atentar incluso contra la práctica de una agricultura sostenible.

No obstante esta consideración, pocos son los estudios que se realizan sobre la caracterización y conservación de los recursos fitogenéticos en México. Una de las necesidades actuales de investigación es la determinación confiable de la adaptabilidad ambiental y la distribución geográfica de los recursos fitogenéticos, así como, la cuantificación o la estimación de la diversidad de especies y la abundancia de cada especie por región geográfica o agroecológica.

El presente trabajo pretende contribuir en esta área del conocimiento, ya que se dirige hacia la determinación de los rangos ambientales de adaptación y los lugares más probables de distribución de las diversas razas de maíz (*Zea mays* L.) en México, así como a la cuantificación de la diversidad de esta especie en las diversas regiones agroecológicas del país.

Se considera que este trabajo contribuirá a generar el conocimiento básico para la selección de material y en la formación a futuro de poblaciones genéticas con ciertas características de adaptabilidad ambiental. Adicionalmente, podrá facilitar la búsqueda dirigida de ejemplares de las distintas razas de maíz en México. Esta exploración dirigida y sustentada por una base objetiva de conocimiento, además de significar una mayor probabilidad de éxito en la colecta de materiales, conlleva también un ahorro significativo de dinero, tiempo y esfuerzo.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Caracterizar la distribución geográfica potencial e índices de diversidad de 46 razas de Maíz (*Zea mays* L.) en la República Mexicana.

2.2. Objetivos específicos

- 1) Caracterizar los rangos ambientales de distribución de 46 razas de maíz.
- 2) Delimitar la distribución geográfica potencial de tales razas de maíz en México, mediante la aplicación de sistemas de información geográfica.
- 3) Calcular índices de diversidad del maíz de acuerdo con el número y frecuencia de razas por entidad federativa, tipo climático y estrato altitudinal.

III. HIPOTESIS

1) Con base en el uso de información de accesiones georreferenciadas de germoplasma de maíz en todo el territorio mexicano, es posible establecer los rangos climáticos de adaptación de las distintas razas mexicanas de maíz.

2) Mediante la caracterización de los rangos climáticos de adaptación de las razas mexicanas de maíz, y la utilización de sistemas de información geográfica ambiental, es posible determinar la distribución geográfica potencial y áreas de diversidad de *Zea mays* L. en México.

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1. Origen y domesticación del maíz.

Se han presentado diversas hipótesis sobre el origen del maíz (Harshberger, 1899; Collins, 1918; Vavilov, 1931; Mangelsdorf y Reeves, 1939; Goodman, 1988), sin embargo todas las evidencias indican que el teocintle es el pariente más cercano del maíz. Muchos investigadores concuerdan en aseverar que cualquier formulación del origen del maíz debe, por lo menos, considerar al teocintle. Todos reconocen que el teocintle ha contribuido significativamente a la diversidad de variedades, así como a la naturaleza heterótica del maíz domesticado.

Con base en la acumulación de diversas evidencias genéticas, citológicas, arqueológicas, ecogeográficas y análisis detallados de genética molecular, se ha aceptado de manera amplia la hipótesis de que el teocintle es el ancestro silvestre del maíz. Desde el punto de vista evolutivo, se estima que la domesticación del maíz ocurrió en México hace aproximadamente 10,000 años a partir de la especie tropical de teocintle *Zea mays* ssp *parviglumis* (Matsuoka, *et al.* 2002; Doebley, 2004; Wang, *et al.* 2005). El maíz (*Zea mays* L.) ha constituido alimento, moneda y religión para el pueblo de México. Durante siglos la historia nacional y las condiciones de vida de los mexicanos han estado asociadas estrechamente a su cultivo (Zalazar, 1985; Reyes, 1990).

Según Segovia (1997), la Revolución Neolítica en América se inició hace 10,000 años, con la domesticación de especies como el cacao (*Theobroma cacao*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), papa (*Solanum tuberosum*), tomate (*Lycopersicon esculentum*), yuca (*Manihot esculenta*) y por supuesto, el maíz (*Zea mays* L.).

Existen principalmente dos teorías sobre el origen del maíz y su centro de origen. Una primera teoría señala que el maíz procede del teocintle. Esta teoría sostenida en los siglos XVIII y XIX ha vuelto a valorarse por los trabajos arqueológicos, genéticos e isoenzimáticos liderados por Beadle (1980) y Galinat (1988 y 1995). Galinat (1995) resumió los datos sobre el origen del maíz de la siguiente manera: de un número grande de tipos silvestres de teocintle se

seleccionaron dos tipos de plantas, con cuatro hileras de granos en cada mazorca, y al cultivar estos dos tipos juntos y aisladamente, el híbrido derivado de ellos llegó a ser el primer maíz. El autor soporta su hipótesis sobre evidencias arqueológicas, lingüísticas, genéticas y examina un grupo de alelos presentes tanto en el maíz como en el teocintle, los cuales son la clave para dilucidar la incógnita.

La otra teoría establece que el maíz moderno se deriva de un maíz silvestre conocido como maíz tunicado, y el teocintle provendría de este maíz por mutación Mangelsdorf y Reeves (1939).

Fritz (1995) resumió las evidencias arqueológicas y de fitolitos encontrados en el valle de México, indicando que hace más de 6,000 años existían sociedades preagrícolas sedentarias en el Valle de México. Estas sociedades pudieron ser los grupos que inicialmente comenzaron la domesticación de plantas en el valle de México. En los estratos de esa época se encontraron granos de teocintle, peces y pájaros. En estratos que datan de unos 3,000 años a.c. destacan fitolitos de *Amaranthus*, *Physalis*, *Capsicum* y polen de maíz. Los estudios de épocas más recientes denotan una economía sedentaria, una alta tasa de crecimiento poblacional, integración sociopolítica y manipulación y domesticación del maíz.

El maíz era desconocido por los europeos hasta 1492. Según las crónicas, los hombres de Colón lo descubrieron el seis de Noviembre de 1492; cuando exploraron la isla de Cuba; ahí encontraron un grano que lo llamaban Ma-Hiz (vocablo Taino). Este era cultivado desde Canadá hasta la Patagonia, constituyendo el alimento básico de las civilizaciones Azteca, Maya e Inca. Para muchos autores el nivel cultural de estas civilizaciones no se hubiera alcanzado sin el maíz, ya que desempeñaba un papel predominante en las creencias y ceremonias religiosas como elemento decorativo de cerámicas, tumbas, templos y esculturas, siendo además motivo de leyendas y tradiciones que resaltan la importancia económica, agrícola y social de su cultivo. El maíz era considerado casi como un Dios, rindiéndosele culto y siendo objeto del folklore y ritos religiosos. La primera introducción en Europa fue realizada por Colón en 1494, a la vuelta de su segundo viaje, con maíces provenientes de Cuba y Haití. Posteriormente las introducciones vendrían de México y Perú (López, 1991).

El ecosistema donde se desarrollaron los primeros tipos de maíz fue estacional (inviernos secos alternados con veranos lluviosos) y una altura de más de 1500 msnm; estas características también describen el área principal ocupada por los parientes más cercanos del maíz, el teocintle (*Zea mays* L. ssp *parviglumis*) y el género *Tripsacum*. Al contrario del trigo (*Triticum aestivum*) y el arroz (*Oryza sativa*), el maíz ha dejado un rastro oscurecido por su complejidad, ya que no existen formas intermedias vivientes entre el maíz silvestre y las 50 razas de maíz que han evolucionado bajo la selección agrícola en México, las cuales en muchos casos aún son cultivadas ahí (Goodman y Wilkes, 1995).

4.2. Recursos fitogenéticos de México.

México posee una gran diversidad biológica y cultural. Existen aproximadamente 22,000 especies de plantas, pertenecientes a aproximadamente 2500 géneros. Más del 10% de los géneros y 50 a 60% de las especies, son endémicas de nuestro país (Rzedowski, 1993).

Los pueblos precolombinos de México desarrollaron un gran número de plantas domesticadas, siendo las más importantes el maíz (*Zea mays* L.), el chile (*Capsicum annuum* L.), el frijol (*Phaseolus* spp.) y la calabaza (*Cucurbita* spp.), (Sánchez *et al.*, 2000). En total se considera que en México se han domesticado más de 100 especies importantes de plantas cultivadas (Hernández, 1998).

Rojas y Sanders (1985). Señalan que el tomate (*Lycopersicon esculentum*) fue conocido primeramente en México. No tenía mayor importancia como hortaliza, pues era una hierba más en las milpas, aunque sus frutos fueran del tamaño de las variedades modernas. Los frijoles comunes, *Phaseolus vulgaris*, aparecieron hace 5,500 a 7,000 años en el centro de México, donde abundan las poblaciones silvestres, pero su cultivo intensivo se inició entre los siglos I y VII. *P. coccineus*, una especie perenne de las tierras altas, ya se encontraba en México hace unos 2,200 años; otra especie muy afín, *P. polyanthus*, se cultiva asociada con *P. coccineus*. *P. acutifolius*, que se cultivaba hace unos 5,000 años en Tehuacán, se extiende desde Estados Unidos hasta Costa Rica. Uno de los cultivos principales del México precolombino fue

Amaranthus hypochondriacus, cuyas semillas se consumían como las de los cereales. Otra especie cultivada, especialmente en Guatemala, es *A. cruentus*. Las raíces y tubérculos nativos no han sido de importancia en la agricultura mesoamericana. La jícama (*Pachyrrhizus erosus*), es un cultivo antiguo y muy difundido en la actualidad. Las papas de las tierras altas de México, de gran valor como alimento energético, producen tubérculos comestibles pequeños, pero no se cultivaron. El cacao (*Theobroma cacao*), que se encuentra silvestre en el sur de México, se domesticó posiblemente en esa región, donde hay variedades aberrantes, y su cultivo prehispánico no pasó de la actual frontera entre Costa Rica y Panamá. El algodón (*Gossypium hirsutum*) constituye la planta fibrosa de mayor cultivo; uno de sus centros de domesticación parece haber sido la costa del Golfo de México, y restos arqueológicos en ese país indican que se conocía hace 5 500 años. Otras fibrosas, hoy reemplazadas en gran parte por las fibras sintéticas, son el henequén (*Agave fourcroyoides*), sisal (*A. sisalana*), *A. angustifolia* var. *letonae*, de El Salvador, y varias especies de *Furcraea*. Entre las hortalizas de hoja cabe mencionar *Crotalaria longirostrata*, *Solanum americanum*, *S. wendlandi*, *Cnidoscolus chayamansa*, *Chenopodium nuttalliae* y *Opuntia leucantha*, que se consumían frescas o cocidas, así como los tallos tiernos de *Cucurbita* y *Sechium*. La inflorescencia de *Chamaedorea tepexilote*, la pacaya, es un artículo de amplio consumo en México y Guatemala, pero su cultivo está aún reducido a las huertas. El chayote (*Sechium edule*), se utiliza por sus frutos, raíces y tallos tiernos.

El maíz ha jugado desde entonces, un papel clave en la agricultura de todos los pueblos indígenas de México. Primordialmente el maíz ha sido utilizado como alimento humano, pero también se le han dado otros usos, dando como resultado que todas las partes de la planta son utilizadas hoy en día. Actualmente, el maíz es cultivado en todos los estados de la República y en muchos de ellos constituye el cultivo de mayor importancia económica (Sánchez *et al.*, 2000).

En el estado de Guanajuato, los campesinos conservan y distinguen 15 variedades de maíz, 45 de frijol, 14 de Calabaza y 70 variantes de *Opuntia* pertenecientes a 15 especies (Colunga y Zizumbo 1993). Caso similar ocurre en el centro de Chiapas donde los campesinos reconocen y conservan 15 variedades de maíz pertenecientes a 6 razas (Bellon *et al.*, 2004).

4.3. Utilización de los recursos fitogenéticos relacionados con maíz.

La aportación de diversidad genética de las razas mexicanas de maíz para los programas de mejoramiento genético ha sido muy significativa, a tal grado que una buena proporción de los materiales genéticos mejorados presentan germoplasma derivado de dichas razas. Entre las razas más utilizadas se encuentran Tuxpeño, Celaya y Pepitilla (Ruiz *et al.*, 2002), además de Cónico Norteño, Cónico y Chalqueño (Morales, 2005). Tuxpeño se ha utilizado principalmente en el trópico húmedo, Celaya y Cónico Norteño en el Bajío, y Cónico y Chalqueño en los Valles Altos de México (Morales, 2005).

4.4. Diversidad de especies.

Por muchas razones, la especie es la moneda básica de la biología y el centro de buena parte de las investigaciones realizadas por ecologistas y conservacionistas. El número de especies se puede contar en cualquier lugar en que se tomen muestras, en particular si la atención se concentra en organismos conocidos (como mamíferos, aves o plantas); también es posible estimar este número en una región o un país (aunque el error aumenta con la extensión del territorio). Esta medida, llamada riqueza de especies, constituye una posible medida de la biodiversidad del lugar y una base de comparación entre zonas. Es la medida general más inmediata y, en muchos aspectos, más útil de la biodiversidad (Ruggiero, 2001).

La multiplicidad de los usos de las plantas depende de una característica crucial de la vida de las mismas, su diversidad. La diversidad se verifica en tres niveles principales: las combinaciones de las especies que forman ecosistemas distintos, el número de las especies diferentes, y las diversas combinaciones de géneros en las especies. Los tres niveles contribuyen a sostener los sistemas agrícolas, y a asegurar su productividad. En particular, la diversidad genética brinda a las especies la capacidad de adaptarse a presiones cambiantes como las plagas y las enfermedades o la sequía (Smith y Smith, 2001). Hoy en día la biodiversidad de las plantas de la Tierra está amenazada como nunca antes. En agricultura, la adopción masiva de algunas variedades mejoradas ha reducido la base genética de importantes cultivos alimenticios y ha llevado a la desaparición de cientos de las formas no cultivadas. La

conservación y el uso de la diversidad fitogenética son fundamentales para satisfacer las necesidades del desarrollo futuro del mundo (Rosensweig, 1995; López, 2005).

Whittaker (1973) menciona que los organismos reaccionan ante una variedad de factores ambientales y solo pueden ocupar un cierto hábitat cuando los valores de esos factores caen dentro del rango de tolerancia de la especie. El lugar real donde vive un organismo es lo que se conoce como su hábitat. Debido a que el hábitat describe una localización, podemos definirlo a distintos niveles o escalas. Las ideas de hábitat y nicho están estrechamente relacionadas. Joseph Grinnell en 1917 definió el "nichos" como la unidad de distribución última dentro de la cual una especie se encuentra retenida por las limitaciones de su fisiología y su estructura física.

El medio físico y particularmente la temperatura, la humedad y la luz, cambian con la latitud, el área y la localidad de estudio. Existen, además, variaciones diarias y estacionales, debidas a la variabilidad global de la radiación solar. El rango de condiciones en que puede vivir un organismo tiene límites, determinados por valores mínimos y máximos mas allá de los cuales un organismo no puede sobrevivir. Dentro de ese rango de supervivencia existen otros rangos de condiciones más estrechas dentro de las cuales el organismo puede crecer y reproducirse (Whittaker, 1973).

4.4.1. Diversidad de *Zea mays* en México.

El interés por la diversidad del maíz viene desde los tiempos prehispánicos, como se refleja en las leyendas sobre el origen de la planta y en los códices. Durante la colonia y el siglo XIX hay referencias aisladas al tema. Pero solo hasta el siglo XX se empieza a estudiar y coleccionar en forma sistemática poblaciones locales nativas de maíz y se publican las magníficas monografías de Anderson (1946, 1947).

Anderson y Cutler (1942) definieron el término raza como un grupo de individuos emparentados con suficientes características en común, que permiten su reconocimiento como un grupo; ellos describieron a la raza en términos genéticos como un grupo de individuos con

un significativo número de genes en común. Luego Anderson (1943, 1944, 1945, 1946, 1947), Carter y Anderson (1945), Cutler (1946), Brown y Anderson (1947, 1948) extendieron el concepto de raza de maíz, describiendo características morfológicas juzgadas útiles en estudios raciales.

Los trabajos más significativos que han descrito razas de maíz en México y han investigado sus interrelaciones iniciaron con el trabajo de Chávez (1913) y continuaron con los de Kuleshov (1929), Anderson (1943, 1946).

La primera clasificación natural de maíz en México incluyendo la mayor parte de su diversidad se inicio en 1943 a través de la oficina de Estudios Especiales; la cual continuó con la publicación "Razas de Maíz en México" de Wellhausen *et al.* (1951). Con base en alrededor de 2000 muestras, se describieron 25 razas, tres subrazas y se mencionaron siete tipos que no se conocían suficientemente en esa época.

Con el inicio de nuevas exploraciones en casi todas las áreas geográficas de México a partir de 1967, existen alrededor de 12,000 muestras en los bancos de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Como resultado de la exploración, recolección y caracterización, se han descrito nuevas razas de maíz para México: Hernández y Alanis (1970) describieron cinco razas para la Sierra Madre Occidental, Ortega (1985) describió cinco razas para la región Norte de México, Benz (1986) describió cinco razas para la región sur de México, mientras que Sánchez (1989) describió siete razas, la mayor parte de los tipos mencionados por Wellhausen *et al.* (1951).

De acuerdo con Sánchez *et al.* (2000), las razas mexicanas pueden ser clasificadas desde el punto de vista morfológico en cuatro grandes grupos:

Grupo 1: Apachito, Serrano de Jalisco, Azul, Cristalino de Chihuahua, Gordo, Cacahuacintle, Arrocillo, Cónico, Palomero Toluqueño, Cónico Norteño, Palomero de Chihuahua, Chalqueño, Mushito, Elotes Cónicos, Maíz Dulce y Pepitilla.

Grupo 2: Ancho, Bolita, Tablilla de Ocho, Blando de Sonora, Harinoso de Ocho, Tabloncillo Perla, Bofo, Tabloncillo, Elotes occidentales, Onaveño, Reventador, Jala y Zamorano Amarillo.

Grupo 3: Celaya, Cubano Amarillo, Tuxpeño Norteño, Tuxpeño, Vandeño, Comiteco, Motozinteco, Tehua, Olotón, Coscomatepec, Dzit Bacal, Olotillo, Nal-Tel de Altura, Conejo, Nal-Tel, Ratón, Tepecintle, Zapalote Grande y Zapalote Chico.

Grupo 4: Chapalote, Dulcillo del Noroeste y Elotero de Sinaloa.

Desde el punto de vista geográfico y según Sánchez y Goodman (1992) las razas mexicanas de maíz se pueden clasificar en los seis grupos siguientes:

Grupo 1 (Cónico): Palomero de Chihuahua, Palomero Toluqueño, Arrocillo, Cónico, Elotes Cónicos, Cacahuacintle, Chalqueño, Mushito, Cónico Norteño y Maíz Dulce.

Grupo 2 (Sierra de Chihuahua): Apachito, Cristalino de Chihuahua, Azul, Gordo y Serrano de Jalisco.

Grupo 3 (8 hileras): Ancho, Bofo, Elotes Occidentales, Tabloncillo, Tablilla de Ocho, Zamorano Amarillo, Bolita, Jala, Reventador, Tabloncillo Perla, Onaveño, Harinoso de Ocho y Blandito.

Grupo 4 (Dentados tropicales): Pepitilla, Celaya, Zapalote Grande, Tuxpeño Norteño, Vandeño, Tuxpeño, Tepecintle,

Grupo 5 (Madurez tardía): Comiteco, Motozinteco, Tehua, Coscomatepec, Olotón, Nal-Tel de Altura, Olotillo, Dzit-Bacal,

Grupo 6 (Madurez temprana): Nal-Tel, Conejo, Zapalote Chico, Tamaulipeco (Ratón), Chapalote y Dulcillo.

