

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



**Diversidad entre Poblaciones de Siete Razas de Maíz del Norte
de México con Base en Caracteres de la Mazorca.**

Por:

MARTHA ELENA DE LOS SANTOS VAZQUEZ

T E S I S

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Saltillo, Coahuila, México.

Mayo de 2012.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTANICA

TESIS

Diversidad entre Poblaciones de Siete Razas de Maíz del Norte de
México con Base en Caracteres de la Mazorca.

Por:

MARTHA ELENA DE LOS SANTOS VAZQUEZ

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Aprobada

Dr. Froylán Rincón Sánchez

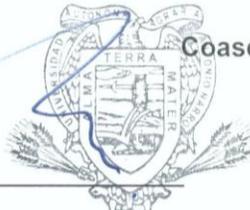
Asesor Principal

Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

Coasesor

Dr. Juan Manuel Martínez Reyna

Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera

Coordinación
División de Agronomía
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2012.

DEDICATORIA

Especialmente al **DIOS** y a la *Virgen de Guadalupe* por estar siempre a mi lado cuidándome y protegiéndome de todas las adversidades.

A mis padres *Elin De Los Santos Y María Teresa Vazquez*, por creer siempre en mí, por apoyarme, por sus consejos y jalones de orejas y que siempre me recibirán con un fuerte abrazo los amo.

A mis hermanos *José Luis, Jorge Alberto, Elidía Guadalupe, Juan Antonio, Jesús (+), Jesús Enrique, Roberto, Rodolfo, Reyna, Karina* Gracias hermanos por todo el amor brindado, por ser mi fortaleza, por su aliento constante, y por la gran confianza que han depositado en mí.

A mi esposo *Huberto Sandoval Rodas* por todo el cariño, la comprensión y el amor que me has dado, y por estar conmigo en la buenas y en las malas gracias mil gracias, por eso y más. **TE AMO.**

A mi hijo *Brian Alejandro Sandoval de los Santos* por darme toda esa alegría desde el día en que naciste y te tuve en mis brazos. **Te Amo hijo** eres mi razón de ser.

A mis abuelos *Reynol Vazquez y Consuelo Camacho*, por el apoyo que me brindaron y los consejos gracias.

A mis cuñados (as) *Carlos, Liliana, Candelaria, Martha, Vero, Tania* que ya forman parte de esta gran familia por sus consejos y palabras de aliento, gracias.

A mis sobrinos *Emmanuel, Esmeralda, Ángel, Pavel, Alison, Carlitos, Brisa, Dafne Camila* que aunque están pequeños tenerlos cerca en una gran alegría para mi corazón.

Y a todos los que faltan; tíos, tías, padrinos, vecinos que siempre creyeron en mí y me dieron palabras de aliento para poder realizar mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater la **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”**, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de licenciatura a través de la carrera de Ing. en Agrobiología.

Al **Dr. Froylán Rincón Sánchez**, por permitirme trabajar en sus proyectos de investigación, por las grandes enseñanzas y por el tiempo que dedicó para la revisión de este trabajo, mil gracias.

A la **Dra. Norma A. Ruiz Torres**, por su tiempo y asesoría en la revisión del presente trabajo.

Al **Dr. Juan Manuel Martínez Reyna**, por su contribución y tiempo dedicado en la revisión de esta investigación.

A la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y al Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) por el financiamiento del proyecto de investigación a través del **Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI)**.

Al **Departamento de Botánica** y a todos sus académicos por las grandes enseñanzas y los regaños porque sin ellos mi formación no estaría completa.

A la **Lic. Sandra López Betancourt** por su disposición y ayuda en la revisión del formato del presente trabajo.

A **Favián Cruz López** mi gran amigo gracias por estar conmigo en las buenas y las malas y siempre tenderme la mano, mil gracias amigo.

A la familia **Escobedo Macías**, gracias por hacerme sentir como en casa con su afecto y cariño y sobre todo gracias por estar a mi lado cuando más lo necesitaba.

A **Guadalupe López Esquivel** por el apoyo que me brindó durante la estancia en esta institución y sobre todo por sus consejos.

A todos mis **compañeros y amigos**, gracias por estar conmigo en todo momento.

A **Leonardo, Manuel y Roberto** por sus grandes enseñanzas en el desarrollo del servicio social, y su amistad con mi familia, gracias.

Al **Ejido El Mezquite**, a Don Lupe y el equipo de agricultores por los grandes consejos que él me dio.

A todos los que de alguna u otra forma colaboraron tanto en mi formación profesional como personal.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Importancia del maíz.....	4
Caracterización de germoplasma.....	5
Diversidad de maíz.....	6
Descripción de las razas en estudio.....	8
Apachito.....	8
Azul.....	8
Cónico norteño.....	9
Cristalino de chihuahua.....	9
Gordo.....	10
Ratón.....	11
Tuxpeño norteño.....	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
Material genético.....	13
Descripción de las localidades.....	14

Diseño experimental	15
Caracteres de la mazorca.....	15
Análisis de la información de la caracterización.....	18
Análisis de conglomerados.....	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
V. CONCLUSIONES.....	30
VI. LITERATURA CITADA	31

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resumen de la clasificación racial de poblaciones nativas de maíz de siete razas del Norte de México.....	13
Cuadro 2. Descripción climática de las localidades en estudio.....	14
Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de las características de la mazorca en grupos de poblaciones de maíz a través de dos localidades evaluadas en el 2010.....	21
Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza de las características de la mazorca en grupos de poblaciones de maíz a través de dos localidades evaluadas en el 2010.....	22
Cuadro 5. Componentes de varianza para poblaciones (σ_p^2), localidades (σ_l^2), interacción poblaciones \times localidades ($\sigma_{p \times l}^2$) y repetibilidad [$r = \sigma_p^2 / (\sigma_l^2 + \sigma_{p \times l}^2)$] de caracteres utilizados en la descripción de 80 poblaciones de maíz del norte de México.....	23
Cuadro 6. Valores medios de los grupos identificados por cada carácter utilizado en el estudio.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de maíz en México con respecto a otros cereales 1996-2006.....	4
Figura 2. Dendrograma de relaciones entre 80 poblaciones nativas de maíz del Norte de México.....	26

RESUMEN

El maíz es el cultivo más importante en México por su contribución a nivel alimentario e industrial. México es reconocido como centro de origen y diversidad, donde se han descrito más de 59 razas de maíz. Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) Analizar las variaciones entre poblaciones nativas de siete razas del Norte de México con base en caracteres de la mazorca; 2) Analizar las relaciones entre y dentro de grupos raciales. El estudio se realizó con 80 poblaciones representativas de siete razas de maíz del norte de México (Apachito, Azul, Cónico Norteño, Cristalino de Chihuahua, Gordo, Ratón y Tuxpeño Norteño). Las poblaciones fueron sembradas en experimentos repetidos en dos localidades (General Cepeda, Coahuila y el Mezquite, Galeana, N. L.) en 2010. A la cosecha se obtuvieron cuatro mazorcas representativas de cada población x unidad experimental para obtener los caracteres cuantitativos de la mazorca. La inspección visual de la mazorca permitió identificar la intervención de la raza Cónico, Pepitilla, Elotes Cónicos, Tabloncillo y Tuxpeño en 15 combinaciones entre grupos raciales. El análisis de clasificación identificó dos grandes componentes de la variación: El primero representado por el complejo de razas adaptadas en Chihuahua (Cristalino de Chihuahua, Azul, Gordo y Apachito); el segundo componente, formado por los grupos raciales Cónico Norteño, Ratón y Tuxpeño Norteño. Los caracteres de la mazorca permitieron diferenciar a las poblaciones y a los grupos raciales en estudio. Los caracteres de la mazorca más importantes para el estudio de la

diversidad son: número de hileras en la mazorca, diámetro de mazorca y olote, peso de mil semillas, las dimensiones del grano (longitud, ancho y espesor) y las relaciones diámetro/longitud de mazorca, diámetro de olote/diámetro de mazorca, ancho/longitud de grano, espesor/longitud de grano y espesor/ancho de grano. Las poblaciones de Chihuahua forman un complejo racial integrado por las interrelaciones entre las razas Cristalino de Chihuahua, Azul, Gordo y Apachito y diferente al resto de los grupos raciales en estudio.

Palabras claves: *Zea mays* L., caracterización, diversidad genética de maíz, poblaciones.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cultivos más importantes del mundo a nivel alimentario e industrial. En México, es producido y comercializado en grandes cantidades, en 2010 se sembraron 7,860,705.49 ha y se alcanzó una producción de 23,301,878.98 t (SAGARPA-SIAP, 2010). México es reconocido como el centro de origen de este cultivo por la gran diversidad que existe (Kato, 2009).

En México, el cultivo de maíz se produce en dos ciclos: primavera-verano y otoño-invierno y en dos modalidades (riego y temporal). En el estado de Coahuila para el año 2010 se cultivó alrededor de 28,234.50 ha y se obtuvo una producción de 26,141.41 t para la modalidad de temporal (SAGARPA-SIAP, 2010).

El estudio de la diversidad de maíz se ha basado principalmente en el concepto de raza. Wellhausen *et al.* (1951) describieron las primeras 25 razas de maíz en México. Posteriormente Hernández y Alanís (1970) describieron cinco nuevas razas para la sierra madre occidental. Por su parte, Ortega (1985) describió cinco razas poco estudiadas, de tal manera que en la actualidad se reconocen 59 razas descritas en México (Mera, 2009).

Para el análisis de la diversidad se han dado a conocer protocolos como los descriptores para maíz, útiles para el registro de aquellos caracteres

que son altamente heredables, visibles y que se expresan en todos los ambientes (IBPGR, 1991).

En diversos estudios relacionados con clasificación racial del maíz se ha considerado además de los efectos genéticos, la respuesta ambiental y su interacción con el medio ambiente de caracteres cuantitativos de diferentes etapas fenológicas (Cervantes *et al.*, 1978; Sánchez *et al.*, 1993).

Para los fitomejoradores es importante conocer, además del comportamiento agronómico y el potencial de rendimiento, los caracteres morfológicos de las plantas para así conocer las poblaciones o los grupos de poblaciones con las que trabajan y disponer de un buen método de selección.

Objetivos:

1. Analizar las variaciones entre poblaciones nativas de maíz de siete razas del Norte de México con base en caracteres de la mazorca.
2. Analizar las relaciones entre y dentro de grupos raciales.

Hipótesis:

1. La descripción con base a caracteres de la mazorca permite estudiar la diversidad entre poblaciones nativas de maíces en el Norte de México.
2. En la evaluación de las 80 colectas es posible explorar la variación dentro y entre grupos raciales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del maíz

El maíz pertenece a la familia de las gramíneas, es originario de América y es uno de los cultivos agrícolas más importantes en el mundo a nivel alimentario e industrial, es producido en grandes cantidades (844,405,181 toneladas anuales). Entre los principales países productores de maíz se encuentran Estados Unidos de América con 333,011,000 t (40 %), China 164,107,560 t (19 %), Brasil 51,232,400 t (6 %) y México con 20,142,800 t (3 %) (FAO, 2011).

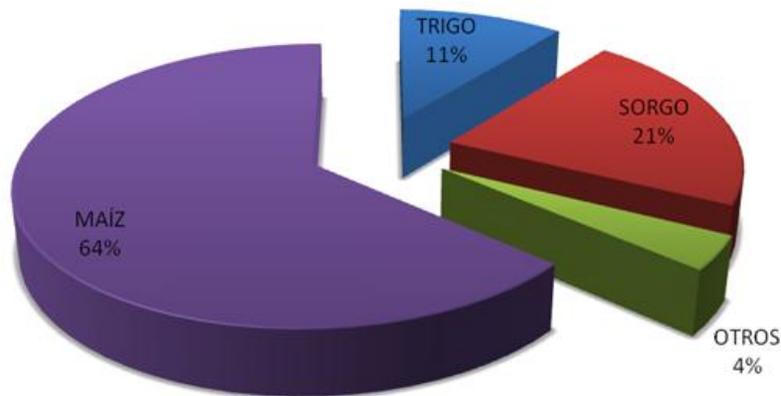


Figura 1. Producción de maíz en México con respecto a otros cereales 1996-2006.

En la Figura 1 se muestra el porcentaje de la producción que ocupa el cultivo maíz con respecto a otros cereales que se cultivan en México (SAGARPA-SIAP, 2008).

En México el maíz para grano es cultivado en dos ciclos y dos modalidades: a) primavera-verano de temporal (5,977,454 ha) y otoño-invierno de temporal (458,093 ha) y estos dos ciclos en la modalidad de riego se cultivan 727,981 ha en primavera-verano y 697,176 ha en otoño-invierno para el año 2010. En 2010 se sembraron 7.8 millones de ha de las cuales 6.4 millones fueron de temporal (82.0%), y 1.4 millones de ha de riego (18.0%) con un rendimiento de 2.21 y 7.59 t ha⁻¹, respectivamente, con un rendimiento promedio total de 3.26 t ha⁻¹ (SAGARPA-SIAP, 2010).