4.5. Intervalos climáticos, distribución geográfica y niveles de diversidad de especies.

Por lo general, los análisis de distribuciones geográficas se basan en localidades individuales y registros puntuales de las especies. Esto en cierto modo limita el conocimiento adecuado de la distribución de los taxones, pues para la mayoría de las especies se carece de un número suficiente de especímenes recolectados o de observaciones fidedignas. Por lo tanto, a menudo nuestro conocimiento es incompleto y fragmentario (Peterson *et al.*, 1998), y se requiere de una multitud de métodos disponibles para delinear con precisión aproximada la distribución de un taxón. Una alternativa para este problema ha sido discutida por varios autores de un tiempo a la fecha (Noss, 1983; Pulliam y Dunning, 1997; Lloyd y Palmer, 1998; Carroll *et al.*, 1999; Manel *et al.*, 1999; Cowley *et al.*, 2000; Ruiz *et al.*, 2001); ellos han resaltado que la relación entre las condiciones ambientales y las localidades conocidas (el nicho ecológico) de un taxón puede ser una forma de explicar los patrones de distribución. Sin embargo, dado el esfuerzo inmenso que implica conocer con detalle los requerimientos de hábitat particulares de cada especie, nuevos algoritmos y herramientas informáticas han sido desarrolladas recientemente; entre ellas se cuentan las que generan distribuciones potenciales, basadas en un conjunto de registros individuales de una especie; tales registros se relacionan con las variables ambientales presentes en dichas localidades (Carroll *et al.*, 1999; Manel *et al.*, 1999; Cowley *et al.*, 2000). La posibilidad de construir mapas precisos de la distribución de las especies, llenando huecos de conocimiento y muestreo, aumenta enormemente las potencialidades de análisis e interpretación.

La información acerca de las condiciones ambientales de los sitios de colecta de germoplasma puede constituir información adicional importante para las colecciones de germoplasma, dado que normalmente esas condiciones ambientales están asociadas con los diferentes patrones de variabilidad genética, lo cual refleja procesos de adaptación de germoplasma a factores ambientales (Lobo *et al.*, 2003). Muchos estudios apoyan la hipótesis de que la resistencia a diferentes tipos de estrés abiótico puede ser encontrada en accesiones previamente expuestas al estrés ambiental específico (Hawtin *et al.*, 1996). De esta forma Cocks y Ehrman (1987) encontraron que en la mayor parte de las especies nativas de

leguminosas de Siberia, había una relación significativa entre la tolerancia a heladas y el grado de frío en los sitios de colecta de las especies (número de días con bajas temperaturas).

Una de las necesidades actuales de investigación es la determinación confiable de la distribución geográfica de los recursos fitogenéticos, así como la cuantificación o la estimación de la diversidad de especies y la abundancia de cada especie por región geográfica o agroecológica (Sánchez y Ruiz, 1995). Para lograrlo, es necesario determinar los requerimientos climáticos de los recursos fitogenéticos, empezando por caracterizar los ambientes de distribución de las especies.

La caracterización agroecológica de los nichos habitados por las especies vegetales para determinar sus requerimientos ambientales es un procedimiento utilizado con frecuencia no sólo en especies silvestres (Ruiz *et al.*, 2001), sino también en especies cultivadas (Ruiz *et al.*, 1999). Con base en sistemas de información geográfica, Hijmans y Spooner (2001) estudiaron la distribución geográfica y riqueza de las especies silvestres de la papa (*Solanum spp.*); Ruiz *et al.* (2001) determinaron los rangos de adaptación climática y topográfica de diversas especies de teocintle (*Zea spp.*) en la República Mexicana, los cuales al ser analizados en un sistema de información geográfica (SIG) dieron como resultado la delimitación de áreas potenciales de distribución de tales especies. Guarino *et al.* (2002) describieron la importancia de los SIG en la conservación y utilización de los recursos filogenéticos.

Los sistemas de información geográfica, han probado ser una herramienta de excelente aplicación en diversas áreas del manejo y conservación de recursos genéticos. Dentro de las aplicaciones desarrolladas se pueden citar los trabajos de caracterización de rangos ambientales de adaptación de especies y la delimitación de la distribución geográfica de taxas de teocintle (Ruiz *et al.*, 2001), la cuantificación de la diversidad y abundancia de especies y el trazo de posibles rutas de colecta de recursos genéticos en general (Sánchez *et al.*, 1998), así como la distribución geográfica y riqueza de las especies silvestres de la papa (*Solanum spp.*) (Hijmans y Spooner, 2001).

V. MATERIALES Y METODOS

5.1. Área de estudio

El área de estudio la constituyó el territorio de la República Mexicana y en especial los sitios de colecta de 46 razas de maíz.

5.2. Materiales genéticos

Con base en información disponible, se consideraron para este estudio las 46 razas mexicanas de maíz: Ancho, Apachito, Arrocillo, Azul, Blando de Sonora, Bofo, Bolita, Cacahuacintle, Celaya, Chalqueño, Chapalote, Comiteco, Cónico, Cónico Norteño, Cubano Amarillo, Cristalino de Chihuahua, Maíz Dulce, Dulcillo del Noroeste, Dzit Bacal, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Gordo, Harinoso de Ocho, Jala, Mushito, Nal-Tel de Altura, Nal-tél, Olotillo, Olotón, Onaveño, Palomero de Chihuahua, Palomero Toluqueño, Pepitilla, Reventador, Tablilla de Ocho, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Tamaulipeco (Ratón), Tehua, Tepecintle, Tuxpeño Norteño, Tuxpeño, Vandeño, Zamorano Amarillo, Zapalote Chico y Zapalote Grande.

5.3. Bases de datos y sistemas de información geográfica

Se utilizó información sobre colectas realizadas en la República Mexicana para las 46 razas de maíz. Esta información se obtuvo del Catálogo de Germoplasma de Maíz del Proyecto Latinoamericano de Maíz, Volumen I y II (LAMP, 1991), el cual fue revisado y corregido por Sánchez (2004). El número de accesiones con información geográfica y de clasificación racial fue de 4260, y el número de accesiones considerado finalmente para cada raza se describe en el Cuadro 1.

Para verificar la localización geográfica de algunos sitios de colecta se utilizaron cartas topográficas escala 1:50,000 de la Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL, 1974) de diversas regiones del país, el Nomenclátor de la Síntesis Geográfica Estatal (SIGE)

del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) para diversas Entidades Federativas (INEGI, 1986), y el Atlas de Microsoft Encarta.

Cuadro 1. Número total de accesiones por raza consideradas en el estudio.

Raza	Núm. de accesiones	Raza	Núm. de accesiones
1. Ancho	60	24. Jala	22
2. Apachito	15	25. Mushito	61
3. Arrocillo	106	26. Nal-Tel de Altura	3
4. Azul	5	27. Nal-Tel	59
5. Blando de Sonora	20	28. Olotillo	139
6. Bofo	24	29. Olotón	76
7. Bolita	53	30. Onaveño	20
8. Cacahuacintle	32	31. Palomero de Chihuahua	3
9. Celaya	274	32. Palomero Toluqueño	18
10. Chalqueño	368	33. Pepitilla	72
11. Chapalote	18	34. Reventador	30
12. Comiteco	52	35. Tabloncillo Perla	77
13. Cónico	947	36. Tablilla de Ocho	11
14. Cónico Norteño	315	37. Tabloncillo	131
15. Cristalino de Chihuahua	65	38. Tamaulipeco (Ratón)	15
16. Cubano Amarillo	7	39. Tehua	8
17. Maíz Dulce	13	40. Tepecintle	51
18. Dulcillo del Noroeste	25	41. Tuxpeño Norteño	23
19. Dzit Bacal	56	42. Tuxpeño	548
20. Elotes Cónicos	136	43. Vandefío	49
21. Elotes Occidentales	38	44. Zamorano Amarillo	16
22. Gordo	11	45. Zapalote Chico	34
23. Harinoso de Ocho	2	46. Zapalote Grande	20

Para caracterizar las condiciones ambientales de los sitios de colecta de las razas de maíz, se utilizó el sistema de información ambiental del Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Medina *et al.*, 1998), el cual se encuentra compilado en el sistema de información geográfica (SIG) IDRISI32 (Eastman, 1999), en formato "raster" y bajo una resolución para la República Mexicana de 900 m. Para la obtención de los índices de diversidad se utilizó el paquete SDR II (Species Diversity and Richness) ver. 2.65.

5.4. Metodología

Para alcanzar los objetivos planteados se desarrollaron las siguientes etapas:

a) Conformación de matriz de datos georreferenciados.

Esta etapa consistió en la elaboración de una matriz de datos con referencia geográfica (latitud, longitud) de cada uno de los puntos de colecta de las razas de maíz. Esta matriz de datos se hizo en Microsoft Excel. De manera previa a la integración de la matriz de datos, se verificó la localización geográfica de los sitios de cada una de las accesiones. Esto se realizó comparando los valores altitudinales reportados en campo para las accesiones, y los valores altitudinales que proporcionaba el sistema de información ambiental del INIFAP de acuerdo con las coordenadas de cada sitio de accesión. En la mayoría de los casos ambas fuentes coincidieron en cuanto a altitud, sin embargo en varios casos no, obteniéndose diferencias altitudinales de valor variable, lo cual señala la existencia de un posible error de monitoreo de la altitud o un posible error de registro de coordenadas del sitio de accesión. Se optó por deducir que es más probable cometer errores en la ubicación geográfica del sitio que en levantar su valor altitudinal, por lo que se dispuso a corregir las coordenadas de los sitios que presentaban una diferencia altitudinal de 150 m o más.

La manera en que se hizo esta corrección fue localizar las coordenadas del sitio en la imagen altitudinal del Sistema de Información Ambiental Nacional (SIAN) del INIFAP y a partir de ahí mover el ratón en forma radial hasta localizar el sitio más cercano con altitud aproximadamente correspondiente con la altitud de campo. Las coordenadas de este sitio se tomaron como las correctas y se utilizaron para modificar la matriz de datos.

b) Caracterización de rangos ambientales de adaptación de razas de maíz.

Esta etapa implicó la localización o búsqueda de las coordenadas de cada uno de los sitios de colecta (de la matriz de la etapa anterior) en el (SIAN) del INIFAP, el cual está compilado en el sistema de información geográfica (SIG) IDRISI32. Las variables que se consideraron en esta caracterización son: temperatura media anual, precipitación acumulada promedio anual, precipitación acumulada promedio mayo-octubre, precipitación acumulada promedio noviembre-abril, altitud y tipo climático. Para la variable tipo climático se trabajó con el esquema de clasificación del INIFAP (Medina *et al.*, 1998). Las posibles variantes climáticas bajo este esquema se describen en el Cuadro 2.

c) Obtención de áreas potenciales de distribución geográfica de razas de maíz.

En esta etapa se determinaron las áreas potenciales de distribución de las razas bajo estudio. El procedimiento consistió en buscar qué áreas se encuentran dentro de los rangos ambientales de adaptación de cada raza, determinados en el punto 2. Para esto se utilizó el SIG IDRISI32 y el SIAN del INIFAP.

d) Intervalos climáticos óptimos.

Con los datos de caracterización climática de los sitios de cada accesión, se determinaron los intervalos óptimos de altitud, temperatura y precipitación anual. Se establecieron de manera arbitraria intervalos considerando los valores mínimo y máximo de estas variables en la serie de datos analizada para cada raza. Se determinó como intervalo óptimo, aquél con el mayor número de accesiones. Sólo se consideraron 23 razas (las de mayor número de accesiones).

e) Determinación de índices de diversidad de *Zea mays*. El propósito principal de esta etapa fue determinar la diversidad y abundancia de razas. Para esto se calcularon índices de diversidad mediante el software SDR II (Species Diversity and Richness) ver. 2.65 (PISCES, 2001).

Cuadro 2. Posibles tipos climáticos de la República Mexicana, según el esquema de clasificación climática INIFAP (Medina *et al.*, 1998).

Tipo Climático	Temperatura del mes más frío (°C)	Número de meses húmedos	Temperatura media anual (°C)
Templado árido frío	< 5°C	0 (< 30 días)	< 5°C
Templado semiárido frío	< 5°C	1 a 3 (30 a 119 días)	< 5°C
Templado subhúmedo frío	< 5°C	4 a 6	< 5°C
Templado húmedo frío	< 5°C	> 6 meses	< 5°C
Subtrópico árido templado	Entre 5 y 18°C	0 (< 30 días)	Entre 5 y 18°C
Subtrópico semiárido templado	Entre 5 y 18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	Entre 5 y 18°C
Subtrópico subhúmedo templado	Entre 5 y 18°C	4 a 6	Entre 5 y 18°C
Subtrópico húmedo templado	Entre 5 y 18°C	> 6 meses	Entre 5 y 18°C
Subtrópico árido semicálido	Entre 5 y 18°C	0 (< 30 días)	Entre 18 y 22°C
Subtrópico semiárido semicálido	Entre 5 y 18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	Entre 18 y 22°C
Subtrópico subhúmedo semicálido	Entre 5 y 18°C	4 a 6	Entre 18 y 22°C
Subtrópico húmedo semicálido	Entre 5 y 18°C	> 6 meses	Entre 18 y 22°C
Subtrópico árido cálido	Entre 5 y 18°C	0 (< 30 días)	Entre 22 y 26°C
Subtrópico semiárido cálido	Entre 5 y 18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	Entre 22 y 26°C
Subtrópico subhúmedo cálido	Entre 5 y 18°C	4 a 6	Entre 22 y 26°C
Subtrópico húmedo cálido	Entre 5 y 18°C	> 6 meses	Entre 22 y 26°C
Trópico árido semicálido	>18°C	0 (< 30 días)	Entre 18 y 22°C
Trópico semiárido semicálido	>18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	Entre 18 y 22°C
Trópico subhúmedo semicálido	>18°C	4 a 6	Entre 18 y 22°C
Trópico húmedo semicálido	>18°C	> 6 meses	Entre 18 y 22°C
Trópico árido cálido	>18°C	0 (< 30 días)	Entre 22 y 26°C
Trópico semiárido cálido	>18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	Entre 22 y 26°C
Trópico subhúmedo cálido	>18°C	4 a 6	Entre 22 y 26°C
Trópico húmedo cálido	>18°C	> 6 meses	Entre 22 y 26°C
Trópico árido muy cálido	>18°C	0 (< 30 días)	>26°C
Trópico semiárido muy cálido	>18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	>26°C
Trópico subhúmedo muy cálido	>18°C	4 a 6	>26°C
Trópico húmedo muy cálido	>18°C	> 6 meses	>26°C

En este análisis se consideraron los índices de Margalef, Simpson y Shannon.

De acuerdo con Magurran (2004) los índices relacionados con riqueza de especies son:

a) Riqueza de Especies (RE): S

b) Margalef (MAR): $DMg = S - 1/\ln(N)$

Por su parte, los índices que incluyen tanto riqueza como dominancia son:

a) Shannon (SHA): $H = - \sum p_i \ln p_i$

b) Simpson (SI): $D = 1/\sum p_i^2$

En donde S se refiere al número de especies, N es el número total de individuos en la muestra y P_{ij} es la proporción de individuos de la raza en cuestión.

Los criterios bajo los cuales se analizó la diversidad y abundancia de razas fueron entidad federativa, tipo climático y estratos altitudinales. Para tipo climático se utilizó la estratificación del INIFAP (Medina *et al.*, 1998), y para la altitudinal se consideraron los estratos altitudinales que tradicionalmente han sido utilizados por los fitomejoradores del maíz en México para clasificar ambientes para maíz. Estos se pueden ver en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Estratificación ambiental por altitud utilizada de manera tradicional por los mejoradores genéticos del maíz en México.

Ambiente	Clave	Altitud
Zona Tropical	1	0-1000 m
Zona Subtropical	2	1000 - 1900 m
Zona de Transición	3	1900 – 2200 m
Zona de Valles Altos	4	2200-3000 m

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. Tipos climáticos de distribución de las razas de maíz de México.

De los 28 tipos climáticos existentes en el país (Medina *et al.*, 1988), *Zea mays* se encontró en 21 (Cuadro 4), señalando una alta potencialidad de distribución de esta especie en el país. Los climas en los que no se registró accesión alguna de *Zea mays* fueron los tipos Templados Fríos con regímenes hídricos de árido a húmedo (5, 6, 7 y 8), Trópico Árido Semicálido (21), Trópico Semiárido Semicálido (22), y Trópico Árido muy Cálido (29) (Cuadro 4). Estos tipos climáticos, donde no hubo presencia alguna de maíz, representan sólo el 1.72% de la superficie nacional (Medina *et al.*, 1998). Probablemente, de cubrir una mayor extensión en el país, se habrían tenido algunas colectas de *Zea mays*, por lo menos en los climas Trópico Arido Semicálido y Trópico Semiárido Semicálido, cuyas condiciones ambientales son similares a las de algunos tipos climáticos donde sí se identificaron accesiones. Los otros cinco tipos climáticos (5, 6, 7, 8 y 29) parecen representar por sí solos una seria restricción natural para el desarrollo no sólo del maíz sino de la mayoría de las especie cultivadas, debido a que imponen condiciones ambientales extremas de temperatura y en algunos casos de humedad (Ver Cuadro 2). La amplia adaptación del maíz a las diversas condiciones ambientales de México concuerda con la gran adaptabilidad ambiental de esta especie señalada por Doorenbos y Kassam (1979) quienes consignan la adaptación de este cultivo en zonas tropicales, subtropicales y templadas de regiones entre los 50°N y 40°S (González, 1984; Purseglove, 1985).

Al analizar la presencia de las diversas razas en los diferentes tipos climáticos, se observa que sobresale la raza Tuxpeño, ya que se encuentra en 19 de las 28 variantes climáticas de México (Cuadro 4), lo que puede explicar en parte la utilización ventajosa de esta raza en programas de mejoramiento genético del maíz (Ruiz *et al.*, 2002; Morales, 2005). Otras razas de aparente buena adaptabilidad son Olotillo que se adapta a 13 tipos climáticos, Pepitilla a 12 y Celaya a 11 ambientes climáticos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tipos climáticos en los que se colectaron 46 razas de *Zea mays* en la República Mexicana.

RAZA	TIPOS CLIMATICOS																															
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	suma			
1. Ancho							X				X								X				X				X	X		6		
2. Apachito						X	X																							2		
3. Arrocillo					X	X	X	X		X																				5		
4. Azul						X	X																							2		
5. Blando de Sonora										X			X	X																3		
6. Bofo										X	X			X									X	X						5		
7. Bolita					X	X	X			X	X																			5		
8. Cacahuacimle					X	X	X	X																						4		
9. Celaya					X	X	X	X	X	X	X	X							X			X	X							11		
10. Chalqueno					X	X	X	X	X	X	X	X				X						X								10		
11. Chapalote										X			X	X								X	X							5		
12. Comiteco							X	X			X	X							X	X			X	X			X	X		10		
13. Cómicó					X	X	X	X	X	X	X	X							X											9		
14. Cómicó Norteno					X	X	X	X	X	X	X											X								8		
15. Cristalino de Chih.					X	X	X																							3		
16. Cubano Amarillo														X									X				X			3		
17. Maíz Dulce					X	X	X		X	X				X								X								7		
18. Dulcillo del Noroeste						X				X			X	X									X							5		
19. Dzit Bacal							X		X						X	X			X				X	X		X	X			9		
20. Elotes Cómicos					X	X	X	X	X	X	X																			7		
21. Elotes Occidentales					X	X	X	X	X	X	X											X	X	X						10		
22. Gordo					X	X	X																							3		
23. Harinoso de Ocho													X												X					2		
24. Jala											X												X	X						3		
25. Mushito						X	X	X			X	X																		5		
26. Nal-Tel de Altura							X																							1		
27. Nal-Tel						X							X						X				X	X		X	X	X		8		
28. Olotillo						X	X		X	X	X				X				X			X	X	X		X	X	X		13		

En contraste, existen razas cuya distribución climática es reducida, tal es el caso de Nal-Tel de Altura que se encontró sólo en un tipo climático; y Apachito, Azul, Harinoso de Ocho y Palomero de Chihuahua, que sólo se reportaron en 2 variantes climáticas. Esto podría deberse a un cierto endemismo por parte de estas razas (López *et al.*, 2005), aunque también podría contribuir el número reducido de accesiones que fueron consideradas (Cuadro 1).

Al parecer, los climas subtropicales y tropicales con régimen térmico templado, semicálido o cálido, y régimen hídrico de subhúmedo a semiárido, son los más propicios para *Zea mays*, ya que es en estos ambientes donde se concentra el mayor número de razas colectadas (ver climas 10, 11, 15 y 27, Cuadro 4). La presencia mayoritaria del maíz en climas tropicales y subtropicales va de acuerdo con las regiones de origen del maíz (Hernández, 1998), las cuales corresponden con condiciones tropicales de Mesoamérica (Fritz, 1995).