Caracterización de germoplasma

La caracterización de germoplasma puede llevarse a cabo con diferentes métodos como son: caracteres morfológicos, agronómicos, citológicos (cariotipos), marcadores bioquímicos (análisis de isoenzimas, electroforesis de proteínas, metabolitos secundarios) y marcadores moleculares RFLPs, AFLPs, RAPDs, microsatélites y otros (Aramendiz *et al.*, 2005).

Para el estudio y caracterización de poblaciones de maíz, el Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (IBPGR) en colaboración con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) publicaron una lista de descriptores de maíz (IBPGR, 1991) y se refiere a la caracterización como el registro de aquellos caracteres que son altamente heredables, visibles y que se expresan en todos los ambientes.

La caracterización, además de ayudar a conocer la diversidad genética de las poblaciones a las que se les aplica, también sirve para implementar métodos de conservación y utilización de estas accesiones (Aramendiz *et al.*, 2005). Además, la caracterización también puede ser útil para llevar a cabo una selección preliminar para después integrarlas a un programa de mejoramiento genético (Defacio *et al.*, 2009).

Diversidad de maíz

México es reconocido como el centro de origen del maíz por la gran diversidad que presenta (Kato, 2009). De acuerdo con Sánchez *et al.* (2000), México cuenta con una excepcional diversidad morfológica de variedades de maíz que no han sido encontrados en ningún otro lugar del mundo, pero también cuenta con diferentes tipos de nichos ecológicos.

Carballoso *et al.* (2000) mencionan que la diversidad de maíz existente se debe a la selección que llevaban a cabo las antiguas etnias de México, y contempla el proceso de domesticación, así como también la adaptación que estas han ido experimentando.

La primera clasificación del maíz en México se describe en la obra publicada por Wellhausen *et al.* (1951) titulada “Razas de Maíz en México” en la cual se tomó en cuenta las características morfológicas de la mazorca, espiga y planta además de características citológicas y morfológicas.

En la actualidad se reconocen 59 razas de maíz descritas en México, sin embargo, se han estado realizando estudios exploratorios para determinar la diversidad actual del maíz (Mera, 2009).

Sánchez *et al.* (2000) realizaron un estudio con isoenzimas y caracteres morfológicos de 209 colectas de 59 poblaciones las cuales identificaron y ordenaron en cuatro grupos y algunos subgrupos de acuerdo a la similitud de estos caracteres.

Herrera *et al.* (2000) llevaron a cabo un estudio en 104 poblaciones para estudiar la raza Chalqueño donde utilizaron caracteres de la mazorca, encontrando que las estructuras reproductivas femeninas ayudan a la clasificación racial de maíz entre y dentro de razas.

Nájera (2010) realizó un estudio de 90 poblaciones de maíz y encontró que los caracteres recomendados para analizar la diversidad genética de los maíces para el estado de Coahuila con base a caracteres de la mazorca son:

número de hileras en la mazorca, número de granos por hilera, diámetro de la mazorca, ancho de grano, espesor de grano, diámetro de olote y porcentaje de desgrane.

Descripción de las razas en estudio

Apachito

Hernández y Alanís (1970) mencionan que para la raza Apachito aún no está claro su origen, aunque el color rosado presente en ésta sugiere que se deriva de la raza Chapalote. Se encuentra distribuido en la parte alta sierra Tarahumara entre los 2000 a 2500 msnm. Se caracteriza por tener plantas cortas no superiores a 1.91 m de altura; con espigas cortas y con mazorcas de forma cilíndrica con ligero abultamiento en la base con 10 a 14 hileras rectas, granos de forma globosa de ápice redondeado con 10.2 mm de longitud y 4.2 mm de espesor, un diámetro de olote de 20 a 25 mm; de color blanco a rosado.

Azul

De acuerdo con Hernández y Alanís (1970), la raza Azul presenta influencia de dos razas; la raza de maíz gordo en los caracteres de la planta y espiga, y de la raza Olotón del sur de México influyendo en la longitud y el abultamiento de la base de la mazorca. Los caracteres que presenta son los siguientes: plantas con altura media de 1.9 a 2.2 m, 65 días para la floración,

espigas relativamente grandes, mazorcas de forma cilíndrica con un diámetro de 35 a 38 mm con 12 a 14 hileras, granos globosos de 11.9 mm de longitud, 4.5 mm de espesor.

Cónico norteño

Según Wellhausen *et al.* (1951), a la raza Cónico Norteño se le da ese nombre para distinguirlo de la raza Cónico de la Mesa Central y por su distribución en la región Norte del Bajío. Se originó a partir de la raza Cónico de la Mesa Central, modificando e introduciéndole germoplasma de la raza Celaya o sus precursores el Tuxpeño y Tabloncillo; se encuentra distribuido por la región norte del Bajío a altitudes 1600 a 2100 msnm. Sus principales características son: plantas cortas, precoces, espigas intermedias a largas y medianas ramificaciones, mazorcas cortas a medianas con 16 hileras, granos delgados, angostos y dentados, diámetro de 45 a 48 mm y un diámetro de olote de 22 a 24 mm.

Cristalino de Chihuahua

Wellhausen *et al.* (1951) publicaron una fotografía de esta raza y consideraron que se trataba de la raza Onaveño. Ortega (1985) menciona que las características de esta raza son: plantas precoces como su pariente cercano Apachito, presenta altura de planta de 200-270 cm, mazorca ligeramente

cónica, con abultamiento en su base, de 14 a 16 cm de longitud, diámetro en promedio de 3.5 cm y con un número de hileras de 23; granos de textura cristalina o semicristalina, blancos o amarillos. Se encuentra distribuido por la región de la alta Babícora, Chihuahua, cultivándose a una altura de 1900-2000 msnm.

Gordo

Según Hernández y Alanís (1970), para la raza Gordo se han propuesto como supuestos padres a la raza Chapalote o Reventador con introducción de germoplasma de la raza Harinoso de Ocho ya que presenta algunas características semejantes a estas dos razas. Las características presentes en la raza Gordo son: plantas cortas no superior a los 1.95 m de altura; 65 días a la floración; espigas cortas; mazorcas con una longitud aproximada de 14 a 16 cm; forma cilíndrica; de 12 a 16 hileras; granos globosos, cremosos y con una longitud de 11.9 mm, 9.8 mm de ancho; y 5.0 mm de espesor; presenta un diámetro del olote de 25 a 27 mm de coloración blanca a púrpura y se encuentra distribuido principalmente en el oeste del estado de Chihuahua a una altura de 2000 a 2500 msnm.

Ratón

La raza Ratón es precoz, con una floración a los 54-60 días; las plantas pueden ser consideradas de bajo porte ya que su altura oscila entre 230-300 cm; mazorcas de forma semicónica, con 13-17 cm de longitud, diámetro 3.7-4.2 cm; con un número de hileras de 12 a 16 y un número de granos por hilera de 31 a 35; sus granos son de tamaño medio, de textura dentada y color blanco; se encuentra distribuido en la parte central del estado de Tamaulipas y se piensa que esta raza pudo tener influencia en la formación de muchos criollos del Noreste de México y Estados Unidos (Ortega, 1985). Para el Noreste de México se encuentra a alturas no máximas de los 1300 msnm. El origen de la raza Ratón no se tiene bien claro, sin embargo, Ortega (1985) considera que sus progenitores son la raza Nal-Tel y Tuxpeño Norteño ya que presenta características de estas dos razas.

Tuxpeño norteño

Wellhausen *et al.* (1951) se dieron cuenta que muchas razas criollas del Norte de México presentaban caracteres similares al Tuxpeño. Sin embargo, mostraban algunos caracteres diferentes, como el olote más grueso o el alto número de hileras en la mazorca. La raza Tuxpeño Norteño presenta un periodo vegetativo intermedio, generalmente dos o tres semanas más precoces que los Tuxpeños; con alturas de plantas de 250-350 cm; mazorcas de forma cilíndrica, con 10-16 hileras de grano; con longitud de mazorca variante; el grano es de

textura dentada, de color generalmente blanco, a veces crema. Está ampliamente distribuida en el Norte de México, domina en regiones ubicadas de bajo de los 1400 msnm (Ortega, 1985).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en 80 poblaciones de siete razas de maíz del Norte de México (Cuadro 1) obtenidas en su mayoría del banco de germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Estas poblaciones forman parte del proyecto sobre el estudio de la huella genética de poblaciones nativas de maíz. Las poblaciones fueron sembradas en dos localidades contrastantes en el ciclo primavera-verano del 2010 en el Mezquite, Galeana, N.L. y en General Cepeda, Coahuila.

Cuadro 1. Resumen de la clasificación racial de poblaciones nativas de maíz de siete razas del Norte de México.

Clasificación racial	Identificación de Raza	Frecuencia	%
Apachito	AP	5	6.3
Apachito x Cristalino de Chihuahua	APxCRCH	1	1.3
Azul	AZ	4	5.0
Azul x Gordo	AZxG	1	1.3
Blando de Sonora	BS	1	1.3
Cónico Norteño	CN	12	15.0
Cónico Norteño x Cónico	CNxG	1	1.3
Cónico Norteño x Cristalino de Chihuahua	CNxCRCH	1	1.3
Cónico Norteño x Pepitilla	CNxPE	1	1.3
Cónico Norteño x Tuxpeño Norteño	CNxTN	1	1.3
Cristalino de Chihuahua	CRCH	11	13.8
Cristalino de Chihuahua x Apachito	CRCHxAP	3	3.8
Cristalino de Chihuahua x Azul	CRCHxAZ	1	1.3
Cristalino de Chihuahua x Tuxpeño Norteño	CRCHxTN	1	1.3
Gordo	G	5	6.3
Gordo x Cristalino de Chihuahua	GxCRCH	1	1.3
Ratón	R	10	12.5
Ratón x Tuxpeño Norteño	RxTN	1	1.3
Ratón x Tuxpeño	RxT	3	3.8
Tuxpeño Norteño	TN	13	16.3
Tuxpeño Norteño x Elotes Cónicos	TNxEC	1	1.3
Tuxpeño Norteño x Tabloncillo	TNxTA	1	1.3
Tuxpeño x Ratón	TxR	1	1.3

La localidad el Mezquite, Galeana, N.L. se localiza a 25° 05' latitud norte, 100° 42' longitud oeste, a una altura 1890 msnm y la localidad de General Cepeda, Coah. Se sitúa a 25° 26' latitud norte y 101° 27' longitud oeste a una altura de 1350 msnm. Los datos de temperatura y precipitación se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Descripción climática de las localidades en el estudio.

Descripción climática	El Mezquite, Galeana, N. L.	General Cepeda, Coah.
Estación	Agrodelta El Cuije (Galena, N. L.)	Rancho la Gloria (General Cepeda, Coah.)
Temperatura media anual (°C)	14.5	17.6
Precipitación media anual (mm)	372.2	285.4

Fuente: COFUPRO, 2010.

Las muestras de las mazorcas utilizadas en el estudio fueron obtenidas de la siembra de los materiales en las dos localidades. A la cosecha se identificó a cuatro mazorcas representativas de cada unidad experimental para realizar la caracterización.

La caracterización del material se realizó en el laboratorio de semillas del Centro de Conservación de Semillas Ortodoxas, Región Norte del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI).

Diseño experimental

Las poblaciones fueron establecidas en un diseño experimental de bloques incompletos con dos repeticiones por localidad. Los diseños fueron generados con el paquete Crop Stat (IRRI, 2007). La unidad experimental estuvo constituida de dos surcos de 4 m de largo. Se sembraron 30 semillas por cada surco para posteriormente realizar un aclareo, dejando 42 plantas por parcela, con una distancia entre plantas de 0.2 m y distancia entre surcos de 0.92 m en la localidad El Mezquite y 0.85 m en General Cepeda.

Para llevar a cabo la caracterización de las mazorcas se usó el Manual Grafico para la Descripción Varietal de Maíz (SAGARPA-SNICS-COLPOS, 2010).

Caracteres de la mazorca

Número de hileras en la mazorca (HIL): Se contó el número de hileras de granos en la parte central de cada mazorca.

Granos por hilera (GHIL): Se contó el número total de granos en una hilera completa y representativa en cada mazorca.

Longitud de mazorca (LMAZ): se tomó la medida en cm desde la base hasta el ápice de la mazorca.

Diámetro de mazorca (DMAZ): se midió el grosor de la parte media de la mazorca y los datos se reportaron en cm.

Diámetro de olote (DOLO): El diámetro del olote se tomó de la parte media, y se reportó en cm.

Dimensiones del grano: Se obtuvo mediciones de 10 granos consecutivos de una hilera en el punto medio de cada mazorca, para determinar la longitud de grano (LG), ancho de grano (AG) y espesor de grano (EG) expresado en (cm).

Peso de la mazorca (PMAZ) Y Peso de semilla (PSEM): Se le determinó el peso de la mazorca y semilla con una balanza analítica Ohaus Scot-pro 6000g.

Contenido de humedad: El contenido de humedad de las semillas no es más que la cantidad de agua que se encuentra dentro de ésta, ya sea de manera libre o en combinación con los compuestos por los cuales la semilla se encuentra constituida.

Se determinó por el método de secado de estufa de acuerdo a las normas de la International Seed Testing Association (ISTA, 2009).