En contraparte, los climas Subtrópico Subhúmedo Cálido (tipo 19), Trópico Arido Cálido (tipo 25) y Trópico Húmedo Semicálido (tipo 24) son los que presentan un menor número de razas, ya que sólo se han obtenido accesiones de 2, 2 y 3 razas, respectivamente (Cuadro 4). Los climas Subtrópico Subhúmedo Cálido y Trópico Húmedo Semicálido no parecen representar condiciones demasiado limitantes para el desarrollo del maíz, por lo que la baja presencia de diversidad de *Zea mays* pudiera sugerir la falta de trabajo de colección de materiales. No así el caso del clima Trópico Arido Cálido, el cual si se considera ambiente limitante con condiciones prácticamente fuera de los rangos ambientales de adaptación para el maíz (Ruiz *et al.*, 1999).

Es importante señalar que en el caso de los climas 19 y 24, el número reducido de razas y accesiones también puede deberse a que estos climas presentan una reducida extensión territorial a lo largo de la República Mexicana (Medina *et al.*, 1998), por lo que de tener una mayor representación superficial seguramente registrarían un mayor número de accesiones y razas.

6.1.1. Tipos climáticos de distribución de los grupos raciales morfológicos.

De acuerdo con los grupos morfológicos de las razas mexicanas (Sánchez *et al.*, 2000) el Grupo 1, representado en este estudio por Apachito, Azul, Cristalino de Chihuahua, Gordo, Cacahuacintle, Arrocillo, Cónico, Palomero Toluqueño, Cónico Norteño, Palomero de Chihuahua, Chalqueño, Mushito, Elotes Cónicos, Maíz Dulce y Pepitilla, se distribuye mayoritariamente en los climas 9,10,11 y 12 que corresponden a ambientes subtropicales templados, cubriendo toda la gama de condiciones de humedad, esto es árido, semiárido subhúmedo y húmedo (Cuadro 4). Cuatro razas de este grupo son la excepción a este patrón de temperatura; Arrocillo que se distribuye desde los subtrópicos templados hasta los subtrópicos semicálidos; y las razas Cónico, Elotes Cónicos y Maíz Dulce que habitan desde los subtrópicos templados hasta los trópicos cálidos (Cuadro 4).

El Grupo 2, representado por Ancho, Bolita, Tablilla de Ocho, Blando de Sonora, Harinoso de Ocho, Tabloncillo Perla, Bofo, Tabloncillo, Elotes Occidentales, Onaveño, Reventador, Jala y Zamorano Amarillo, mantiene una distribución climática no tan definida como el Grupo 1; sin embargo, de manera general se advierte que la mayor parte de las razas se distribuye en una gama térmica que va desde los climas subtrópicos templados hasta los climas tropicales cálidos incluyendo toda la gama de condiciones de humedad. Se salen de este patrón las razas Reventador, Tabloncillo y Tabloncillo Perla, por haber sido colectadas en un clima Trópico Subhúmedo muy Cálido, el cual parece ser un tanto restrictivo para esta especie. En términos generales se puede apreciar escasa presencia de este grupo racial en climas húmedos.

El Grupo 3, representado por Celaya, Tuxpeño Norteño, Tuxpeño, Vandeño, Comiteco, Tehua, Olotón, Dzit Bacal, Olotillo, Nal-Tel de Altura, Nal-Tel, Tamaulipeco (Ratón), Tepecintle, Zapalote Grande y Zapalote Chico, se encuentra en climas subtropicales y tropicales (Cuadro 4) con una gama de temperatura que incluye climas templados, semicálidos, cálidos y muy cálidos y las cuatro posibles condiciones de humedad (Arido, Semiárido, Subhúmedo y Húmedo). La mayor parte de las razas que integran este grupo observan esta tendencia. Sin embargo algunas de ellas como Zapalote Chico y Zapalote Grande manifiestan un posible endemismo

orientado hacia los climas tropicales cálidos y muy cálidos. Un caso similar es la raza Nal-Tel de Altura la cual se identificó únicamente en el clima Subtrópico Subhúmedo Templado.

El Grupo 4, representado por Chapalote y Dulcillo del Noroeste, se distribuye en los climas 14, 17, 18, 26, que corresponden a climas subtropicales semicálidos y tropicales cálidos con condiciones áridas y semiáridas; aunque Dulcillo del Noroeste se distribuye además en el clima 10 que constituye un ambiente Subtrópico Semiárido Templado, y Chapalote en el clima 27 que representa un Trópico Subhúmedo Cálido.

6.1.2. Tipos climáticos de distribución de los grupos raciales geográficos.

Considerando los grupos raciales geográficos (Sánchez y Goodman, 1992), se puede observar que salvo el Grupo 2 (Sierra de Chihuahua) cuya distribución parece confinada a tres climas, todos subtrópicos templados, el resto de los grupos presenta una más amplia distribución climática, destacando el Grupo 4 (Dentados tropicales) que se colectó en los 21 climas que se identificaron con las colectas de las 46 razas estudiadas. En este grupo se incluye la raza Tuxpeño que como ya se mencionó anteriormente se ha colectado en 19 ambientes. El Grupo 5 (Madurez tardía) fue colectado en 17 ambientes, seguido por el Grupo 3 (8 hileras) y el Grupo 6 (Madurez temprana) que fueron colectados en 15 ambientes. Finalmente el Grupo 1 se colectó en 12 ambientes.

En términos generales se aprecia que el Grupo Cónico (Palomero de Chihuahua, Palomero Toluqueño, Arrocillo, Cónico, Elotes Cónicos, Cacahuacintle, Chalqueño, Mushito, Cónico Norteño y Maíz Dulce) está predominantemente presente en climas subtropicales con regímenes térmicos templados, semicálidos y cálidos, y regímenes hídricos desde el árido hasta el húmedo (Cuadro 4). El Grupo Sierra de Chihuahua (Apachito, Cristalino de Chihuahua, Azul y Gordo) se distribuye en climas subtropicales con régimen térmico templado y régimen hídrico de árido a subhúmedo. El resto de los grupos, esto es el Grupo 8 hileras (Ancho, Bofo, Elotes Occidentales, Tabloncillo, Tablilla de Ocho, Zamorano Amarillo, Bolita, Jala, Reventador, Tabloncillo Perla, Onaveño, Harinoso de Ocho y Blandito); el Grupo Madurez temprana (Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Nal-Tel, Tamaulipeco Ratón y Zapalote Chico); el Grupo Dentados tropicales (Pepitilla, Celaya, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Zapalote Grande, Vandefío y

Tepecintle) y el Grupo Madurez tardía (Comiteco, Dzit-Bacal, Olotillo, Olotón, Na-Tel de Altura y Tehua) habitan en climas subtropicales y tropicales, con régimen térmico de templado a muy cálido y régimen hídrico de árido a húmedo, constituyéndose así en los grupos que desarrollan en un rango más amplio de condiciones climáticas.

La presencia o ausencia de las razas de maíz en ciertos tipos climáticos, se puede explicar al considerar que normalmente esas condiciones ambientales están asociadas con los diferentes patrones de variabilidad genética, lo cual refleja procesos de adaptación de germoplasma a factores ambientales (Lobo *et al.*, 2003).

6.2. Intervalos climáticos de adaptación de los grupos raciales.

En el Cuadro 5 se presentan los valores mínimos, máximos y medios de cinco variables ambientales obtenidos al caracterizar la climatología de los sitios de colecta de las diferentes razas. Los valores medios son el promedio obtenido de los valores de las accesiones de la raza estudiada y los valores tanto máximo como mínimo son las condiciones extremas dónde se desarrollan las accesiones de cada raza. De esta forma, tales valores extremos, representan los rangos climáticos de distribución de las razas estudiadas.

Con respecto a la altitud promedio de las razas (Cuadro 5), y considerando los grupos raciales morfológicos (Sánchez *et al.*, 2000) así como la clasificación de materiales de maíz con base a altitud por parte de los fitomejoradores en México (Cuadro 3) se aprecia que en el Grupo 1 se encuentran razas subtropicales (1000 a 1900 m) como Maíz Dulce, Mushito y Pepitilla; razas de ambiente transicional (1900 a 2200 m) como Azul, Cónico Norteño, Cristalino de Chihuahua, Gordo y Palomero de Chihuahua; y razas de Valles Altos (más de 2200 m) como Apachito, Arrocillo, Cacahuacintle, Chalqueño, Cónico, Elotes Cónicos y Palomero Toluqueño. Como se puede ver en el Cuadro 5, las accesiones del Grupo 1 se realizaron entre los 514 m (Pepitilla) y los 2700 m (Cacahuacintle). El Grupo 2, comprende razas tropicales (de 0 a 1000 m) como Blando de Sonora, Bofo, Bolita, Harinoso de Ocho, Onaveño, Reventador y Tabloncillo Perla; y razas subtropicales como Ancho, Elotes Occidentales, Tablilla de Ocho, Tabloncillo, Jala y Zamorano Amarillo. Las accesiones del Grupo 2 comprenden alturas desde 120 m

(Harinoso de Ocho) hasta 2465 m (Bolita). En el Grupo 3 se pueden apreciar razas tropicales como Cubano Amarillo, Dzit Bacal, Nal-Tel, Olotillo, Tamaulipeco (Ratón), Tehua, Tepecintle, Tuxpeño, Vandeño, Zapalote Chico y Zapalote Grande; razas subtropicales como Celaya, Comiteco, Olotón, Nal-Tel, Tehua y Tuxpeño Norteño; y razas de ambiente transicional como Nal-Tel de Altura. Las accesiones del Grupo 3 se realizaron en alturas desde 0 (Dzit Bacal) hasta 2430 m (Nal-Tel de Altura). Por último, el Grupo 4 señala las razas tropicales Chapalote y Dulcillo del Noroeste, con accesiones extremas realizadas a 70 y 947 m.

También con relación a este criterio de estratificación altitudinal, pero ahora considerando los grupos raciales geográficos (Sánchez y Goodman, 1992) se tiene que en el Grupo Cónico se tienen razas subtropicales como Maíz Dulce y Mushito; de ambiente transicional como Cónico Norteño y Palomero de Chihuahua; y razas de valles altos como Arrocillo, Cónico, Chalqueño, Elotes Cónicos y Palomero Toluqueño. Los valores extremos de accesiones en este grupo son 1066 para la raza Chalqueño y 2900 msnm, para las razas Cónico y Chalqueño. El Grupo Sierra de Chihuahua lo componen razas de ambiente transicional como Azul, Cristalino de Chihuahua y Gordo, y razas de valles altos como Apachito. Con accesiones altimétricas extremas de 1900 y 2510 m. En el Grupo 8 hileras se ubican mayoritariamente las razas subtropicales como Ancho, Elotes Occidentales, Tabloncillo, Tablilla de Ocho, Zamorano Amarillo y Jala, tres razas tropicales como Bofo, Reventador y Tabloncillo Perla y solo una de ambiente transicional, Bolita. Las accesiones extremas se realizaron a 10 m (Tabloncillo Perla) y 2465 m (Bolita). En el Grupo Dentados Tropicales se localizan razas tropicales como Tepecintle, Tuxpeño, Vandeño y Zapalote Grande, y razas subtropicales como Celaya, Tuxpeño Norteño y Pepitilla. Los valores mínimos y máximos de colecta fueron 0 m (Tuxpeño) y 2389 m (Celaya). Con relación al Grupo Madurez tardía, éste comprende razas tropicales como Cubano Amarillo, Dzit-Bacal, Tehua y Olotillo; razas subtropicales como Comiteco y Olotón; y razas de ambiente transicional como Nal-Tel de Altura, siendo los valores extremos de accesión 0 m (Dzit-Bacal) y 2430 m (Nal-Tel de Altura). Por último en el Grupo Madurez Temprana se

Cuadro 5. Rangos y promedios de tres variables ambientales para 46 razas de *Zea mays* en la República Mexicana.

Raza	Altitud (msnm)			Temperatura media anual (°C)			Temperatura media mayo-octubre (°C)			Lluvia (mm) de mayo-octubre (A), noviembre-abril (B), y anual (C)								
				mínimo	máximo	media	mínimo	máximo	media	mínimo			máximo			media		
	A	B	C							A	B	C	A	B	C			
1. Ancho	900	2100	1519	16.8	23.2	20	18.5	24.7	21.6	735.1	35.1	770.2	1412.1	92.8	1504.9	1073.6	64	1137.6
2. Apachito	1900	2510	2340	12.1	15.1	13.6	13.9	16.8	15.3	423.1	70.2	493.3	867.1	240.4	1107.5	645.1	155.3	800.4
3. Arrocillo	1458	2814	2211	11.9	20.3	16.1	13.7	21.9	17.8	400	53.5	453.5	2146.5	871.6	3018.1	1273.2	462.5	1735.7
4. Azul	1900	2579	2182	13.6	15.2	14.4	15.3	16.9	16.1	423.1	70.2	493.3	1143.4	139.3	1282.7	783.2	104.8	888
5. Blando de Sonora	115	947	455	19.6	23	21.3	21.2	24.5	22.9	418.9	72	490.9	840.3	385	1225.3	629.6	228.5	858.1
6. Bofo	400	1440	844	19.5	23.9	21.7	21.1	25.4	23.3	440.5	50.4	490.9	1002	286.2	1288.2	721.2	168.3	889.5
7. Bolita	1480	2465	2003	14.4	18.9	16.6	16.1	20.5	18.3	400	37.3	437.3	1329.1	358.9	1688	864.5	198.1	1062.6
8. Cacahuacintle	1960	2700	2472	12.7	17.6	15.15	14.5	19.3	16.9	400	22.1	422.1	1407	454.51	1861.5	903.5	238.3	1141.8
9. Celaya	1000	2389	1762	14.8	22.7	18.8	16.5	24.2	20.4	401.5	35.8	437.3	1899.4	606.8	2506.2	1150.4	321.3	1471.7
10. Chalqueño	1066	2900	2271	11.3	22.4	16.85	13.1	23.9	18.5	400	22.1	422.1	1899.4	606.8	2506.2	1149.7	314.4	1464.1
11. Chapalote	70	750	398	21.4	24.4	22.9	23.0	25.9	24.4	418.9	63.9	482.8	957.4	436.8	1394.2	688.1	250.3	938.4
12. Comiteco	820	2100	1529	17	23.6	20.3	18.7	25.1	21.9	880	74.4	954.41	3554.5	690.5	4245	2217.2	382.4	2599.6
13. Cónico Norteño	1377	2670	2001	11	20.6	15.8	12.8	22.2	17.5	400	26.3	426.3	2102.9	530.2	2633.1	1123.2	278.2	1401.4
14. Cónico	1700	2900	2367	11.2	18.9	15	13	20.5	16.8	400	26.3	426.3	2063.6	667.4	2731	1231.8	346.8	1578.6
15. Cristalino de Chih.	1610	2510	2104	12.1	17.5	14.8	13.9	19.2	16.5	400.2	35.48	435.7	990.2	286.3	1276.5	1390.4	321.7	1712.1
16. Cubano Amarillo	100	870	607	21.8	25.2	23.5	23.3	26.7	25.0	502	72.4	574.4	1412.5	121.6	1534.1	957.2	97	1054.2
17. Maíz Dulce	1284	2090	1730	16.2	21.2	18.7	17.9	22.8	20.3	421.4	49.6	471	850.4	110.4	960.8	635.9	80	715.9
18. Dulcillo del NW	20	947	463	19.6	25	22.3	21.2	26.5	23.8	437.1	72	509.1	1394.2	286.2	1680.4	915.6	179.1	1094.7
19. Dzit Bacal	0	782	136	22.2	26.2	24.2	23.7	27.6	25.7	436	99.1	535.1	2142.5	605.8	2748.3	1289.2	352.4	1641.6
20. Elotes Cónicos	1587	2700	2254	12.7	19.7	16.2	14.5	21.3	17.9	400	42.8	442.8	1580	589.4	2169.4	990	316.1	1306.1
21. Elotes Occidentales	705	2170	1634	15.9	23.7	19.8	17.6	25.2	21.4	421.4	29	450.4	1899.4	606.7	2506.1	1160.4	317.8	1478.2
22. Gordo	1900	2510	2125	12.5	16.3	14.4	14.3	18	16.1	409.1	36.6	445.7	990.2	267	1257.2	1399.3	151.8	1551.1
23. Harinoso de Ocho	120	410	265	20.8	25	22.9	22.4	26.5	24.4	437.1	114.6	551.7	1753.7	414.3	2168	1095.4	264.5	1359.9
24. Jala	1042	1850	1220	18	22	20	19.6	23.5	21.6	701.4	54.8	756.2	1060.3	87.9	1148.2	880.9	71.4	952.3
25. Múshito	1400	2600	1833	13.5	20.6	17.05	15.2	22.2	18.7	482.1	61	543.1	2022.1	575.3	2597.4	1252.1	318.1	1570.2
26. Nal-Tel de Altura	1740	2430	2076	14.7	19.1	16.9	16.4	20.7	18.6	799.6	105.1	904.7	1161.9	139.9	1301.8	980.8	633.5	1613.5
27. Nal-Tel	10	1286	265	21.5	25.6	23.5	23.1	27.1	25.1	434.9	43.1	478	3116.2	397	3513.2	1775.6	220	1995.6
28. Olotillo	10	1870	731	18.4	26.1	22.25	20.0	27.5	23.8	648.7	43.2	691.9	2898.5	756.2	3654.7	1773.6	399.7	2173.3
29. Olotón	760	2303	1726	15.6	24	19.8	17.3	25.5	21.4	659.4	50.8	710.2	2977.9	889.1	3867	1818.7	470	2288.7

30. Onaveño	200	1163	495	17.3	23	20.15	19.0	24.5	21.7	418.9	72.4	491.3	558.4	385	943.4	488.6	228.7	717.3
31. Palomero de Chih.	1964	2140	2068	13.7	14.9	14.3	15.4	16.6	16.0	406	79.5	485.5	553.7	223.8	777.5	479.8	151.6	631.4
32. Palomero Toluq.	2140	2887	2548	11.4	15.9	13.65	13.2	17.6	15.4	406	94	500	1494	592	2086	950	343	1293
33. Pepitilla	514	2050	1211	17.1	24.6	20.8	18.8	26.1	22.4	460.7	27.3	488	1667.2	502.2	2169.4	1064	264.7	1328.7
34. Reventador	20	1752	412	18.7	26	22.35	20.3	27.4	23.9	418.9	50	468.9	1435.6	385	1820.6	927.2	217.5	1579
35. Tabloncillo Perla	10	1460	479	18.9	25	22	20.5	26.5	23.5	425.6	40	465.6	1827.5	286.3	2113.8	1126.5	163.1	1289.6
36. Tablilla de Ocho	1400	1950	1686	17	20	18.5	18.7	21.6	20.1	451	50.4	501.4	816.5	85.1	901.6	633.7	68	701.7
37. Tabloncillo	350	2050	1346	16.5	24.9	20.7	18.2	26.4	22.3	402.3	30	432.3	1827.5	286.2	2113.7	1114.9	158.1	1273
38. Tamaulipeco (Ratón)	84	1300	446	20.7	24.6	22.6	22.3	26.1	24.2	400	45.9	445.9	2063.6	674	2737.6	1231.8	360	1591.8
39. Tehua	500	1000	784	23	24.8	23.9	24.5	26.3	25.4	832.4	74.4	906.8	1512	332	1844	1172.2	203.2	1375.4
40. Tepecintle	8	1400	493	21	26.5	23.75	22.6	27.9	25.3	500.3	31.5	531.5	3075.7	397	3472.7	1788	214.2	2002.2
41. Tuxpeño Norteño	1400	1701	1529	17.1	19.4	18.25	18.8	21.0	19.9	400	33.1	433.1	894.6	112	1006.6	647.3	72.5	720
42. Tuxpeño	0	1700	604	16.6	26.6	22	19.2	28.0	23.6	409.1	27.9	437	3135.1	1036.3	4171.4	1772.1	532.1	2304.2
43. Tandeño	9	1645	410	19.4	26.6	23	21.0	28.0	24.5	639.2	22.4	661.6	3135.1	737	3872.1	1887.1	379.7	2266.8
44. Zamorano Amarillo	1436	2070	1718	16.8	20.2	18.5	18.5	21.8	20.1	669.8	52.1	721.9	1072.4	77.7	1150.1	871.1	65	936.1
45. Zapalote Chico	50	880	171	23.4	26.4	24.9	24.9	27.8	26.4	607.2	29.7	636.9	1659.1	319	1978.1	1133.1	174.3	1307.4
46. Zapalote Grande	50	830	410	23.6	26.5	25.05	25.1	27.9	26.5	706.3	29.7	736	3116.2	288.6	3404.8	1911.2	159.1	2070.3

encuentran cinco razas tropicales: Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Nal-Tel, Tamaulipeco (Ratón) y Zapalote Chico. Los valores altitudinales mínimo y máximo de colecta para este grupo fueron 20 y 1300 m.