Para estimar el contenido de humedad se usó la siguiente fórmula:

$$CHS = \frac{P2 - P3}{P2 - P1} * 100$$

Donde:

P1= Peso del contenedor, P2= Peso del contenedor mas muestra y P3= Peso seco de la muestra seca mas contenedor.

Peso de mil semillas (PMILS): Fue estimado a partir de dos repeticiones de 50 semillas de cada mazorca para obtener el peso en g, con ayuda una balanza analítica AND GX-600. El resultado fue expresado en g al 12% de humedad.

Peso volumétrico (PVOL): Para llevar a cabo el peso volumétrico se utilizó una báscula Ohaus. Se utilizó el contenido de humedad del grano para expresar el resultado en kg hl⁻¹ al 12% de humedad.

Proporción de semilla [porcentaje de desgrane (DESG)]: Se calculó con el peso de la semilla (PSEM) entre el peso de la mazorca (PMAZ).

Se obtuvieron características asociadas (Sánchez *et al.*, 1993) como: la superficie de mazorca (SUPMAZ), estimada por el valor de $\pi \times DMAZ \times LMAZ$

(cm³); volumen de grano (VGRANO) estimado por LGxAGxEG (cm³); el diámetro entre longitud de mazorca (DLMAZ) estimado por DMAZ/LMAZ; el diámetro de olote entre diámetro de mazorca (DOLOMAZ) estimado por DOLO/DMAZ; el ancho entre longitud de grano (ALGRA), estimado por AG/LG; espesor entre longitud de grano (ELGRA), estimado por EG/LG; y espesor entre ancho de grano (EAGRA), estimado por EG/AG.

Análisis de la información de los caracteres de la mazorca

El análisis de los datos de caracterización se realizó mediante un análisis de varianza (SAS Institute, 2004), donde se probaron los efectos de poblaciones y la interacción de poblaciones x ambientes de evaluación. Para el análisis de la información de los caracteres de la mazorca se utilizó un modelo lineal:

$$y_{ijkl} = \mu + l_i + r_{j(i)} + b_{k(ij)} + p_l + pl_{il} + e_{ijkl}$$

Donde: y_{ijkl} = variable de respuesta; μ = Efecto de la media general; l_i = Efecto de la localidad; $r_{j(i)}$ = Efecto de la j-ésima repetición dentro de la i-ésima localidad; $b_{k(ij)}$ = Efecto del k-ésimo bloque incompleto dentro de la i-ésima localidad x la j-ésima repetición; p_l = Efecto de la l-ésima población; pl_{il} = Efecto de la interacción de la i-ésima localidad por la l-ésima población; e_{ijkl} = Error experimental.

Análisis de conglomerados

Para llevar a cabo éste análisis se tomó en cuenta 16 caracteres obtenidos de la evaluación de las poblaciones en las dos localidades con el fin de analizar las relaciones entre y dentro de grupos raciales. Los caracteres fueron determinados de acuerdo al coeficiente de repetibilidad (r): $r = \sigma_p^2 / (\sigma_1^2 + \sigma_{pxl}^2)$ (Goodman y Parterniani, 1969), con un valor de $r = 1.0$. Se calculó el coeficiente de correlación entre posibles pares de poblaciones; después se obtuvo el complemento del coeficiente de correlación como medida de distancia: $d_{ij} = 1 - r$ (Sneath y Sokal, 1973). La estandarización de los datos y el dendrograma fueron obtenidos con el paquete computacional NTSYS-pc (Rohlf, 2009). Se utilizó el método de agrupamiento por pares usando promedios aritméticos (UPGMA) para obtener las relaciones entre poblaciones.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 3 se presentan los cuadrados medios y las pruebas de significancia en las fuentes de variación de las variables de descripción de la mazorca a través de las localidades en estudio. En ocho de las 15 variables se presentó diferencia estadística entre las localidades lo que indica el efecto de las condiciones ambientales diferentes de las dos localidades de evaluación. Con respecto a las poblaciones, todas las variables presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.01$), lo que era de esperarse debido a las diferencias entre grupos raciales y al origen de procedencia. Semejante a lo encontrado por Nájera (2010) en un estudio realizado para conocer la diversidad genética de maíz del estado de Coahuila y quien sugiere que estos resultados son indicadores de la diversidad genética entre las poblaciones evaluadas. En el caso de la interacción Poblaciones \times Localidades, en la mayoría de las variables se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.01$), excepto en las variables longitud y ancho de grano, volumen de grano y ancho/longitud de grano. Las disimilitudes entre los grupos pueden estar asociadas al tipo de población y a las condiciones ecológicas (Sánchez *et al.*, 2000).

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de las características de la mazorca en grupos de poblaciones de maíz a través de dos localidades evaluadas en el 2010.

Fv	Loc	Rep/Loc	Blk/RepxLoc	Pob	LocxPob	Error	CV (%)
GL	1	2	28	79	79	945	
HIL	175.063 *	3.504	3.871 *	35.699 **	5.572 **	2.540	12.65
GHIL	6207.265 **	46.912	42.025 **	328.242 **	63.105 **	21.799	15.01
LMAZ	573.994 *	8.972	3.579	27.325 **	8.636 **	3.223	12.01
DMAZ	29.979 **	0.057	0.175 **	2.106 **	0.211 **	0.091	7.54
LG	2.440 **	0.036	0.077	0.147 **	0.074	0.081	24.57
AG	0.076	0.038	0.050	0.114 **	0.052	0.055	27.24
EG	0.027	0.045 **	0.004 **	0.043 **	0.003 **	0.002	10.54
DOLO	3.761 *	0.146	0.159 **	1.371 **	0.114 **	0.061	11.13
SUPMAZ	289951.996 **	1281.159	1015.300	9798.359 **	1934.972 **	751.864	14.53
VGRANO	0.603	0.058	0.017	0.061 **	0.020 *	0.015	29.53
DLMAZ	0.008	0.002	0.002	0.018 **	0.004 **	0.002	15.09
DOLOMAZ	0.077 *	0.003	0.008 **	0.029 **	0.008 **	0.004	11.02
ALGRA	0.480	0.093	0.055	0.166 **	0.062	0.058	31.77
ELGRA	0.118	0.072 *	0.009 **	0.078 **	0.007 **	0.003	15.54
EAGRA	0.025	0.070 *	0.009 **	0.060 **	0.005 *	0.004	12.81

Loc= localidades; Rep/Loc = Repeticiones dentro de localidades; Blk/RxLoc = Bloques dentro repeticiones x localidades; Pob = Poblaciones; PobxLoc = poblaciones x localidades; HIL= número de hileras; GHIL= granos por hileras; LMAZ= longitud de mazorca; DMAZ= diámetro de mazorca; LG=longitud de grano; AG=ancho de grano; EG= espesor de grano; DOLO= diámetro de olote; SUPMAZ= superficie mazorca; VGRANO= volumen grano; DLMAZ= diámetro/longitud de mazorca; DOLOMAZ= diámetro olote/ diámetro mazorca; ALGRA= ancho/longitud de grano; ELGRA= espesor/longitud de grano; EAGRA= espesor/ancho grano; *, ** = Significativo al 0.05 y al 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza de las características de la mazorca en las poblaciones de maíz a través de dos localidades evaluadas en el 2010.