Cabe mencionar que las anteriores caracterizaciones altitudinales de las razas de maíz fueron hechas una vez que las bases de datos de accesiones fueron revisadas y depuradas, pero que aún con estos procesos de mejoramiento de datos, es posible que dichas fuentes de información aún contengan errores, los cuales se hayan transferido a las clasificaciones altitudinales de las razas. También es oportuno mencionar que el sistema de información ambiental utilizado en este estudio proviene de procesos de depuración de información de todo el país (Medina *et al.*, 1998), los cuales sin embargo no garantizan un 100% de precisión de la información, condición que muy probablemente también está influyendo en los resultados de caracterización ambiental de razas que se han obtenido en este trabajo.

Con respecto a la caracterización de la precipitación pluvial de los sitios de colecta, el Cuadro 5 muestra también los valores mínimos y máximos de precipitación acumulada identificados en los períodos mayo-octubre y noviembre-abril de los sitios de colecta. Ahí se puede observar que sólo trece razas registraron un valor mínimo de precipitación mayo-octubre superior a los 500 mm; cantidad señalada por Doorenbos y Kassam (1979) como el mínimo de lluvia requerido para el desarrollo adecuado del maíz tradicional. Estas razas son Ancho, Cubano Amarillo, Comiteco, Jala, Nal-Tel de Altura, Olotillo, Olotón, Tehua, Tepecintle, Vandeño, Zamorano Amarillo, Zapalote Chico y Zapalote Grande, las cuales pertenecen a los Grupos morfológicos 2 y 3, y a los grupos geográficos 3, 4, 5 y 6. Dentro de estas razas se aprecia que algunas como Ancho, Comiteco, Jala, Nal-Tel de Altura y Tehua mantienen un requerimiento mínimo de precipitación superior a los 700 mm, lo que señala una mayor exigencia de agua por parte de estas razas, y que seguramente restringe su distribución geográfica, ya que los ecotipos de plantas sólo

pueden ocupar un cierto hábitat cuando los valores de esos factores caen dentro de su rango de tolerancia (Whittaker, 1973).

El resto de las razas registraron un valor mínimo de precipitación mayo-octubre inferior a los 500 mm, lo que seguramente señala un efecto de aclimatación al que ha sido sometido el maíz al ser forzado a producir fuera de las áreas de su origen. Este efecto es relativamente común en muchas especies y produce entre otras cosas la modificación de los requerimientos agroecológicos de las especies vegetales (Ruiz *et al.*, 1999).

Las razas con el mínimo de precipitación mayo-octubre más bajo (Cuadro 5) fueron Arrocillo, Cacahuacintle, Chalqueño, Cónico Norteño, Cónico y Elotes Cónicos (Grupo 1), Bolita (Grupo 2), Tamaulipeco (Ratón) y Tuxpeño Norteño (Grupo 3), ubicándose en 400 mm. Este nivel de precipitación parece demasiado bajo para que el maíz complete su ciclo de desarrollo, por lo que la única explicación es que algunas de las accesiones que proporcionaron este dato de lluvia fueron colectadas de semilla producida en áreas de riego o humedad residual situación que ya ha sido reportada con anterioridad (Sánchez *et al.*, 2000; Ruiz *et al.*, 2001).

Con base en el valor medio de la temperatura media de los sitios de colecta de cada raza (Cuadro 5), con base en la clasificación de zonas térmicas señalada por Medina *et al.* (1998) y considerando los grupos raciales morfológicos (Sánchez *et al.*, 2000) las razas también se pueden agrupar de la forma siguiente:

- a) Razas de régimen templado (12 a 18°C): Apachito, Arrocillo, Azul, Cacahuacintle, Chalqueño, Cónico Norteño, Cónico, Cristalino de Chihuahua, Elotes Cónicos, Gordo, Mushito, Palomero de Chihuahua y Palomero Toluqueño del Grupo 1; Bolita (Grupo 2) y Nal-Tel de Altura (Grupo 3).
- b) Razas de régimen semicálido (18 a 22°C): Maíz Dulce y Pepitilla (Grupo 1), Ancho, Blando de Sonora, Bofo, Elotes Occidentales, Jala, Onaveño, Tablilla

de Ocho, Tabloncillo y Zamorano Amarillo (Grupo 2); Celaya, Comiteco, Olotón, Tuxpeño Norteño (Grupo 3).

- c) Razas de régimen cálido (22 a 26°C): Harinoso de Ocho, Reventador y Tabloncillo Perla (Grupo 2); Cubano Amarillo, Dzit-Bacal, Nal-Tel, Olotillo, Tamaulipeco (Ratón), Tehua, Tepecintle, Tuxpeño, Vandeño, Zapalote Chico y Zapalote Grande (Grupo 3); y Chapalote y Dulcillo del Noroeste (Grupo 4).

Ahora con base en los mismos criterios de clasificación térmica pero considerando los grupos raciales geográficos (Sánchez y Goodman, 1992), las razas se pueden agrupar de la siguiente manera:

- d) Razas de régimen templado (12 a 18°C): Arrocillo, Cacahuacintle, Chalqueño, Cónico Norteño, Cónico, Elotes Cónicos, Mushito, Palomero de Chihuahua y Palomero Toluqueño (Grupo 1); Apachito, Azul, Cristalino de Chihuahua y Gordo (Grupo 2); Bolita (Grupo 3) y Nal-Tel de Altura (Grupo 5).
- e) Razas de régimen semicálido (18 a 22°C): Maíz Dulce (Grupo 1); Ancho, Blando de Sonora, Bofo, Elotes Occidentales, Jala, Onaveño, Tablilla de Ocho, Tabloncillo y Zamorano Amarillo (Grupo 3); Celaya, Pepitilla y Tuxpeño Norteño (Grupo 4); Comiteco y Olotón (Grupo 5).
- f) Razas de régimen cálido (22 a 26°C): Harinoso de Ocho, Reventador y Tabloncillo Perla (Grupo 3); Tepecintle, Tuxpeño, Vandeño y Zapalote Grande (Grupo 4); Cubano Amarillo, Dzit-Bacal, Olotillo y Tehua (Grupo 5); y Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Nal-Tel, Tamaulipeco (Ratón) y Zapalote Chico (Grupo 6).

En el Cuadro 5 también se puede apreciar que las razas que han sido colectadas a las más bajas temperaturas medias anuales son Cónico Norteño (11.0°C), Cónico (11.2°C), Chalqueño (11.3°C), Palomero Toluqueño (11.4°C) y

Arrocillo (11.9°C). Algunas de estas razas coincidentemente presentan los valores más bajos de temperatura base encontradas en razas mexicanas por Ruiz *et al.* (1998). De acuerdo con estos autores Cónico Norteño tiene una temperatura base de 6.5°C, mientras que para Cónico, Chalqueño, Palomero Toluqueño y Arrocillo su temperatura base es de 2.0, 2.5 y 5.0 y 5.0°C. Estos valores de temperatura base muy probablemente señalan la tolerancia a bajas temperaturas por parte de estos materiales (Ruiz *et al.*, 1998).

6.3. Distribución geográfica actual y potencial de *Zea mays*.

En las Figuras de la 1 a 4 se muestran las áreas de distribución actual y potencial de las 46 razas de maíz estudiadas. Las áreas potenciales de distribución son producto de la búsqueda geográfica de los rangos climáticos de distribución de las razas, los cuales se reportan en el Cuadro 5. Esta búsqueda, como se describe en el capítulo de Materiales y Métodos, se realizó mediante el sistema IDRISI32 y utilizando como fuente de información geográfica el SIAN del INIFAP (Medina *et al.*, 1998).

La presentación de resultados en estas figuras se realiza considerando los grupos raciales desde el punto de vista morfológico (Sánchez *et al.* 2000). De esta forma, en las Figuras 1a a 1d se incluyen los resultados obtenidos para el Grupo 1. En estas cuatro figuras, que comprenden 15 mapas correspondientes a 15 razas, se observa que aproximadamente existe un común denominador con respecto a la distribución espacial de las áreas potenciales para las razas. Es notorio que las áreas potenciales se distribuyen mayoritariamente en el centro y occidente del país; este es el caso de Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Cristalino de Chihuahua, Elotes Cónicos, Palomero Toluqueño, Pepitilla, Arrocillo, Mushito y Cacahuacintle.

El potencial de distribución geográfica de Maíz Dulce, Gordo, Apachito y Azul es claramente menor que el de las razas mencionadas anteriormente, aunque conservando el mismo patrón de distribución en centro y occidente del país. En el

caso de Palomero de Chihuahua, el número reducido de accesiones (3) de esta raza (Cuadro 1) afectó su potencial de distribución en el país (Figura 1c). Esto es, que las características ambientales donde se realizaron estas accesiones no se repiten fácilmente en el resto del territorio mexicano. Esto señala un probable endemismo, el cual se produce y ha sido documentado para diversas especies de plantas (López *et al.*, 2005).

En todas las razas del Grupo 1 es notorio el potencial de colecta de nuevos ejemplares de las razas en áreas diferentes a las que se tienen reportadas en la actualidad (Figuras 1a a 1d); también es visible que las razas Cónico, Elotes Cónicos, Pepitilla, Arrocillo, Mushito y Cacahuacintle han sido colectadas en la parte centro y sur del país, y no en la zona norte en donde se presenta un amplio potencial de distribución y sin embargo no se reporta ninguna o casi ninguna accesión. Lo mismo sucede con las razas Cristalino de Chihuahua, Gordo y Apachito, mismas que han sido colectadas en el norte del país y no el centro y sur del mismo, donde también se presenta un amplio potencial. Esto señala a estas regiones como probables futuras zonas de colecta.

En las Figuras 2a a 2d se presentan los mapas de distribución actual y potencial de 13 razas del Grupo 2. En estos mapas de distribución, llaman la atención aspectos como el hecho de que algunas razas presentan áreas potenciales que abarcan gran parte del territorio nacional, como es el caso de Elotes Occidentales y Tabloncillo (Figura 2c), seguramente con ventajas en el aspecto de adaptabilidad, al abarcar áreas con condiciones ambientales diferentes.

Reventador, no obstante que muestran una reducida localización geográfica de accesiones, e incluso un reducido número de accesiones (Cuadro 1) presentó una distribución potencial amplia. Esta raza sólo presenta accesiones en la costa del Océano Pacífico (Figura 2a), pero potencialmente podría distribuirse en la Península de Yucatán y las costas del Golfo de México. Otras razas que muestran este mismo rasgo aunque de manera menos intensa son Ancho, Bolita y Tabloncillo Perla (Figura

2b), Por último, razas como Blando de Sonora, Onaveño, Harinoso de Ocho (Figura 2a), Bofo (Figura 2b), Jala, Tablilla de Ocho (Figura 2c) y Zamorano Amarillo (Figura 2d) muestran aparentemente una distribución potencial muy reducida y un posible efecto de endemismo para estas razas.

En las Figuras 3a a 3d se incluyen los resultados obtenidos en el análisis de áreas potenciales de distribución de las razas del Grupo 3. Aquí también se observa que algunas razas presentan áreas potenciales que abarcan gran parte del territorio nacional, como es el caso de Celaya y Nal-Tel (Figura 3c) y Tuxpeño (Figura 3d). Es notorio además que las áreas potenciales se distribuyen mayoritariamente en las costas del Pacífico y del Golfo, adentrándose en algunos casos a tierras más continentales; este es el caso de razas como Dzit Bacal, Olotillo, Cubano Amarillo (Figura 3a), Tepecintle, Vandeño, Zapalote Chico, Zapalote Grande (Figura 3b), Comiteco y Olotón (Figura 3c). En este grupo racial se tienen además las razas Tamaulipeco (Ratón) (Figura 3a), Tuxpeño Norteño (Figura 3d), Tehua y Nal-Tel de Altura cuya área potencial es muy reducida, ubicándose por las costas del Océano Pacífico, con un muy posible efecto de endemismo.

Finalmente, en la Figura 4a, se muestra el mapa de distribución actual y potencial de dos razas del Grupo Racial 4 que se consideraron en el presente estudio. La raza Dulcillo del Noroeste presenta un área potencial que abarca la mayor parte de las regiones occidental y oriental del país, incluyendo casi todas las Entidades de la Costa del Pacífico y Tamaulipas y Veracruz de la Costa del Golfo de México. Para la raza Chapalote en cambio, se identificaron áreas potenciales reducidas concentradas mayormente en los estados de Oaxaca, Chiapas, Tamaulipas, Nuevo León, Veracruz, Guerrero y Sinaloa.

En todas las razas estudiadas, es apreciable que las áreas potenciales de distribución son más extensas que las áreas donde se ubican puntos de accesión, lo cual denota posibilidades de encontrar ejemplares de dichas razas en áreas diferentes a donde hasta la fecha han sido reportadas. La realización de un mayor

número de accesiones, sobre todo en las razas que presentan hasta hoy un número reducido de éstas, contribuiría a precisar la caracterización de los rangos climáticos de adaptación de las razas y con ello a lograr una mejor caracterización de las áreas actuales y potenciales de distribución de las razas de maíz.

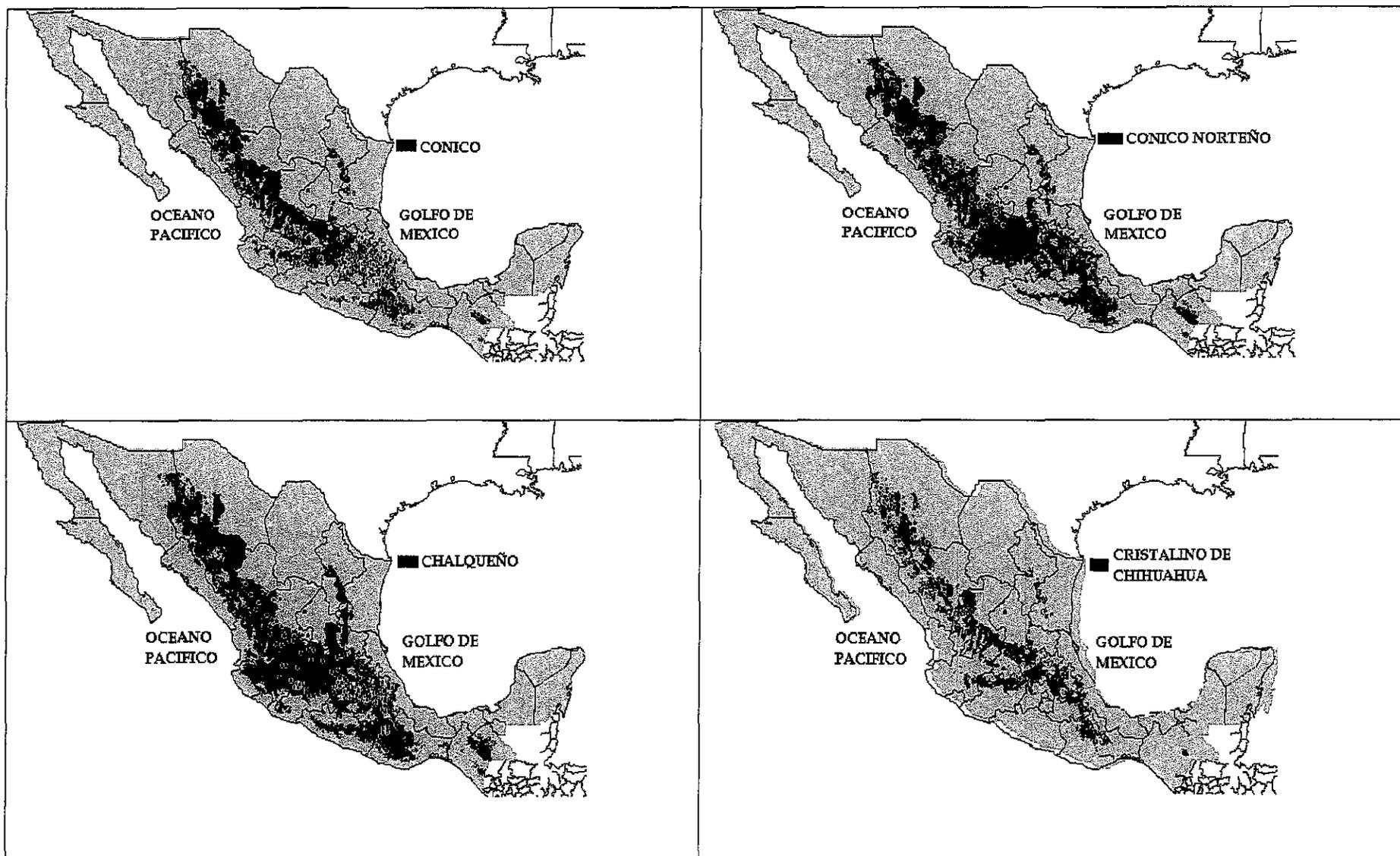


Figura 1a. Distribución real y potencial de las razas de maíz Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño y Cristalino de Chihuahua (Grupo 1).

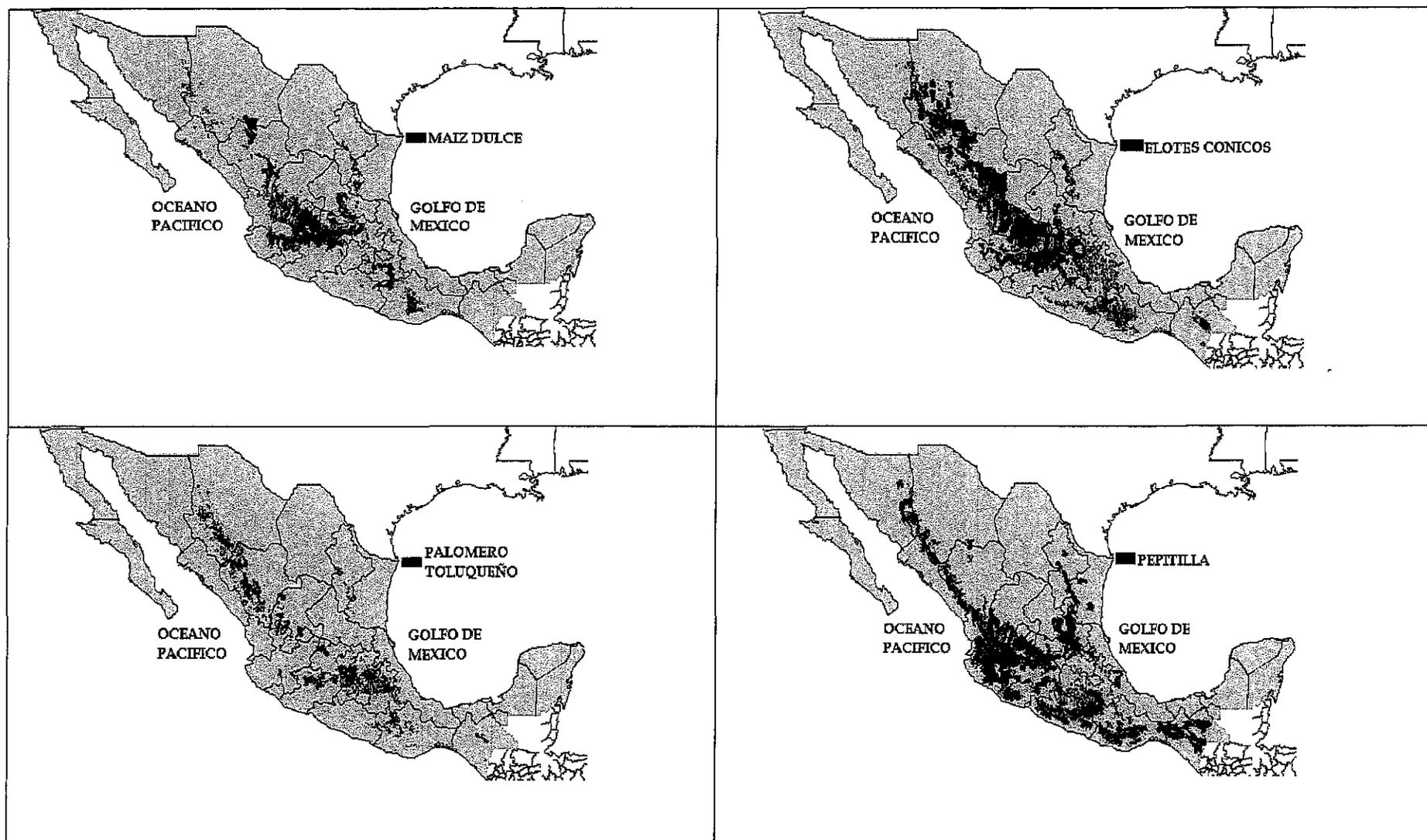


Figura 1b. Distribución real y potencial de las razas de maíz Maíz Dulce, Elotes Cónicos Chalqueño y Pepitilla (Grupo 1).

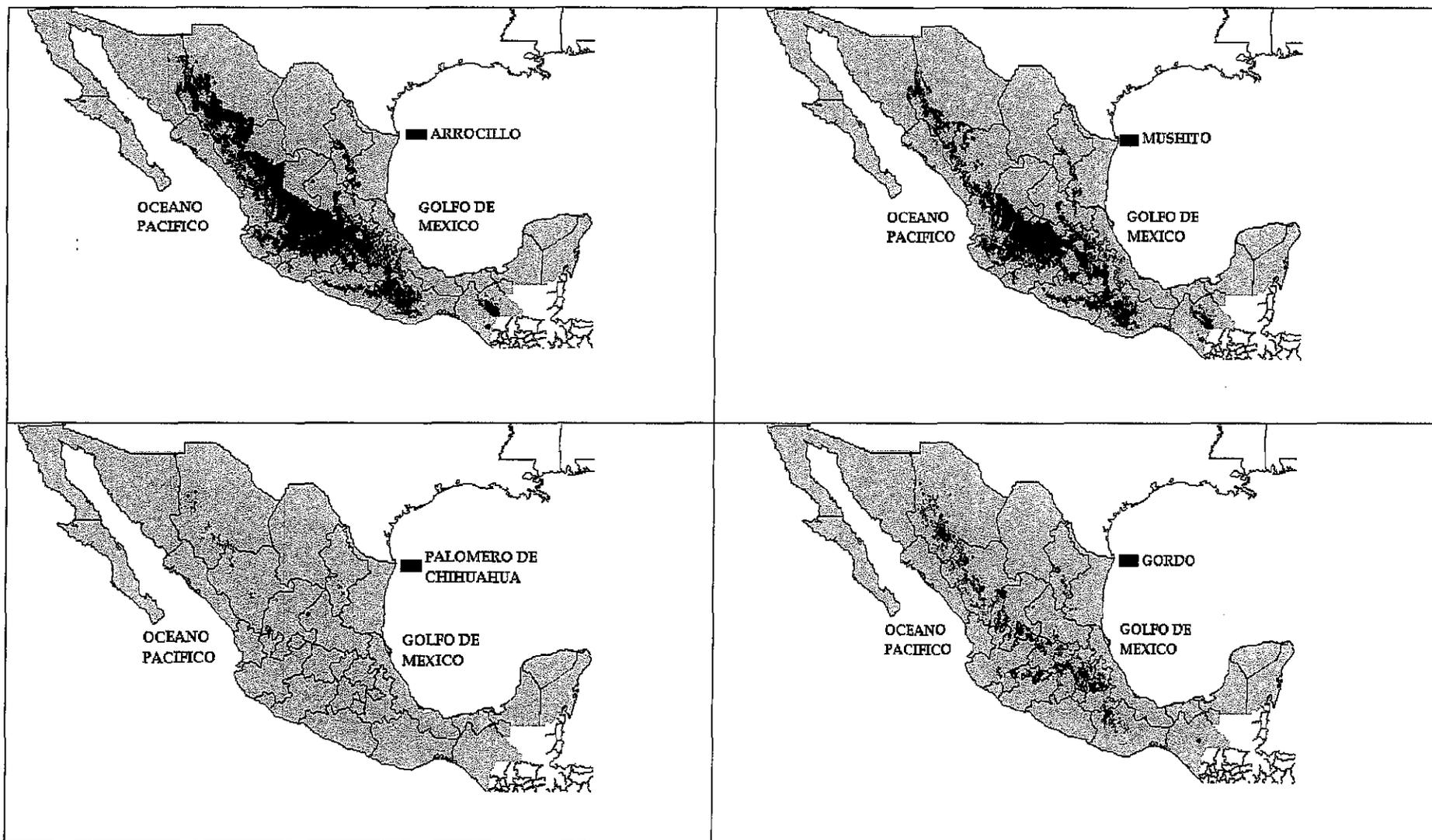


Figura 1c. Distribución real y potencial de las razas de maíz Arrocillo, Mushito, Palomero de Chihuahua y Gordo (Grupo 1).

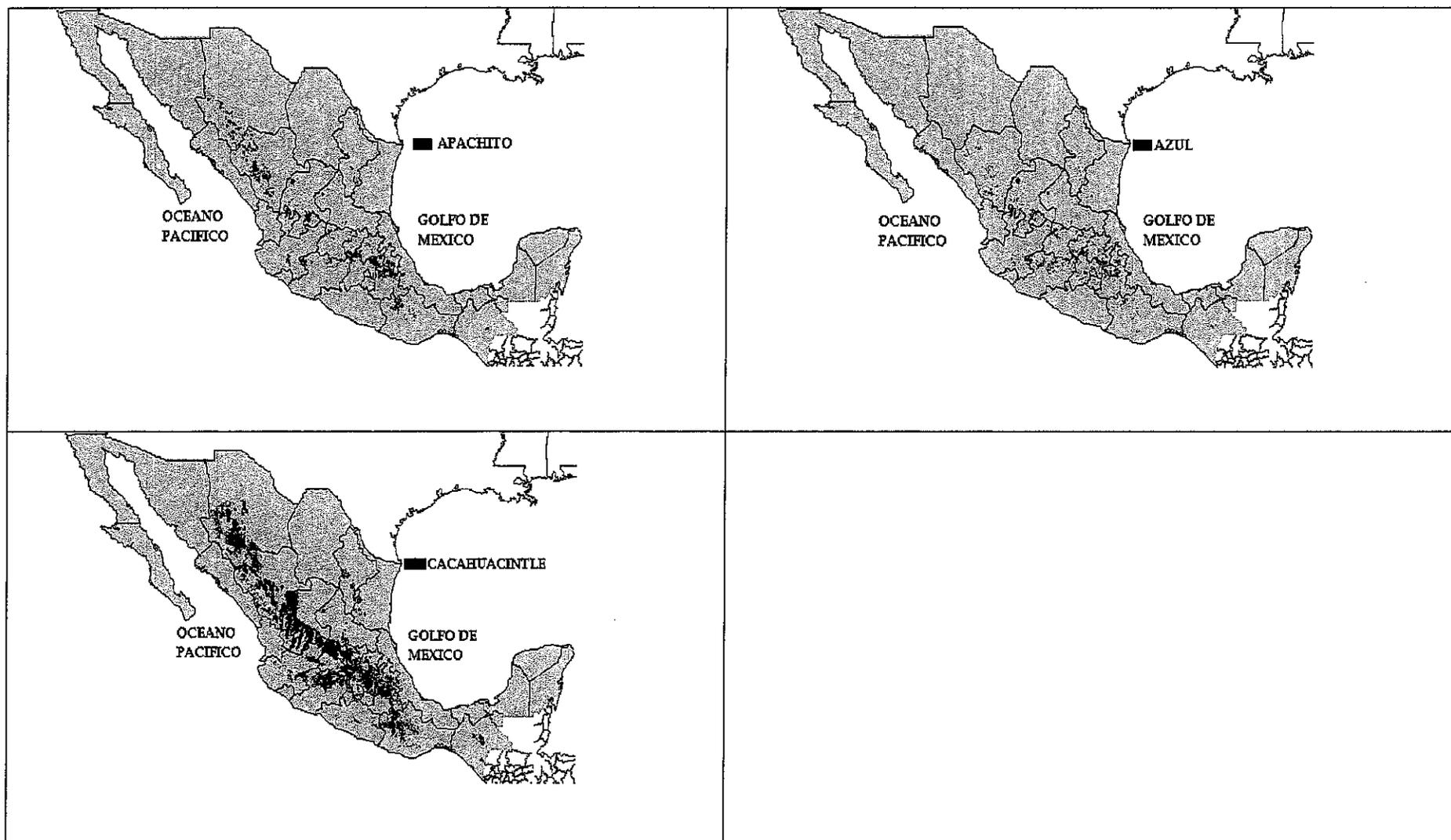


Figura 1d. Distribución real y potencial de las razas de maíz Apachito, Azul, Cacahuacintle y Palomero Toluqueño (Grupo 1).

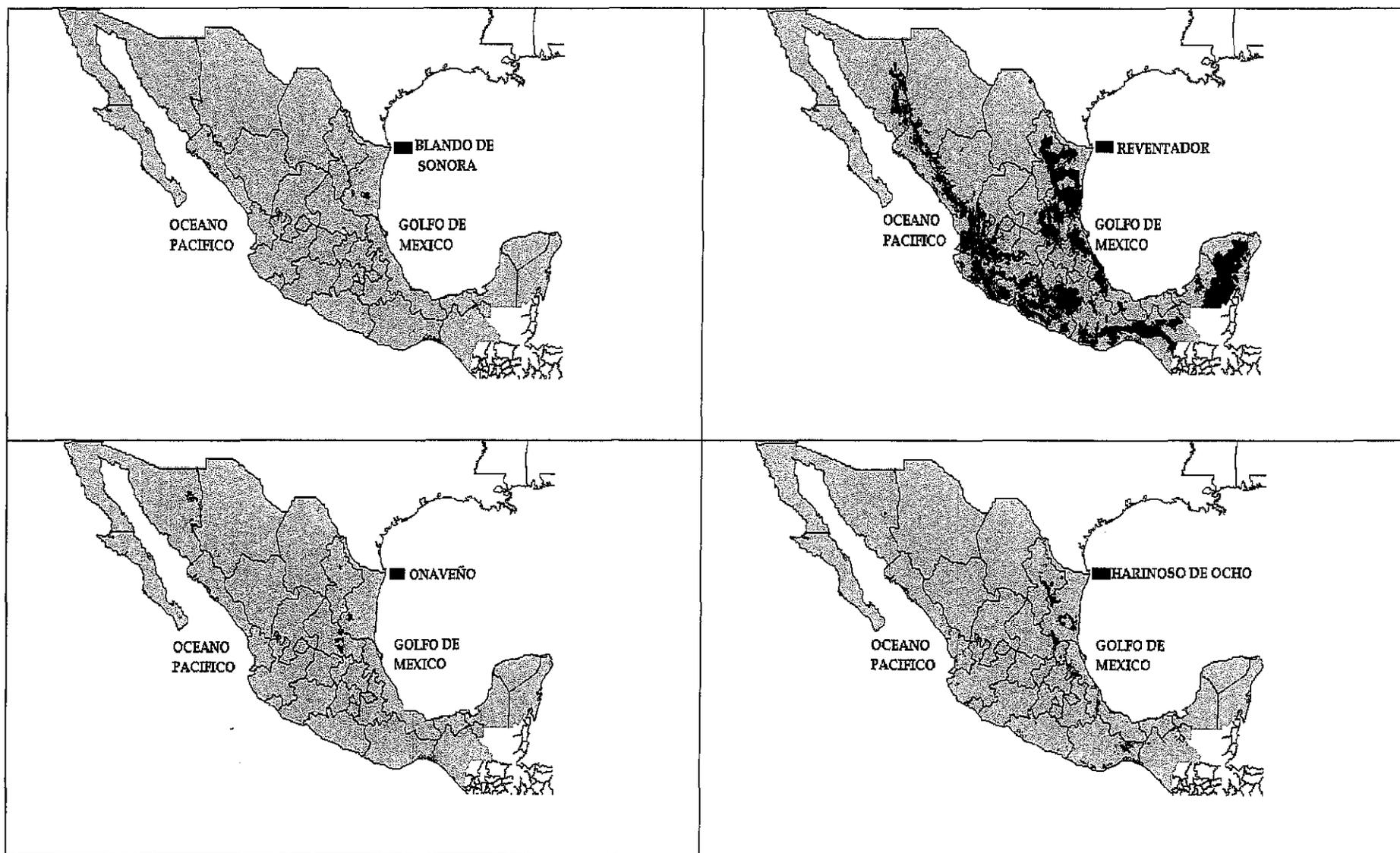


Figura 2a. Distribución real y potencial de las razas de maíz Blando de Sonora, Reventador, Onaveño y Harinoso de Ocho (Grupo 2).

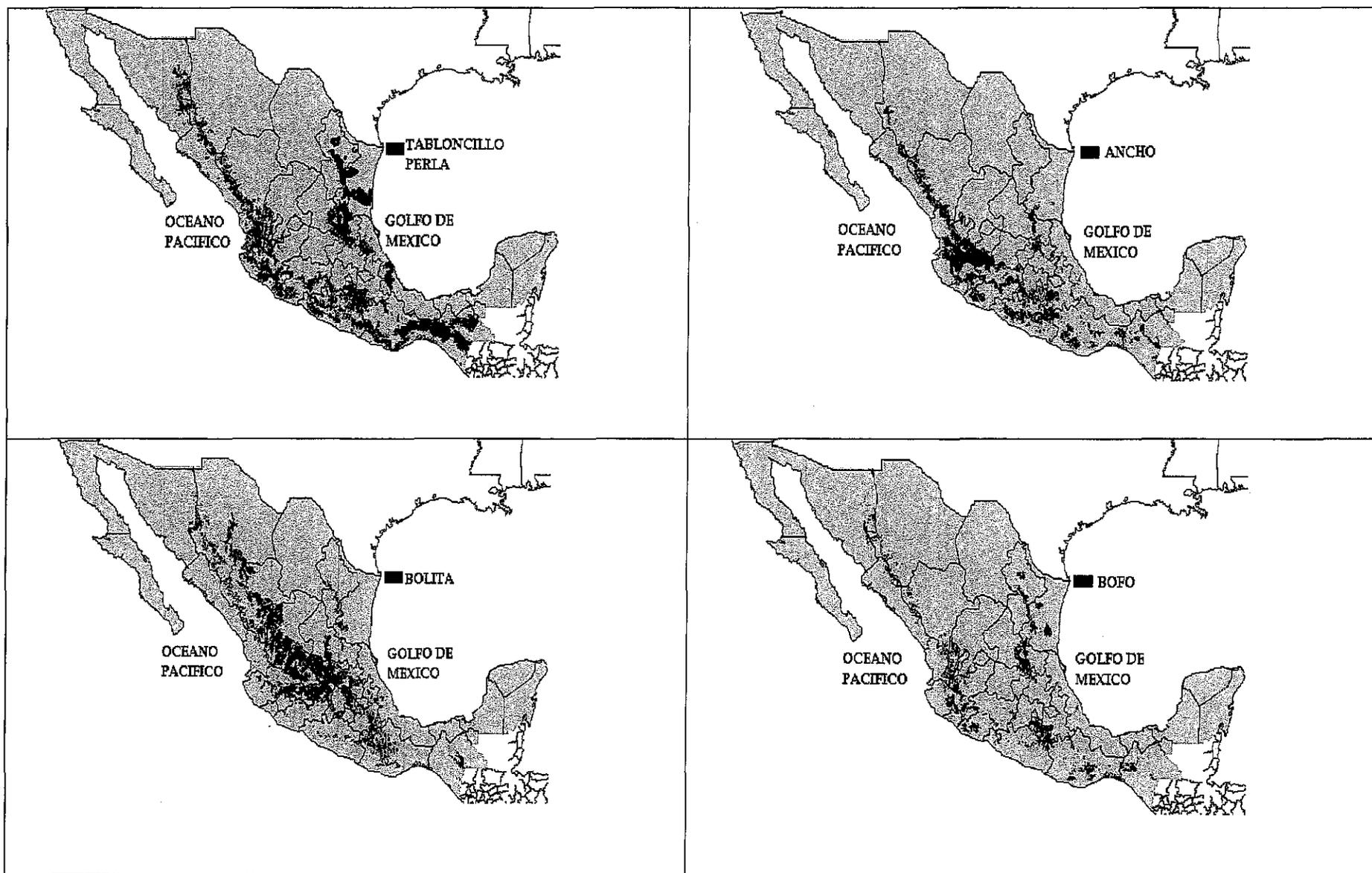


Figura 2b. Distribución real y potencial de las razas de maíz Tabloncillo Perla, Ancho, Bolita y Bofo (Grupo 2).

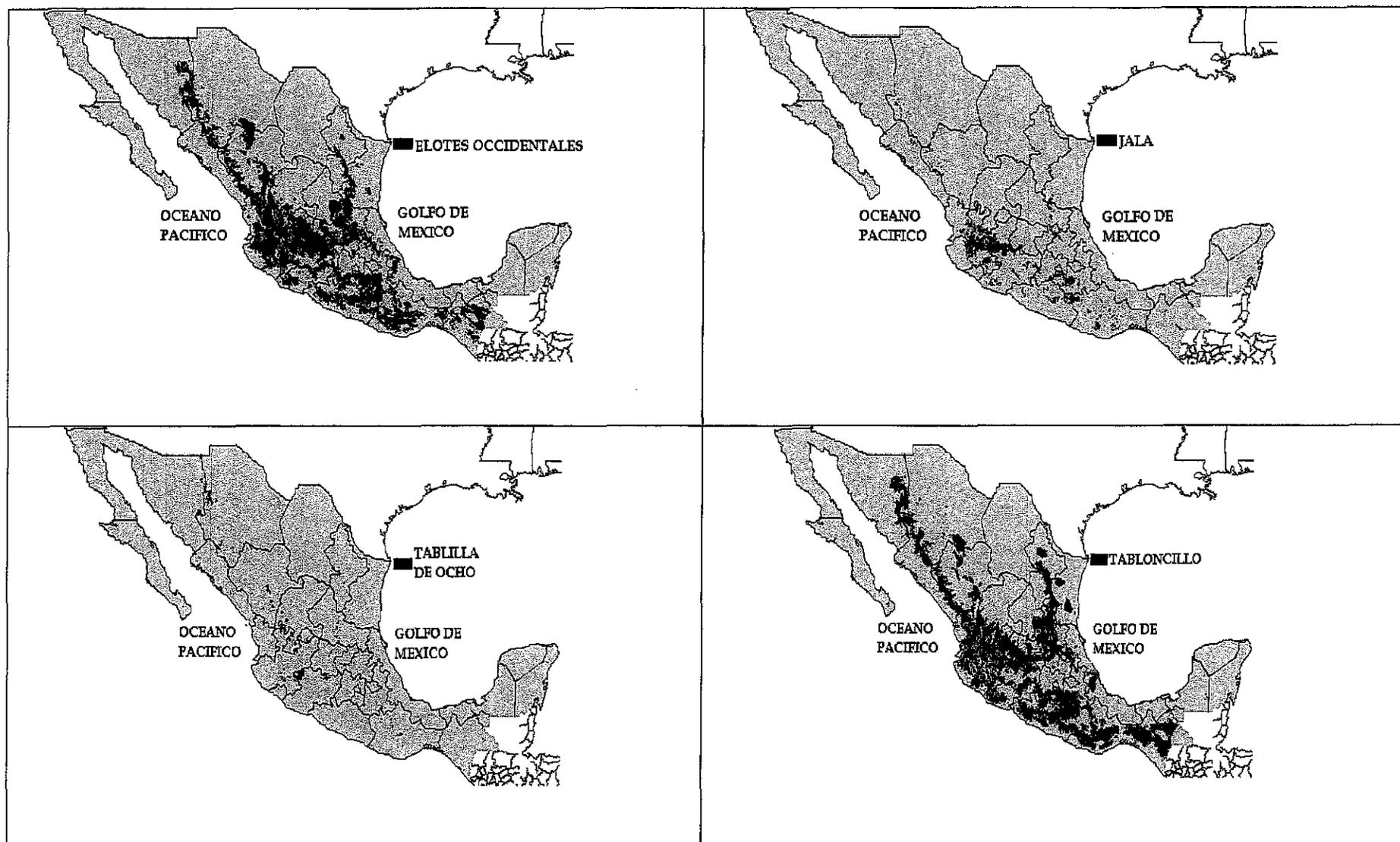


Figura 2c. Distribución real y potencial de las razas de maíz Elotes Occidentales, Jala, Tablilla de ocho y Tabloncillo (Grupo 2).