Fv	Loc	Rep/Loc	Blk/Rep*Loc	Pob	Loc*Pob	Error	CV%
GL	1	2	28	79	79	926	
PMILS	335268.951 **	480.067	3513.534	1654.182 **	4773.938 **	2986.442	18.55
GL	1	2	28	79	79	937	
DES	0.273 **	0.000	0.004 **	0.016 **	0.005 **	0.001	4.48
GL	1	2	28	79	79	357	
PVOL	18.668	28.718	33.588 **	125.590 **	47.482 **	13.062	4.28

Loc= localidades; Rep/Loc = Repeticiones dentro de localidades; Blk/Rep*Loc = Bloques dentro repeticiones x localidades; P = Poblaciones; Pob*Loc = Poblaciones x localidades; Gl= grados de libertad; *, ** = Significativo al 0.05 y al 0.01 de probabilidad, respectivamente.

El Cuadro 4 muestra los cuadrados medios del análisis de varianza para las variables de peso de mil semillas, porcentaje de desgrane y peso volumétrico. Las localidades fueron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.01$) excepto en el peso volumétrico que no presenta significancia. Por otro lado, las poblaciones fueron diferentes en estos caracteres al igual que para la interacción localidad x población, lo cual quiere decir que cada población se comportó de una forma diferente en cada localidad donde se realizó el estudio.

Cuadro 5. Componentes de varianza para poblaciones (σ_p^2), localidades (σ_l^2), interacción poblaciones \times localidades (σ_{pxl}^2) y repetibilidad [$r = \sigma_p^2 / (\sigma_l^2 + \sigma_{pxl}^2)$] de caracteres utilizados en la descripción de 80 poblaciones de maíz del norte de México.

Variable	Descripción	σ_l^2	σ_p^2	σ_{pxl}^2	r
HIL	Número de hileras de mazorca	0.31	2.51	0.44	3.348 *
GHIL	Granos por hilera	11.10	19.98	6.85	1.113
LMAZ	Longitud de mazorca (cm)	1.02	1.68	0.91	0.874
DMAZ	Diámetro de mazorca (cm)	0.05	0.15	0.02	2.060 *
DOLO	Diámetro de olote (cm)	0.01	0.11	0.01	7.325 *
PMILS	Peso de mil semillas (g)	600.27	1,175.70	350.52	1.237 *
DESG	Prop. Semilla / mazorca	0.00	0.00	0.00	0.901
PVOL	Peso volumétrico (kg hl ⁻¹)	0.00	12.35	11.82	1.044
LG	Longitud de grano (cm)	0.00	0.01	0.00	1.305 *
AG	Ancho de grano (cm)	0.00	0.01	0.00	8.051 *
EG	Espesor de grano (cm)	0.00	0.00	0.00	17.082 *
DLMAZ	Diámetro / Longitud de mazorca	0.00	0.00	0.00	3.223 *
DOLOMAZ	Diámetro olote / Diámetro mazorca (cm)	0.00	0.00	0.00	2.818 *
SUPMAZ	Superficie de mazorca (cm ³)	526.45	639.58	208.56	0.870
VGRANO	Volumen de grano (cm ³)	0.00	0.00	0.00	2.321
EAGRA	Espesor/Ancho de grano (cm)	0.00	0.00	0.00	19.568 *
ELGRA	Espesor / Longitud de grano (cm)	0.00	0.01	0.00	9.370 *
ALGRA	Ancho/Longitud de grano (cm)	0.00	0.01	0.00	3.958 *

* = Variables seleccionadas.

El Cuadro 5 presenta los componentes de varianza y valor de repetibilidad (r) de los caracteres utilizados en el estudio de caracterización de 80 poblaciones del Norte de México. De los 18 caracteres de la mazorca, solo 12 fueron seleccionados utilizando como criterio principal el valor de $r \geq 1.0$. Sin embargo, algunos caracteres con valor de r superior a 1.0 no fueron incluidos debido a una alta correlación con otros caracteres. Los 12 caracteres seleccionados fueron utilizados para obtener la matriz de correlación, y posteriormente el coeficiente de distancia entre pares de poblaciones. Con la matriz de distancia se obtuvo el dendrograma que muestra la asociación entre poblaciones y grupos raciales (Figura 2).

La Figura 2 presenta el dendrograma de la diversidad de 80 poblaciones de maíz. Se puede identificar a dos componentes: el primero, que representa el complejo 1 (razas de Chihuahua), lo conforman los grupos 1, 2 y 3; el segundo, representa al complejo de los grupos raciales Cónico Norteño, Ratón y Tuxpeño Norteño (Grupos 4, 6 y 7), así como la interacción entre diversos grupos raciales (Grupo 5).

De la Figura 2 puede destacarse que las poblaciones de Chihuahua son diferentes al resto de los grupos raciales evaluados. Sin embargo, dentro del Complejo de Chihuahua, los caracteres de la mazorca permiten hacer una distinción entre la raza Cristalino de Chihuahua (Grupo 1) y Apachito (Grupo 2);

aunque dentro del Grupo 2 también se presenta el complejo de la raza Azul y Gordo, las que pueden estar compartiendo características similares entre ellas y en cierto grado con la raza Cristalino de Chihuahua.

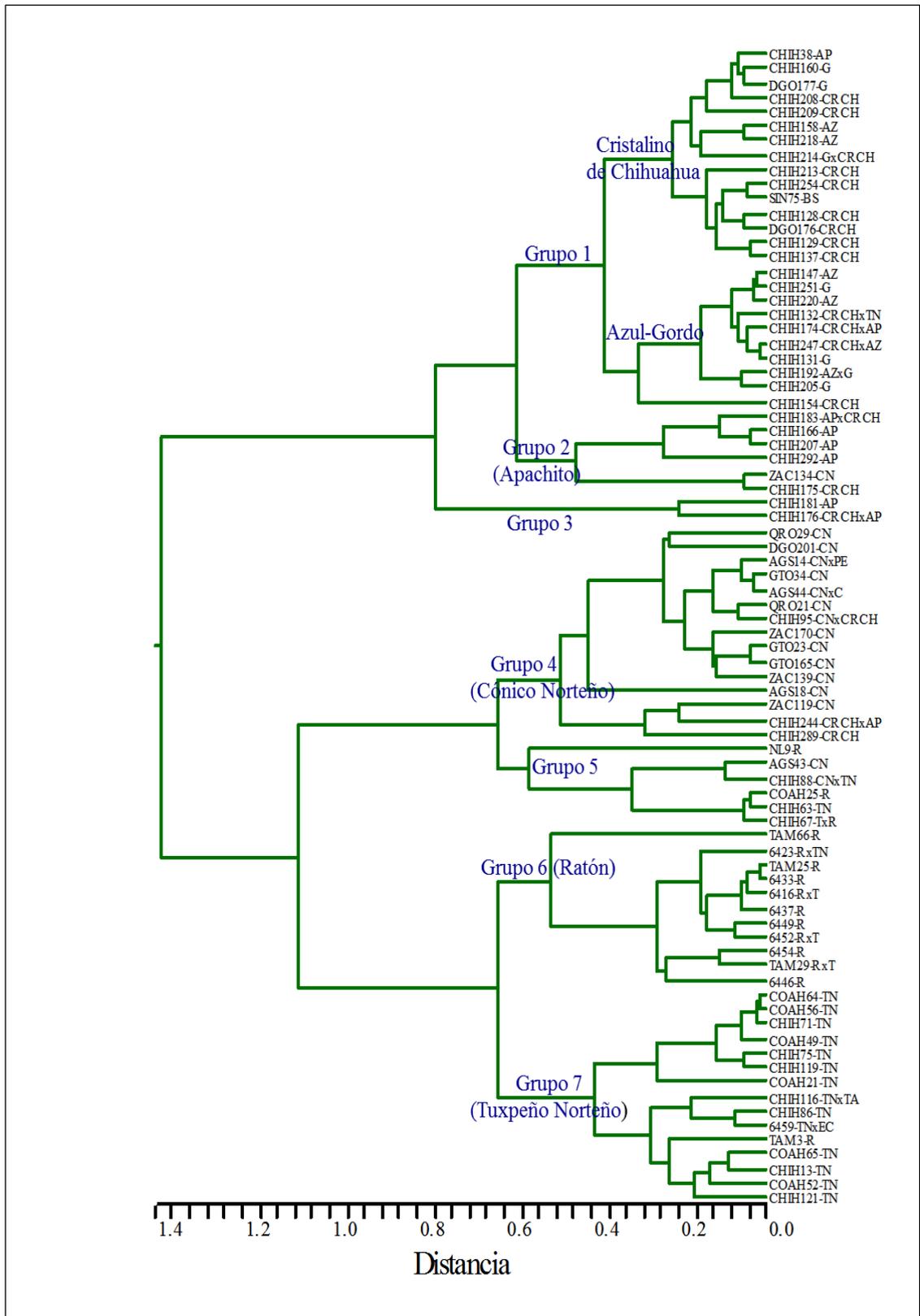


Figura 2. Dendrograma de relaciones entre 80 poblaciones nativas de maíz de siete grupos raciales del Norte de México.

Cuadro 6. Valores medios de los grupos identificados por cada carácter utilizado en el estudio.

Caracteres de la mazorca	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Tukey (0.05)
Número de hileras de mazorca	12.23 bc	11.71 cd	12.67 bc	15.08 a	14.51 a	11.01 D	13.18 b	1.01
Diámetro de mazorca (cm)	3.91 c	3.41 d	3.93 c	4.30 b	4.21 b	3.88 C	4.55 a	0.19
Longitud de grano (cm)	1.10 bc	1.08 b	1.16 ab	1.33 a	1.27 a	1.19 Ab	1.18 ab	0.17
Ancho de grano (cm)	0.89 ab	0.78 ab	0.84 ab	0.75 b	0.78 ab	0.91 Ab	0.92 a	0.15
Espesor de grano (cm)	0.50 a	0.43 b	0.39 cd	0.40 bc	0.37 d	0.34 E	0.39 cd	0.03
Diámetro de olote (cm)	2.28 b	1.68 d	1.98 c	2.04 c	2.36 b	2.00 C	2.73 a	0.16
Peso de mil semillas (g)	329.66 a	251.73 d	299.83 abc	292.06 bc	250.66 d	283.24 Cd	318.49 ab	33.93
Diámetro / Longitud de mazorca	0.24 c	0.23 cd	0.22 d	0.31 a	0.29 a	0.27 B	0.30 a	0.02
Diámetro olote / Diámetro mazorca (cm)	0.58 ab	0.49 cd	0.50 cd	0.48 d	0.56 b	0.52 C	0.60 a	0.04
Ancho/Longitud de grano (cm)	0.82 a	0.74 a	0.73 a	0.57 b	0.67 ab	0.77 A	0.78 a	0.15
Espesor / Longitud de grano (cm)	0.46 a	0.41 b	0.34 c	0.31 de	0.32 cde	0.29 E	0.33 cd	0.03
Espesor/Ancho de grano (cm)	0.56 a	0.55 a	0.47 b	0.55 a	0.48 b	0.39 C	0.43 c	0.04

Valores con la misma letra en la hilera son estadísticamente iguales (Tukey 0.05); Grupo 1 (Sub-grupo Cristalino de Chihuahua y Azul-Gordo); Grupo 2 (Apachito); Grupo 4 (Cónico Norteño); Grupo 6 (Ratón); Grupo 7 (Tuxpeño Norteño).

El Cuadro 6 presenta las medias de los grupos identificados en el dendrograma (Figura 2). Puede observarse que en cada carácter estudiado existe variación entre grupos, y que es diferente el comportamiento en relación a las características. Por ejemplo, el número de hileras en la mazorca, las poblaciones dentro del grupo Cónico Norteño cuentan con mayor número de hileras con respecto a las poblaciones de la raza Apachito y Ratón. Algunas poblaciones de la raza Cónico Norteño muestran modificaciones tales como mazorcas más gruesas y granos más largos con tendencia a tener picos en el ápice como la raza Pepitilla, aunque pudo haberlos obtenido de la raza Palomero Toluqueño (Wellhausen *et al.*, 1951). El Grupo 3 y 5 no se tienen bien determinados a que raza pertenece ya que se aprecia una mezcla entre razas. Aunque para algunas variables como el caso de número de hileras el Grupo 5 es el que presenta el número mayor.

Con respecto al diámetro de la mazorca y olote, las poblaciones de la raza Tuxpeño Norteño cuentan con un diámetro mayor comparado con las poblaciones de la raza Apachito. También puede verificarse que entre el Grupo 1 y el Grupo 2 hay diferencias significativas en estos dos caracteres, Sin embargo, hay que considerar que dentro del Grupo 1 existe también el complejo Azul-Gordo (Figura 2). Hernández y Alanís (1970) mencionan que las razas Azul y Gordo presentan una fuerte influencia de Teocintle ya que los caracteres internos de la mazorca son similares. Ortega (2003) menciona que la raza Tuxpeño Norteño presenta características similares con las razas

Celaya y Vandeño y las agrupa en tropicales de mazorca cilíndrica y grano dentado.