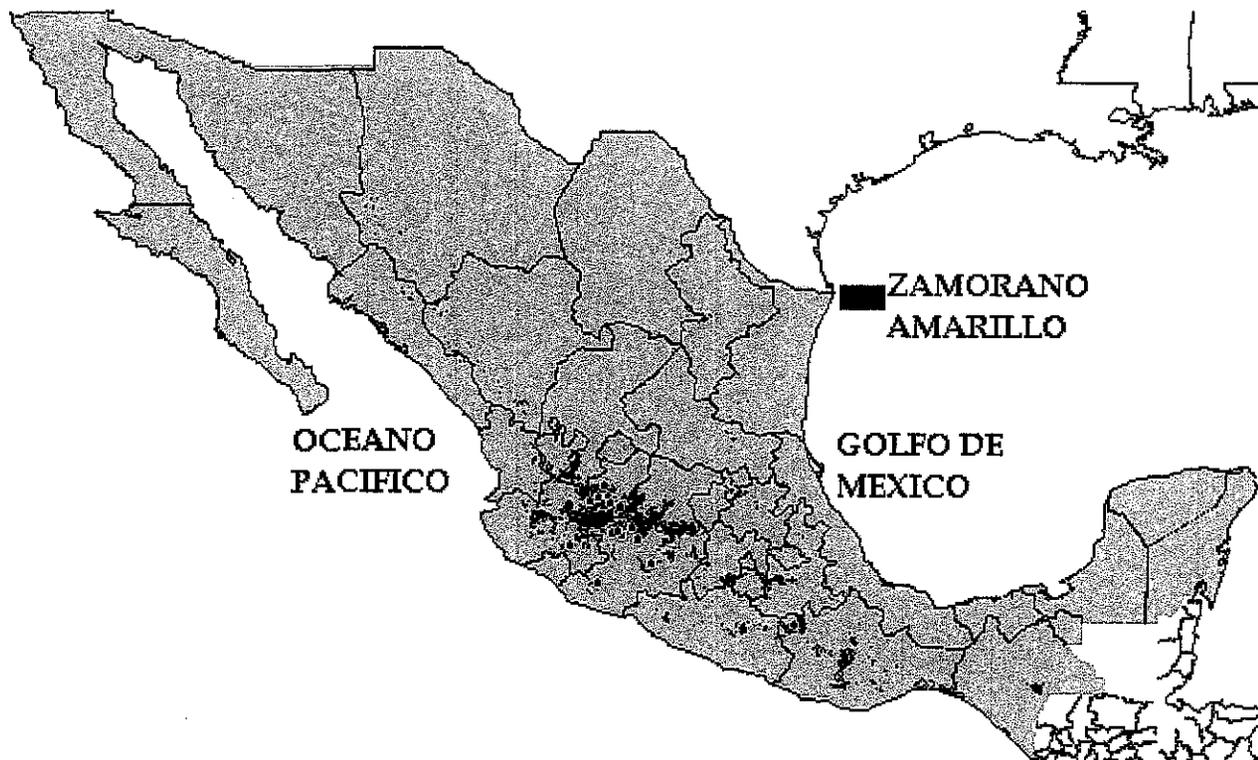


Figura 2d. Distribución real y potencial de la raza de maíz Zamorano Amarillo (Grupo 2).

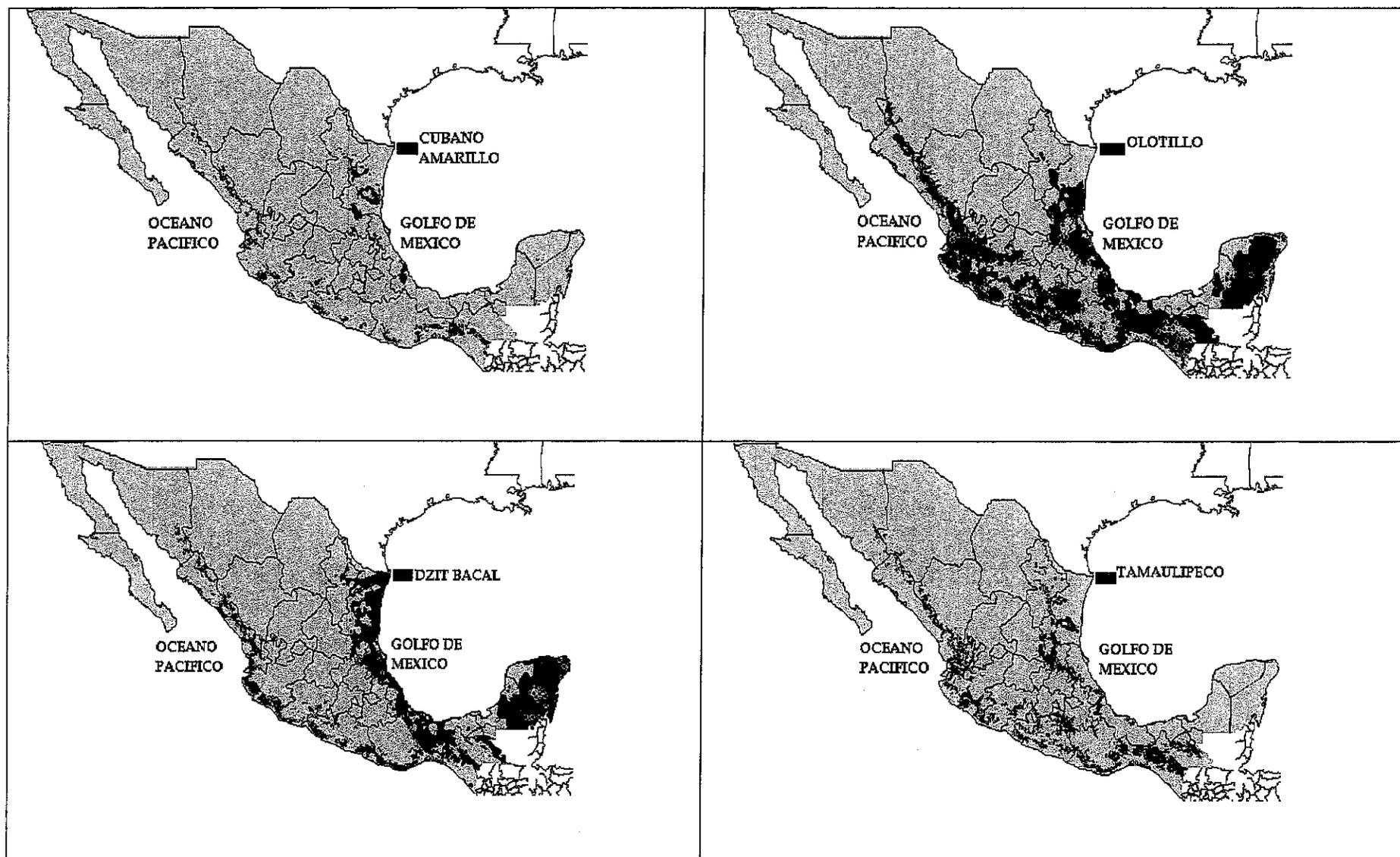


Figura 3a. Distribución real y potencial de las razas de maíz Cubano Amarillo, Olotillo, Dzit Bacal y Tamaulipeco (Ratón) (Grupo 3).

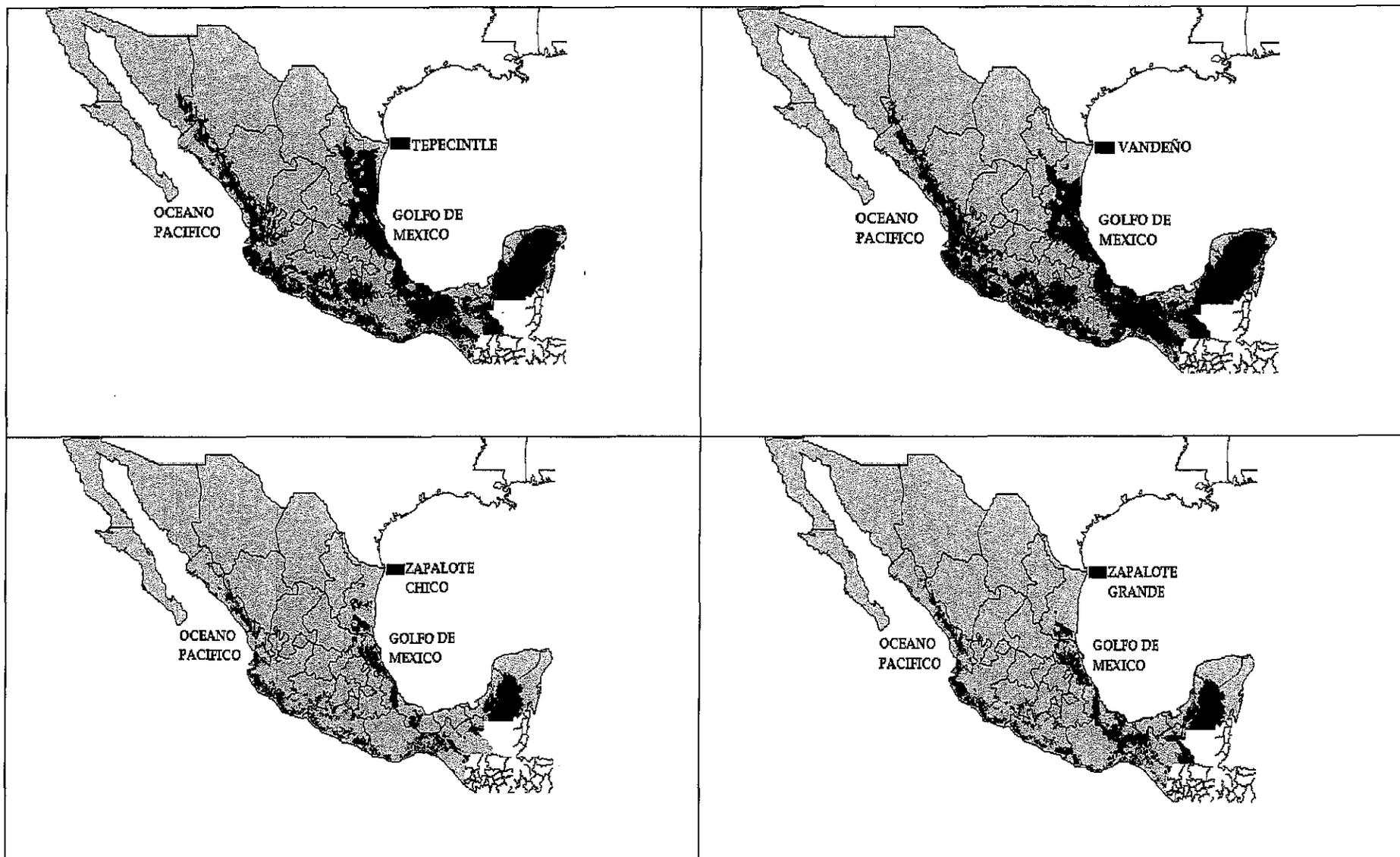


Figura 3b. Distribución real y potencial de las razas de maíz Tepecintle, Vandeño, Zapalote Chico y Zapalote Grande (Grupo 3).

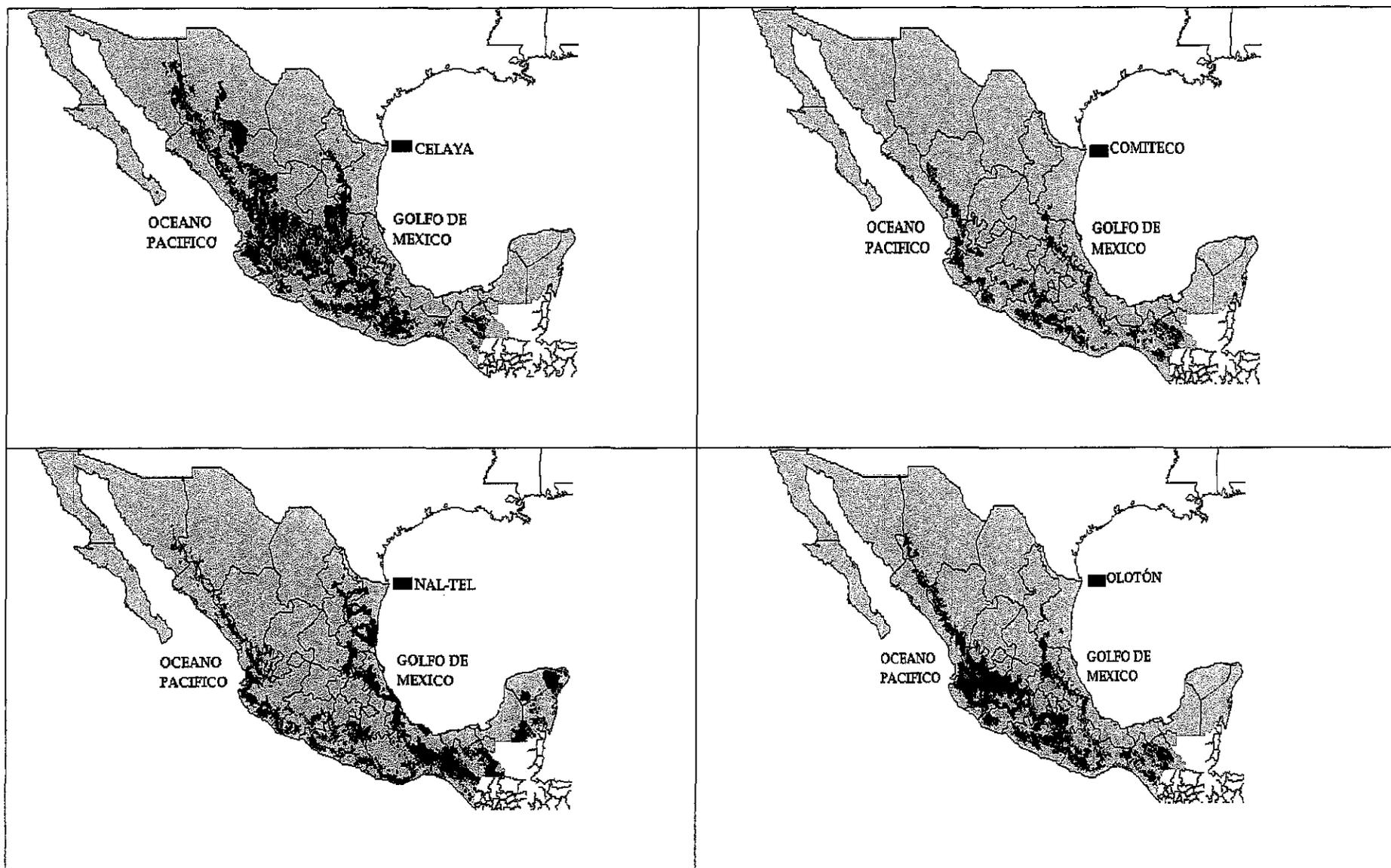


Figura 3c. Distribución real y potencial de las razas de maíz Celaya, Comiteco, Nal-Tel y Olotón (Grupo 3).

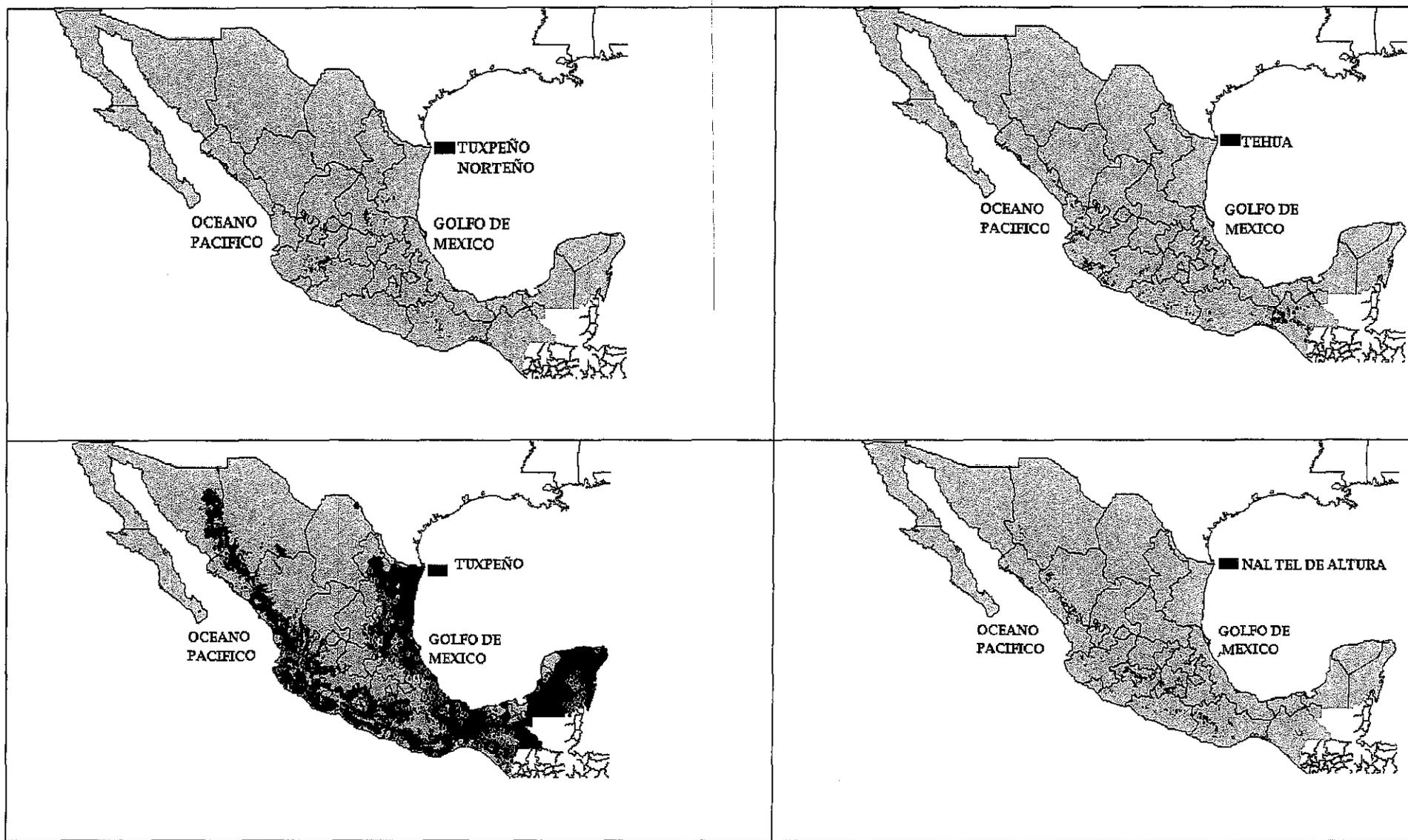


Figura 3d. Distribución real y potencial de las razas de maíz Tuxpeño Norteño, Tehua, Tuxpeño y Nal-Tel de Altura (Grupo 3).