En el caso de las relaciones Espesor/Largo y Espesor/Ancho del grano, se muestra un patrón de la variación entre las poblaciones del Grupo 1 (poblaciones de Chihuahua) al Grupo 7 (Tuxpeño Norteño) tal y como se muestra en la Figura 2, y para la relación Ancho/Longitud de grano el Grupo 3 presenta la relación más alta comparado con los demás grupos.

La raza Cristalino de Chihuahua y sus parientes Apachito, Azul y Gordo presentan caracteres similares a la raza Olotón y estas razas representan un eslabón entre las formas encontradas en las montañas de Chiapas-Guatemala y el sureste de los Estados Unidos y son las únicas razas precoces que se siembran con humedad residual invernal (Hernández y Alanís 1970; Ortega, 1985).

V. CONCLUSIONES

Los caracteres de la mazorca permitieron diferenciar a las poblaciones y a los grupos raciales en estudio.

Los caracteres de la mazorca más importantes para el estudio de la diversidad son: número de hileras en la mazorca, diámetro de mazorca y olote, peso de mil semillas, las dimensiones del grano (longitud, ancho y espesor) y las relaciones diámetro/longitud de mazorca, diámetro de olote/diámetro de mazorca, ancho/longitud de grano, espesor/longitud de grano y espesor/ancho de grano.

Las poblaciones de Chihuahua forman un complejo racial integrado por las interrelaciones entre las razas Cristalino de Chihuahua, Azul, Gordo y Apachito y diferente al resto de los grupos raciales en estudio.

VI. LITERATURA CITADA

- Aramendiz T., H., Y. Arias., D. Castro., N. Marín y A. López. 2005. Caracterización morfológica de maíces criollos del Caribe colombiano. *Agronomía Colombiana* 23: 28-34.
- Caraballosa T., V., A. Mejía C., S. Balderrama C., A. Carballo C. y F. Castillo G. 2000. Divergencia en poblaciones de maíz nativas de Valles Altos de México. *Agrociencia* 34: 167-174.
- Cervantes S. T., M. Goodman M., E Casa D., and J. Rawlings. 1978. Use of Genetic and Genotype by Environmental Interactions for the Classification of Mexican Races of Maize. *Journal of Genetics*. 90:339-348.
- COFUPRO (Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce, A. C.). 2010. Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas. Disponible en línea <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/> fecha de consulta 25 de junio del 2011.
- Defacio, R. A., S. J. Bramardi., M. Ferrer, E. 2009. Evaluación de Poblaciones Locales de Maíz de la Raza Cristalino Colorado a través de datos Morfológicos de Mazorca y Grano. *Revista Análisis de Semillas. Argentina* 2:72-75.
- FAO. 2011. Análisis del Estado de la Seguridad Alimentaria y Nutricional en América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Boletín trimestral No.1. Roma, Italia. Disponible en línea www.rlc.fao.org/fileadmin/content/publicaciones/.../infotri012011.pd. Fecha de consulta 20 de noviembre del 2011.
- Goodman, M. M. and E. Paterniani. 1969. The races of maize: III. Choices of appropriate characters for racial classification. *Econ. Bot.* 23: 265-273.
- Hernández X., E. y G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5 (1): 3-30.
- Herrera C., B. E., F. Castillo, G., J. Sánchez G., R. Ortega P. y M. M. Goodman. 2000. Caracteres Morfológicos para Valorar la Diversidad

entre Poblaciones de Maíz en una Región: Caso la Raza Chalqueño.
Rev. Fitotec. Mex. 23:335-354.

IBPGR.1991. Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center, International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). Rome, Italy. 88 p.

IRRI (International Rice Research Institute). 2007. Crop Stat for Windows version 7.2. Metro Manila, Philippines.

International Seed Testing Association (ISTA). 2009. International Rules for Seed Testing. The International Seed Testing Association (ISTA). Zürichstr.50 CH-8303 Bassersdorf, Switzerland. ISBN – 13 978-906549-53-8.

Kato, Y., T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos, R.A. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 116 p.

Mera O., L. M. 2009. Diversificación y Distribución Reciente del Maíz en México. *In*: Kato, Y. T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos, R.A. Bye. (eds.). Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. pp: 69-86.

Nájera C., L. A. 2010. Estudio de la Diversidad Genética de los Maíces Nativos de Coahuila, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, Coahuila, México. 84 p.

Ortega P., R. A. 1985. Descripción de algunas razas mexicanas de maíz poco estudiadas. *In*: Variedades y razas mexicanas de maíz y su evaluación en cruzamientos con líneas de clima templado como material de partida para fitomejoramiento. Traducción al español por el autor. Tesis de Ph. D. Instituto Nacional de Plantas N. I. Vavilov. Leningrado, U. R. S. S.

Ortega P., R. 2003. Diversidad de maíz en México: Causas, estado actual y perspectiva. *In*: Sin maíz no hay país. Culturas Populares. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México, D. F. pp. 123-154.

- Rohlf F., J. 2009. NTSYS-pc. Numerical Taxonomy System. Version 2.21h for Windows. Exeter Software. Setauket, New York.
- SAGARPA-SIAP. 2010. Cierre de la producción agrícola por estado. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en línea <http://www.siap.gop.mx/>. Fecha de Consulta 02 de abril 2011.
- SAGARPA-SIAP. 2010. Cierre de la producción agrícola por estado. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en línea <http://www.siap.gop.mx/>. Fecha de Consulta 17 de Enero 2012.
- SAGARPA-SIAP. 2008. Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996-2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México. 131 p.
- SAGARPA – SNICS - COLPOS (2010). Manual Gráfico para la Descripción Varietal de Maíz. (Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas - Colegio de Posgraduados). Ed. SNICS. 138p.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, and C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54: 43-59.
- Sanchez G., J.J., M.M. Goodman, and J.O.Rawlings. 1993. Appropriate Characters for Racial Classification in Maize. *Econ. Bot.* 47:44-59.
- SAS Institute. 2004. SAS/STAT® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 5121 p.
- Sneath, P. H. A. and R. R. Sokal. 1973. Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification. W. H. Freeman and Company. San Francisco. 573 p.

Wellhausen, E., L.M. Roberts, E. Hernández X., en colaboración con P.C. Mangelsdorf

- . 1951. Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Folleto Técnico No. 5, Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D. F. 293 p.