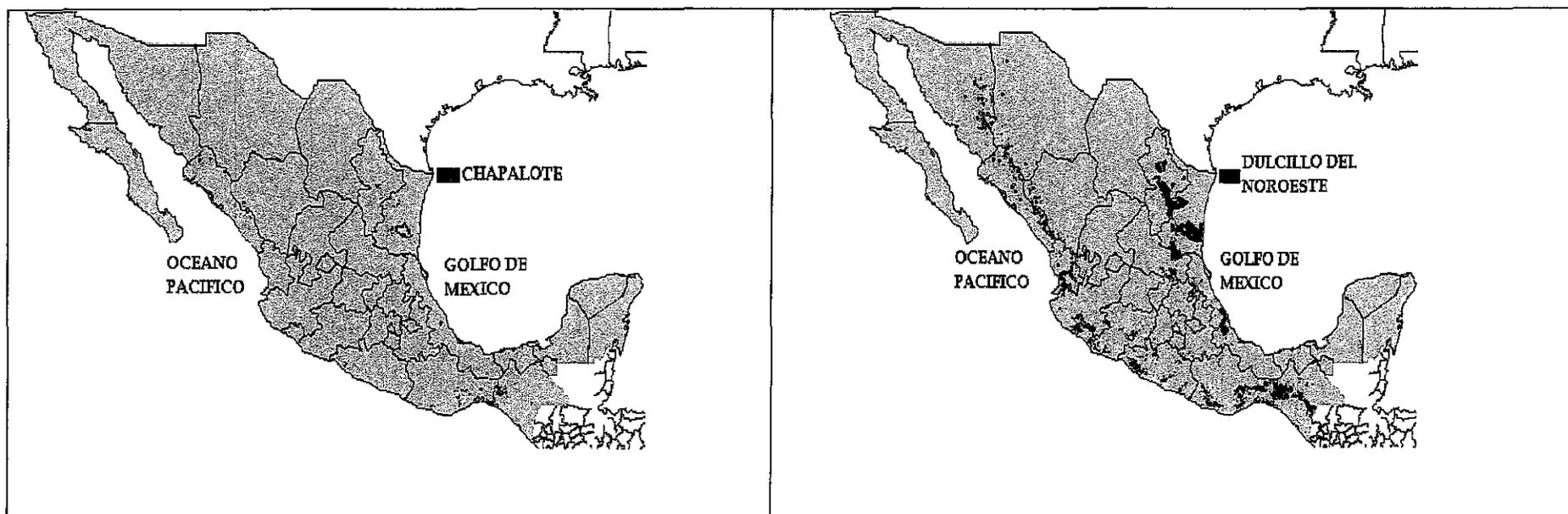


Figura 4a. Distribución real y potencial de las razas de maíz Chapalote y Dulcillo del Noroeste (Grupo 4).

6.4. Intervalos climáticos óptimos.

Como se mencionó en el capítulo de Materiales y Métodos, con los datos de caracterización climática de los sitios de recolección de cada accesión, se elaboraron histogramas para identificar el intervalo óptimo de altitud, temperatura media anual y precipitación acumulada promedio anual en 23 razas (las de mayor número de accesiones). En el Cuadro 6 se presentan los intervalos óptimos de altitud, temperatura media anual y lluvia anual para 23 razas de *Zea mays*. Ahí se observa que existen diferencias entre razas en cuanto a la preferencia de ambientes.

Estos datos podrían ser de utilidad para los colectores de germoplasma, ya que al buscar sitios dentro de estos intervalos óptimos, se tendría una mayor probabilidad de encontrar materiales correspondientes a dichas razas. También estos resultados serían de gran importancia en el diseño de programas de mejoramiento ya que podrían involucrarse materiales genéticos con potencial de adaptación en las áreas de interés.

Un aspecto a destacar con la información del Cuadro 6, es el hecho de que las agrupaciones raciales desde el punto de vista morfológico (Sánchez *et al.*, 2000), no necesariamente corresponden a agrupaciones desde el punto de vista de adaptación ambiental de las razas. Esto queda demostrado al analizar los intervalos óptimos de altitud, temperatura y lluvia de las razas, los cuales muestran valores diferentes entre razas aún dentro de un mismo grupo racial morfológico. Por lo que sería conveniente en el futuro cercano, realizar agrupaciones raciales considerando de manera adicional el criterio de adaptación ambiental y requerimientos agroecológicos de las diferentes razas.

Cuadro 6. Intervalos climáticos óptimos para 23 razas de maíz de México.

RAZA	Altitud (m)	Temp. media anual (°C)	Lluvia anual (mm)
GRUPO MORFOLOGICO 1			
Cristalino de Chihuahua	2000 a 2300	14 a 18	400 a 500
Arrocillo	2000 a 2600	14 a 18	700 a 1500
Cónico	2200 a 2500	14 a 18	500 a 900
Cónico Norteño	2000 a 2300	14 a 18	400 a 700
Chalqueño	2100 a 2400	14 a 18	500 a 1100
Mushito	1500 a 2100	18 a 22	600 a 1000
Elotes Cónicos	2100 a 2400	14 a 18	400 a 1000
Pepitilla	1100 a 1400	18 a 26	600 a 1200
GRUPO MORFOLOGICO 2			
Ancho	1200 a 1500	18 a 22	750 a 1150
Bolita	1250 a 2450	14 a 18	550 a 950
Tabloncillo Perla	0 a 600	18 a 26	400 a 1500
Tabloncillo	1500 a 1800	18 a 22	500 a 1300
Elotes Occidentales	1500 a 2100	18 a 22	500 a 900
GRUPO MORFOLOGICO 3			
Celaya	1700 a 2000	18 a 22	600 a 1000
Tuxpeño Norteño	1400 a 1700	18 a 22	400 a 500
Tuxpeño	0 a 300	22 a 26	800 a 1600
Vandeño	900 a 1200	22 a 26	700 a 1600
Comiteco	1500 a 1800	18 a 22	900 a 1300
Olotón	1400 a 1700	18 a 22	700 a 1900
Dzit Bacal	0 a 300	22 a 26	900 a 1500
Olotillo	600 a 900	22 a 26	900 a 2200
Nal-Tel	0 a 300	22 a 26	900 a 1700
Tepecintle	600 a 900	22 a 26	900 a 1800

6.5. Índices de diversidad.

El Cuadro 7 muestra el número de accesiones por entidad federativa y por raza. En esta parte del estudio se incluyeron 46 razas de maíz de México de las cuales, Cónico, Tuxpeño, Chalqueño, Cónico Norteño, Celaya, Elotes Cónicos,

Tabloncillo, Olotillo y Arrocillo, presentan el 71.8% de las accesiones con información geográfica y de clasificación racial, las cuales se colectaron principalmente en los estados de Puebla, Estado de México, Chiapas, Jalisco y Tlaxcala; mientras que los estados que menos datos aportaron a la muestra fueron: Yucatán, Colima, Nuevo León y Campeche.

Por otro lado las razas que aportaron menor número de accesiones a este estudio con un rango de 2 a 15 fueron Harinoso de Ocho, Nal-Tel de Altura, Palomero de Chihuahua, Azul, Cubano Amarillo, Tehua, Tablilla de Ocho, Gordo, Maíz Dulce, Tamaulipeco (Ratón) y Apachito.

En el Cuadro 8 se señala el número de accesiones, el número de razas y tres índices de diversidad para cada estado del territorio nacional. En total se consideraron 46 razas de *Zea mays* y 4128 accesiones. Estos índices se obtuvieron a partir de los datos totales por raza y por Estado (Cuadro 7); para hacer el análisis se utilizó el programa Species Diversity and Richness II. Los valores con asterisco son estadísticamente iguales con un 95% de confiabilidad.

La riqueza de especies, medida por el número de razas (Cuadro 8), fue mayor en Durango, Jalisco, Oaxaca, Chihuahua, Michoacán, Veracruz y Puebla. En el mismo Cuadro 8, se pueden ver los resultados arrojados del análisis de diversidad mediante los tres métodos utilizados. De acuerdo con el índice de Margalef, sobresalen Chihuahua, Durango, Michoacán y Oaxaca como las entidades con mayor diversidad.

Los índices de Simpson y Shannon, que involucran tanto aspectos de riqueza como de dominancia, consideran a Michoacán, Oaxaca y Sinaloa como los Estados con mayor diversidad de especies, Yucatán y Coahuila con los índices de menor diversidad, índice de Shannon.

Cuadro 7. Número de accesiones por raza y entidad federativa para 46 razas de maíz en México.

Raza	1	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	Total	
1. Ancho								3		20				37																	60
2. Apachito						14	1																								15
3. Arrocillo											14							51								4	37				106
4. Azul						3		2																							5
5. Blando de Sonora						1																9	10								20
6. Bofo							7					3			13							1									24
7. Bolita					1	7	2				3						25	13									2				53
8. Cacahuacintle								11			4		1					10								3	3				32
9. Celaya	2		1			3	6	1	52		5	166	12				2	5	6		2						2	9			274
10. Chalqueño	3					1	15	203	4		9	7	13	2			12	47	4		1					18	8	21			368
11. Chapalote							3															13	2								18
12. Comiteco					50												1								1						52
13. Cónico					1			199			95	27	21	2			12	337	2							194	56	1			947
14. Conico Norteño	31					9	67	1	53		8	32				2	1	3	30		1								77		315
15. Cristalino de Chihuahua						61	4																								65
16. Cubano Amarillo					5										1							1									7
17. Maíz Dulce									2			7	1																2		13
18. Dulcillo del Noroeste						3	2								1								13	6							25
19. Dzit Bacal		5			1															40	2				3		4	1			56
20. Elotes Cónicos	1							7	12		11	1	2				3	61	4							27	4		3		136
21. Elotes Occidentales				1			4	1			3	13	2					1	1		3								9		38
22. Gordo						9	2																								11
23. Harinoso de Ocho																					1		1								2
24. Jala												3			19																22
25. Mushito									1		5		10					11										34			61
26. Nal-Tel de Altura																	3														3
27. Nal- Tel		2			18					1							7			27	1			1	1		1				59
28. Olotillo					81		1			3	2		8	3	4		10	4		1	20			1			1				139

Raza	1	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	Total
29. Olotón					43						1						30										2			76
30. Onaveño																						2	18							20
31. Palomero de Chihuahua						3																								3
32. Palomero Toluqueño						2		3									1	4								7	1			18
33. Pepitilla							1			17		1	1	43	1			8												72
34. Reventador							1			3		2	1		4							12	7							30
35. Tabloncillo Perla						2	6					4			22							24	19							77
36. Tablilla de Ocho							3					3																5	11	
37. Tabloncillo	1			1		6	14			1		80	7		11						5	2						3	131	
38. Tamaulipeco (Ratón)							2								2	5						3			2		1			15
39. Tehua					8																									8
40. Tepecintle					27					2							18				4									51
41. Tuxpeño Norteño			21											1											1					23
42. Tuxpeño		5		2	162	1	6			15	8	13	1	12	36	4	11	25		43	79	13	3	17	19		73		548	
43. Vandeño					5					28		2	7		2		2							3						49
44. Zamorano Amarillo												7	9																	16
45. Zapalote Chico					4												30													34
46. Zapalote Grande					15												4							1						20
totales	38	12	22	4	420	119	152	432	125	90	165	374	96	100	116	11	172	580	47	115	115	94	66	24	26	253	229	1	130	4128

1. Aguascalientes	09. Distrito Federal	17. Morelos	25. Sinaloa
2. Baja California	10. Durango	18. Nayarit	26. Sonora
3. Baja California Sur	11. Estado de México	19. Nuevo León	27. Tabasco
4. Campeche	12. Guanajuato	20. Oaxaca	28. Tamaulipas
5. Coahuila	13. Guerrero	21. Puebla	29. Tlaxcala
6. Colima	14. Hidalgo	22. Querétaro	30. Veracruz
7. Chiapas	15. Jalisco	23. Quintana Roo	31. Yucatán
8. Chihuahua	16. Michoacán	24. San Luis Potosí	32. Zacatecas

Cuadro 8. Índices de diversidad de razas de maíz, en 29 estados de la República Mexicana.

Estado	Accesiones por Estado	Número de razas	Índices de diversidad		
			Margalef	Simpson	Shannon
1. Aguascalientes	38	5	1.0996	1.4989	0.71296
4. Campeche	12	3	0.80486	3.1429	1.0282
5. Coahuila	22	2	0.32352	1.1	0.18491
6. Colima	4	3	1.4427	6	1.0397
7. Chiapas	420	13	1.9867	4.6136	1.857
8. Chihuahua	119	15	2.9294*	3.4723	1.8046
10. Durango	152	19	3.5829*	4.563	2.1251
11. Estado de México	432	10	1.483	2.3108	1.019
12. Guanajuato	125	7	1.2427	2.7908	1.2072
13. Guerrero	90	9	2.7779	4.908	1.7223
14. Hidalgo	165	12	2.1544	2.8587	1.6192
15. Jalisco	374	18	2.8696	3.8878	1.8384
16. Michoacán	96	15	3.067*	8.9941*	2.3086*
17. Morelos	100	7	1.3029	3.0183	1.2929
18. Nayarit	116	12	2.314	5.657	1.9386
19. Nuevo León	11	3	0.83406	3.2353	1.0362
20. Oaxaca	172	17	3.108*	9.249*	2.3909*
21. Puebla	580	14	2.043	2.737	1.5425
22. Querétaro	47	6	2.314	2.335	1.185
23. Quintana Roo	115	5	0.834	3.2132	1.2335
24. San Luis Potosí	115	10	1.8968	1.994	1.0996
25. Sinaloa	94	12	2.421	7.084*	2.0755
26. Sonora	66	8	1.67	5.244	1.764
27. Tabasco	24	6	1.5733	1.9856	1.0339
28. Tamaulipas	26	5	1.2277	1.8571	0.92631
29. Tlaxcala	253	6	0.90361	1.6556	0.84785
30. Veracruz	229	15	2.5743	4.798	1.8294
31 Yucatán	1	1	0	1	0
32. Zacatecas	130	9	1.6435	2.6	1.374

*Valores significativamente superiores al resto ($P < 0.05$)

Con la finalidad de investigar la distribución de la diversidad respecto a factores climáticos, el país se dividió en tipos climáticos, según el esquema de clasificación climática INIFAP (Medina *et al.*, 1998). En el Cuadro 9 se muestra el número de accesiones por raza y tipo climático, mientras que en el Cuadro 10 se describen los resultados obtenidos para tres índices de diversidad de acuerdo al tipo climático; los cálculos para obtener los índices de diversidad se basaron en datos acumulados de las accesiones en cada una de las áreas de los Estados que conforman cada tipo climático.

La mayor riqueza de especie, medida por el número de razas, fue mayor en los tipos climáticos Subtrópico subhúmedo templado (tipo 11), Subtrópico semiárido templado (tipo 10), Subtrópico semiárido semicálido (tipo 14), Subtrópico subhúmedo semicálido (tipo 15), Trópico subhúmedo cálido (tipo 27) y Trópico semiárido cálido (tipo 26), y El índice de Margalef, reporta mayor riqueza y dominancia en los climas; Subtrópico subhúmedo semicálido (tipo 15) y Trópico semiárido cálido (tipo 26) En contraparte los tipos climáticos que menor diversidad reportan son el Subtrópico subhúmedo cálido (tipo 19) y el Trópico árido cálido (tipo 25) con tan solo 4 y 8 accesiones y solamente 2 razas (Cuadro 10).

Los índices de Simpson y Shannon, por su parte reportan que los tipos climáticos Subtrópico arido semicálido (tipo 13), Subtrópico subhúmedo semicálido (15), Subtrópico semiárido cálido (tipo 18), y Trópico semiárido cálido (tipo 26), son los que tienen mayor diversidad de especies y los tipos climáticos que menor diversidad tienen son el Subtrópico subhúmedo cálido (tipo 19) y el Trópico árido cálido (tipo 25) (Cuadro 10).

Cuadro 9. Número de accesiones por raza y tipo climático, para 46 razas de maíz en México.

Raza	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	Total	
Ancho							3				22								19				14			1	1		60	
Apachito						11	4																						15	
Arrocillo					10	10	37	48		1																			106	
Azul						3	2																						5	
Blando de Sonora										4			8	8															20	
Bofo										5	1			14									2	2					24	
Bolita					4	16	21			6	6																		53	
Cacahuacintle					5	5	20	2																					32	
Celaya					13	65	15	2	9	123	41	1								1			1	3					274	
Chalqueño					31	80	221	11	3	12	5	1				1						3							368	
Chapalote										4			1	6								6	1						18	
Comiteco							18	4			16	5								1	2			3	1		1	1	52	
Cónico					113	218	516	57	1	20	9	11								2									947	
Cónico Norteño					114	120	15	1	19	43	2											2							315	
Cristalino de Chihuahua					15	46	4																						65	
Cubano Amarillo														1									5				1		7	
Maíz Dulce					1	3	1		1	4				1								2							13	
Dulcillo del Noroeste						1				5			2	6								11							25	
Dzit Bacal							1		2						1	1				1			39	5		1	5		56	
Elotes Cónicos					19	24	68	6	7	9	3																		136	
Elotes Occidentales					4	10	2	2	1	9	5											2	2	1					38	
Gordo					1	8	2																						11	
Harinoso de Ocho													1											1					2	
Jala											8											1	13						22	
Mushito						2	32	19			1	7																	61	
Nal-Tel de Altura							3																						3	
Nal-Tel							2						1									4		40	1		1	7	3	59

Raza	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	Total
Otollito							2	1		3	11	4				3			13			1	79	14		2	5	1	139
Olotón						5	25	18			8	6							4	2			5	3					76
Onaveño						2			1	3			7	7															20
Palomero de Chihuahua					1	2																							3
Palomero Toluqueño					2	3	11	1				1																	18
Pepitilla					1	2	2	2	7	1	3			2					3				45			1	3		72
Reventador							1			2			7	5								3	8			2	2		30
Tabloncillo Perla									1	12	5		15	9								10	19			1	5		77
Tablilla de Ocho						3			1	7																			11
Tabloncillo					1	7	14			18	46			8					8			8	19				2		131
Tamaulipeco (Ratón)									1	4	1		1	5		1						2							15
Tehua											2												2	1			2		8
Tepecintle											1		1						1	2	3	2	28			1	10	2	51
Tuxpeño Norteño						7			14										1			1							23
Tuxpeño					2		8	22	4	50	35	19	2	21	7	12			14			1	15	206	51	3	42	34	548
Vandefío						1	1				3											2	7			15	14	6	49
Zamorano Amarillo						2	5			4	4								1										16
Zapalote Chico																						2	3			11	18		34
Zapalote Grande																						1	7				9	3	20
total					337	656	1056	196	72	348	238	55	46	93	8	18			74	6	4	77	550	78		39	127	50	4128

TIPOS CLIMÁTICOS (Medina et al., 1998).

5 Templado árido frío	12 Subtrópico húmedo templado	19 Subtrópico subhúmedo cálido	26 Trópico semiárido cálido
6 Templado semiárido frío	13 Subtrópico árido semicálido	20 Subtrópico húmedo cálido	27 Trópico subhúmedo cálido
7 Templado subhúmedo frío	14 Subtrópico semiárido semicálido	21 Trópico árido semicálido	28 Trópico húmedo cálido
8 Templado húmedo frío	15 Subtrópico subhúmedo semicálido	22 Trópico semiárido semicálido	29 Trópico árido muy cálido
9 Subtrópico árido templado	16 Subtrópico húmedo semicálido	23 Trópico subhúmedo semicálido	30 Trópico semiárido muy cálido
10 Subtrópico semiárido templado	17 Subtrópico árido cálido	24 Trópico húmedo semicálido	31 Trópico subhúmedo muy cálido
11 Subtrópico subhúmedo templado	18 Subtrópico semiárido cálido	25 Trópico árido cálido	32 Trópico húmedo muy cálido

Cuadro 10. Índices de diversidad de razas de maíz, en 21 tipos climáticos presentes en la República Mexicana.

Tipo Climático	Accesiones		Margalef	Simpson	Shannon
	por tipo climático	Número de razas			
9	337	17	2.749	4.145	1.7981
10	656	26	3.854	5.696	2.1882
11	1056	29	4.021	3.44	1.8495
12	196	15	2.652	5.69	2.0104
13	72	15	3.273	7.3*	2.1914
14	348	23	3.759	5.902	2.3126
15	238	23	4.0203*	9.369*	2.5408*
16	55	9	1.996	5.341	1.8203
17	46	11	2.612	5.847*	1.9314
18	93	13	2.647	9.2*	2.3118
19	8	2	0.4809	1.334	0.3767
20	18	5	1.3839	2,217	1.0507
23	74	15	3.2527	7.03*	2.16
24	6	3	1.1162	5	1.098
25	4	2	0.721	2	0.562
26	77	20	4.374*	11.168*	2.589*
27	550	22	3.328	5.45	2.2118
28	78	9	1.836	2.17	1.167
30	39	11	2.729	4.49	1.79
31	127	16	3.096	6.44	2.214
32	50	7	1.533	2.10	1.139

*Valores significativamente superiores al resto ($P < 0.05$)

Además de estas dos estimaciones de diversidad, la República Mexicana se dividió en estratos altitudinales, siguiendo el esquema de los fitomejoradores del maíz en México (Cuadro 3).

En el Cuadro 11 se muestra el número de accesiones de cada raza presentes por estrato altitudinal. En tanto, en el Cuadro 12 se describen los valores de los índices de diversidad para cada estrato altitudinal. Como puede verse en este cuadro, tanto por el número de especies como por el valor de los índices de diversidad se deduce que la mayor riqueza de especies se da en el estrato 2, es decir en una altitud que va de los 1000 a los 1900 m, señalando muy probablemente que en este intervalo altitudinal se encuentran de manera natural las condiciones idóneas para *Zea mays*

Cuadro 11. Número de accesiones por raza y estrato altitudinal, para 46 razas de maíz en México.

Raza	Zona Tropical	Zona Subtropical	Zona de Transición	Zona de Valles altos	Total
1. Ancho	5	43	12		60
2. Apachito		1	2	12	15
3. Arrocillo		15	31	60	106
4. Azul		1	2	2	5
5. Blando de Sonora	20				20
6. Bofo	14	10			24
7. Bolita		20	20	13	53
8. Cacahuacintle			3	29	32
9. Celaya	1	207	62	4	274
10. Chalqueño		41	60	267	368
11. Chapalote	18				18
12. Comiteco	5	45	2		52
13. Cónico		58	144	745	947
14. Cónico Norteño		104	166	45	315
15. Cristalino de Chihuahua		12	34	19	65
16. Cubano Amarillo	7				7
17. Matz Dulce		9	4		13
18. Dulcillo del Noroeste	25				25
19. Dzit Bacal	56				56
20. Elotes Cónicos		19	36	81	136
21. Elotes Occidentales	3	26	9		38
22. Gordo		1	6	4	11
23. Harinoso de Ocho	2				2
24. Jala		22			22
25. Mushito		45	9	7	61
26. Nat-Tel de Altura		1	1	1	3
27. Nat-Tel	57	2			59
28. Olotillo	114	25			139
29. Olotón	8	41	15	12	76
30. Onaveño	19	1			20
31. Palomero de Chihuahua			3		3
32. Palomero Toluqueño			1	17	18
33. Pepitilla	17	52	3		72
34. Reventador	28	2			30
35. Tabloncillo Perla	70	7			77
36. Tablilla de Ocho		7	4		11
37. Tabloncillo	22	101	8		131
38. Tamaulipeco (Ratón)	13	2			15
39. Tehua	8				8
40. Tepecintle	47	4			51
41. Tuxpeño Norteño		23			23
42. Tuxpeño	548				548
43. Vandeño	40	9			49
44. Zamorano Amarillo		13	3		16
45. Zapalote Chico	34				34
46. Zapalote Grande	20				20
total	1201	969	640	1318	4128

Cuadro 12. Índices de diversidad de razas de maíz, en los estratos altitudinales presentes en la República Mexicana.

Clave	Estratos altitudinales	Accesiones por estrato altitudinal	Número de razas	Índices		
				Margalef	Simpson	Shannon
1	0-1000	1201	26	3.5256	4.3328	2.2174
2	1000-1900	969	33	4.6537*	11.407*	2.8233*
3	1900-2200	640	25	3.7143	6.8592	2.3257
4	2200-3000	1318	16	2.088	2.7155	1.4839

*Valores significativamente superiores al resto ($P < 0.05$)

VI. CONCLUSIONES

México presenta alto potencial de distribución para *Zea mays*, ya que de los 28 tipos climáticos del país, esta especie (a través de las 46 razas estudiadas) se encuentra presente en 21. Estos datos indican la amplia adaptación de *Zea mays* a las diferentes condiciones climáticas del país.

La raza con un mayor ámbito de distribución es Tuxpeño, ya que se adapta a 19 de las 28 variantes climáticas de México. Otras razas de buena adaptabilidad son Olotillo que se adaptan a 13 tipos climáticos, Pepitilla y Celaya que se distribuyen en 12 y 11 ambientes climáticos respectivamente. El grupo racial morfológico 3 y el grupo racial geográfico 4 (Dentados Tropicales) son los que presentan mayor distribución climática, básicamente por la inclusión de la raza Tuxpeño en dichos grupos.

Los climas más propicios para *Zea mays* son los subtropicales y tropicales con regímenes térmicos templado, semicálido y cálido, y regímenes hídricos subhúmedo y semiárido.

En todas las razas estudiadas, las áreas potenciales de distribución son más extensas que las áreas donde se ubican puntos de accesión, lo cual denota posibilidades de encontrar ejemplares de dichas razas en áreas diferentes a donde hasta la fecha han sido reportadas. La realización de un mayor número de accesiones, sobre todo en las razas que presentan hasta hoy un número reducido de éstas contribuiría a precisar la caracterización de los rangos climáticos de adaptación de las razas y con ello a lograr una mejor caracterización de las áreas actuales y potenciales de distribución de las razas de maíz.

De acuerdo con los criterios de número de especies (razas) y los índices de Margalef, Simpson y Shannon, los estados con mayor riqueza y diversidad de *Zea mays* son Michoacán y Oaxaca.

La mayor riqueza de *Zea mays* medida por el criterio número de razas tanto por los tres índices de diversidad utilizados se encontró en los tipos climáticos Subtrópico subhúmedo semicálido y Trópico semiárido cálido.

Tanto por el número de especies (razas) como por el valor de los índices de diversidad se deduce que la mayor riqueza de especies se da en el estrato altitudinal que va de los 1000 a los 1900 m.

VII. BIBLIOGRAFIA

- AGUILAR, J. 1982.** Nuevas técnicas de cultivo, Los libros del maíz. México: Editorial Arbol.
- ANDERSON, E. AND H.C. CUTLER. 1942.** Races of *Zea mays*: I. Their recognition and classification. Ann. Mo. Bot. Gard. 29:69-88.
- ANDERSON, E. 1943.** Races of *Zea mays*. II. A general survey of the problem. Acta Americana 1: 58-68.
- ANDERSON, E. 1944.** Homologies of the ear and tassel in *Zea mays*. Ann. Bot. Gard. 31:325-344.
- ANDERSON, E. 1945.** Maize in the New Worl. pp. 27-42 in C.M. Wilson (de.), New Crops for New World. Mac millan, New York. 295 p.
- ANDERSON, E. 1946.** Maize in Mexico. A preliminary survey. Ann. Mo. Bot. Gard. 33:147-247
- ANDERSON, E. 1947.** Field studies of Guatemala maize. Ann. Mo. Bot. Gard. 34: 433- 467.
- BEADLE G.W. 1980.** The ancestry of corn. Science Am. 242:112-119.
- BENZ, B.F. 1986.** Taxonomy and evolution of Mexican maize. Unpublished Ph. D. Dissertation, University of Wisconsin, Madison. 433p.
- BELLON M R., G. TZOZOS y P. THOMPSON. 2004.** Chapter 8: A frame work for judging potential benefits and risks. In: Symposium of Maize and biodiversity: The effects of transgenic maize in Mexico. Oaxaca, Oax., México.
- BRIEGER, F.G., J.T.A. GURGEL, E. PATERNIANI, A. BLUMENSCHHEIN, AND M.R.**
- BROWN, W. L. AND E. ANDERSON. 1947.** The northern flint corns. Ann. Mo. Bot. Gard. 34: 1-29.
- BROWN, W. L. AND E. ANDERSON. 1948.** The southern dent corns. Ann. Mo. Bot. Gard. 35: 255-274.
- CARROLL C.W. , ZIELISNKI J. AND NOSS R.F. 1999.** Using presence-absence data to build and test spatial habitat models for the fisher in the Klamath Region, USA. Conserv. Biol., 13: 1344-1359.

- CARTER, G.F. AND E. ANDERSON. 1945.** A preliminary survey of maize in Southwestern United States. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 32:297-322.
- CHAVEZ, E. 1913.** El cultivo del maíz. Secretaría de Fomento. Dirección general de Agricultura, Boletín 74 (Estación Agrícola Central). México.
- COCKS PS, TAM EHRMAN. 1987.** The geographic origin of frost tolerance in Siberian pasture legumes. *Journal of Applied Ecology* 24:673-683.
- COLLINS, G.N. 1918.** Maize: its origen and relationships. *J. Wash. Acad.* 8:42-43.
- COLUNGA-GARCIA M., P. y D. ZIZUMBO V. 1993.** Evolución bajo agricultura tradicional y sustentable. En: *Cultura y manejo sustentable de los recursos naturales*. Vol. I, 123-163.
- COWLEY M.J.R., WILSON R.J., LEON-CORTEZ J.L., GUTIERREZ D.C., BULMAN R. AND THOMAS C.D. 2000.** Habitat-based statistical models for predicting the spatial distribution of butterflies and day-flying moths in a fragmented landscape . *J. Appl. Ecol.*, 37:60-72.
- CUTLER, H.C. 1946.** Races of maices in South America. *Bot. Mus. Leaflets, Harvard Univ.* 12: 257-299.
- DETENAL. 1974.** Cartas topográficas escala 1:50,000. Edición individual. Dirección de Estudios del Territorio Nacional. Secretaría de Programación y Presupuesto. Gobierno Federal. México, D.F.
- DOEBLEY, J.F., 2004.** The genetics of maize evolution. *Annual Review of Genetics* . 38:37-59.
- DOORENBOS J., KASSAM A.H. 1979.** Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje No. 33. FAO. Roma. 212p.
- EASTMAN, J.R. 1999.** Idrisi32. Guide to GIS and image processing. Volumen 2. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA, USA. 169 p.
- FRITZ G. 1995.** New dates and data on early agriculture the legacy of complex hunter gatherers. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 82:3-15.
- GALINAT W.C. 1988.** The origin of Maíz de Ocho. *American Antrhopologist* 90:682-683.
- GALINAT W.C. 1995.** The origin of Maize grain of humanity. *Economy Botany* 49(1):3-12

- GONZALEZ DE C.M. 1984.** Especies Vegetales de Importancia Económica en México. Ed. Porrúa. México, D. F. 305p.
- GOODMAN M.M. 1988.** The history and evolution of maize. CRC critical review in plant sciences, vol. 7, issue 3, pp.197-220.
- GOODMAN M.M. AND H.G.WILKES. 1995.** Mystery and Missing Links: The origin: of Maize. In: Taba S. Maize Genetic:Resources. Technical Editor. CYMMIT, Mexico.
- GUARINO.L., JARVIS A., HIJMANS R.J., MAXTED N. 2002.** Geografic information systems and the conservation and use of plant genetic resourses. In: managing plant Genetic Diversity. J M M Engels, J R Rao, A H D Brown, M T Jackson (eds). CABI Publishing. New York, USA. Pp:387-404.
- GRANT U., W. HATHEWAY, D. TIMOTHY, C. CASALETT Y L. ROBERTS. 1965.** Razas de maíz de Venezuela. ICA, OIE, EDT ABC. Bogotá, Colombia. pp. 92.
- HARSHBERGER, J.W. 1899.** Cruzamiento fecundo del teosintle y el maíz. Bol. de la Soc. Agr. Mex. 23: 263-267.
- HAWTIN G., M. IWANAGA M. AND HODGKIN. 1996.** Genetic resources in breeding for adaptation. Euphytica 92:255-266.
- HERNANDEZ X. E., Y G. ALANIS F. 1970.** Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticos y fitogeográficas. Agrociencia 5:3-30.
- HERNANDEZ X. E. 1998.** Aspectos de la domesticación de las plantas en México: una apreciación personal. Pp. 715-735 In: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, J. Fa (compiladores). Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- HIJMANS J R, D M SPOONER. 2001.** Geographic distribution of wild potato species. AMER. J. Bot. 88(11):2101-2112.
- INEGI. 1986.** Nomenclátor de la Síntesis Geográfica Estatal (SIGE) de los estados de México, Jalisco, Puebla, Oaxaca, Durango, Sinaloa, Chihuahua, San Luis Potosí, Michoacán, Chiapas, Veracruz. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). México, D.F.

- INEGI. 2003.** Estadísticas económicas. Volumen de la producción agrícola por entidad federativa. SAGARPA-SIACON. México, D. F. pp. 570.
- RUIZ C. J.A., SÁNCHEZ G. J.J. Y GOODMAN M.M. 1998.** Base temperatura and heat unit requirement of 49 mexican maize races.
- LAMP. 1991.** Catalogo del Germoplasma de Maíz. Tomo I y II. Proyecto Latinoamericano de Maíz. USDA-ARS.
- LOBO B.M., TORRES C.M. FONSECA J.R., R.A. MARTINS P DE M., R DE BELEM N.A. AND ABADIE T. 2003.** Characterization of germplasm according to environmental conditions at the collecting site using GIS-two case studies from Brazil. *Plant Genetic Resources Newsletter* 135:1-11.
- LOPEZ, L. 1991.** Cultivos Herbáceos. Vol 1, Cereales. Edit. Mundi Prensa. Madrid, España. pp. 309-347.
- LOPEZ S. J.L. 2005.** Distribución geográfica y áreas potenciales de diversidad del frijol silvestre (*Phaseolus* spp.) pp 71.
- LOPEZ R. Y J.A. RUIZ C. 1998.** Distribución y caracterización del teocintle. Libro técnico núm. 2. INIFAP-CIRPAC. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco. México. 149 p.
- LLOID P. AND PALMER A.R. 1998.** Abiotic factors as predictors of distribution in southern African Bulbus. *Auk*, 115:404-411.
- MANEL L., BROOKS T.M. AND PIMM S.L. 1999.** Relative risk of extinction of passerine birds on continents and islands. *Nature*, 399:258-261.
- MANGELSDORF P. AND R. REEVES. 1939.** The origin of Indian corn and its relatives. *Texas Agr. Exp. Sta. Bull.* pp. 574.
- MATSUOKA, Y., Y. VIGOUROUX, M.M. GOODMAN, J. SANCHEZ G., E. BUCKLER, J. DOEBLEY, 2002.** A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99: 6080-6084.
- MEDINA G., G., J. A. RUIZ C. Y R. A. MARTINEZ P. 1998.** Los climas de México: Una estratificación ambiental basada en el componente climático. Libro técnico núm. 1. INIFAP-CIRPAC. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco. México. 103 p.

- MORALES R., M.M. 2005.** Análisis genético de cruas dialélicas entre y dentro de poblaciones de maíz adaptadas y exóticas. Tesis de Doctorado. Universidad de Guadalajara.-CUCBA. Zapopan, Jalisco. 198 p.
- NOSS R.F. 1983.** A regional landscape approach to maintain diversity. *BioScience* 33:700-706.
- ORTEGA P., R.A., J.J. SANCHEZ G., F. CASTILLO G. Y J.M. HERNANDEZ C. 1991.** Estado actual sobre maíces nativos de México. *In: avances en el estudio de los Recursos Fitogenéticos de México.* Ortega P., R., G. Palomino H., F. Castillo G., V.A. González H. y M. (eds.). SOMEFI. Chapingo, Edo. de México. pp. 161-185.
- PETERSON A.T. , NAVARRO-SIGUENZA Y BENITEZ-DIAZ H. 1998.** The need for continued científic collecting: A geographic analysis of Mexican bird specimens, *Ibis*, 140: 288-294.
- PISCES. 2001.** SDR II (Species Diversity and Richness) ver. 2.65. USA.
- PULLIAM H.R. AND DUNNING J.B. 1997.** Demographic processes. Population dynamics on heterogeneous landscapes, pp 203-232. En: Meffe G.K. y C.R. Carroll (eds), *principles of conservation biology*, Sinauer associates. Inc. Sunderland.
- PURSEGLOVE, J.W. 1985.** Tropical crops: Monocotyledons. Longman Scientific and Technical. New York, USA. 607 p.
- REYES C.P. 1990.** El maíz y su cultivo. AGT. Editor. México. Mimeografiado sin notas editoriales.
- ROJAS RABIELA, T. y SANDERS, W.T. 1985.** Historia de la agricultura. Época prehispánica – siglo XVI. México. INAH. 2 vol.
- ROSENSWEIG M. 1995.** Species diversity in space and time. New York, Cambridge University Press.
- RUGGIERO A. 2001.** Interacciones entre la Biogeografía ecológica y la macroecología aportes para comprender los patrones espaciales en la diversidad biológica, 81-94 pp. En Llorente-Bousquets J y JJ Morrone (eds), *introducción a la biogeografía en Latinoamérica. Teorías, conceptos, métodos*

y aplicaciones. Las prensas de ciencias. Facultad de Ciencias UNAM, México D.F.

- RUIZ C. J. A., J. J. SANCHEZ G. and M. M. GOODMAN. 1998.** Base temperature and heat unit requirement of 49 Mexican Maize Races. *Maydica* 43:277-282.
- RUIZ C. J. A., MEDINA G. G., GONZALEZ A. I. J., ORTIZ T. C., FLORES L. H. E., MARTINEZ P. R. Y K. F. BYERLY M. 1999.** Requerimientos agroecológicos de los cultivos. Libro técnico Núm. 3. INIFAP-CIRPAC. 1ª Ed. Conexión gráfica. Guadalajara, Jal., México. 324p.
- RUIZ C. J. A., J. J. SANCHEZ G. y M. AGUILAR S. 2001.** Potential geographical distribution of teosintle in Mexico. A GIS approach. *Maydica* 46:105-110.
- RUIZ C. J. A., H. E. FLORES L., J. L. RAMIREZ D. Y D. R. GONZALEZ E. 2002.** Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en condiciones de temporal. *Agrociencia* 36(5):569-577.
- RUIZ C. J. A. L.E. VALDEZ D., G. MEDINA G., J.L. RAMIREZ D., A. GONZALEZ A., C. GONZALEZ S., L. SOLTERO D., H.E. FLORES L., J.F. PEREZ D., J.J. ACEVES R., S. MEDINA O., J.R. REGALADO R., J.R. CHAVEZ C., P. DIAZ M., C. SANTIAGO D. Y F.M. DEL TORO C. 2006.** Potencial productivo agrícola de la región Ciénega de Jalisco. Libro Técnico Núm. 2. INIFAP-CIRPAC-C.E. Centro Altos de Jalisco. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco, México. 260 p.
- RZEDOWSKI, J. 1993.** Diversity and origins of the Phanerogamic flora in México. pages 129-143, In: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot and J. Fa eds., *Biological Diversity in México, origins and distribution.* Oxford Univ. Press.
- SANCHEZ G.J.J., M.M. GOODMAN. 1992.** Relationships among Mexican and some North American and South American races of maize. *Maydica* 37:41-51.
- SANCHEZ G.J.J., RUIZ C.J.A. 1995.** Teosinte distribution in Mexico. In : gene flow among maize landraces, improved maize varieties, and teosinte : implication for transgenic maize. J A Serratos, M C Willcox, F Castillo (eds.). México, D F. CIMMYT. pp: 18-39.
- SANCHEZ G.J.J., T.A. KATO Y., M. AGUILAR S., J.M. HERNANDEZ C., A. LOPEZ R. Y J.A. RUIZ C. 1998.** Distribución y caracterización del teocintle. Libro

técnico núm. 2. INIFAP-CIRPAC. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco. México. 149 p.

SANCHEZ G., J. J. M. M. GOODMAN y C. W. STUBER. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54(1): 43-59.

SEGOVIA, V. 1997. Evaluación y caracterización de maíces de la Orinoquia y Amazonia Venezolana. CSI.E.E AULA DEI. Zaragoza, España. 200 p.

SMITH, J. AND O. SMITH. 1989. The description and assessment of distance between inbred lines of maize: I. The use of morphological traits and descriptors. *Maydica* 34(2) 141-15

VAVILOV, N.I. 1931. México and Central America as the principal centre of origin of cultivated plants of the New World. *Bull. Appl. Bot. Genet. Pl. Breed.* 16:1-248.

WELHAUSEN, E.J., L.M. ROBERTS, E. HERNANDEZ and P.C. MANGELSDORF. 1951. Races of maize in Mexico. Bussey Intitution, Harvard University, Cambriedge, Mass. 223 p.

WANG, H., T. NUSSBAUM-WAGLER, B. LI, Q. ZHAO, Y. VIGOUROUX, M. FALLER, K. BOMBLIES, L. LUKENS, J.F., DOEBLEY. 2005. The origin of the naked grains of maize. *Nature* 436: 714-719.

WHITTAKER R.H., S.A. LEVI AND R.B. ROOT 1973. Niche, Habitat and Ecotope. *American Naturalist* 107: 321-338.

ZALAZAR, T. J. 1985. Las demandas actuales y futuras del maíz por la industria nacional. El maíz su presente, pasado y futuro. México. Mimeografiado sin notas editoriales.