

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Caracterización Morfológica y Comportamiento Agronómico de 44 Poblaciones
Pertencientes a Cinco Razas de Maíz del Estado de Puebla

Por:

EDILBERTO BARBÓN HUESCA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Caracterización Morfológica y Comportamiento Agronómico de 44 Poblaciones
Perteneientes a Cinco Razas de Maíz del Estado de Puebla

Por:


EDILBERTO BARBÓN HUESCA


TESIS

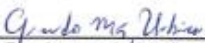
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:


M.C. María Cristina Vega Sánchez
Asesor Principal


M.C. José Luis Herrera Ayala
Coasesor


Dr. Armando Muñoz Urbina
Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía
Saltillo, Coahuila, México

Diciembre del 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios: Por caminar junto a mí en las buenas y malas, por darme fuerza en los momentos más difíciles de mi carrera universitaria.

A mi Alma Mater: Por haberme abierto sus puertas y darme la oportunidad de realizarme como profesionista.

Al Departamento de Fitomejoramiento: es un orgullo pertenecer a este departamento de mucho prestigio y conocimiento.

A la M.C. Ma. Cristina Vega Sánchez, por darme la oportunidad de realizar este trabajo, por brindarme su valiosa asesoría, tiempo, dedicación, por dar respuesta a todas mis preguntas y dudas que se generaron al momento de realizar este trabajo y por compartir sus conocimientos conmigo y por brindarme su amistad.

Al M.C. José Luis Herrera Ayala, por el apoyo que me dio para la realización de este trabajo, por su valiosa asesoría, tiempo, dedicación y por brindarme su amistad.

Al Dr. Armando Muñoz Urbina, por haberme apoyado para realizar este trabajo, por sus grandes contribuciones, aportaciones, y orientación para realizar este trabajo de gran importancia para mí.

A todos los maestros, que influyeron en mi formación como profesionista, que me inculcaron el conocimiento adquirido y por brindarme su apoyo.

Un reconocimiento a la **Ing. Griselda Villavicencio López** responsable de la región Poniente del estado de Puebla y a los **CUSTODIOS** de las razas de maíz.

DEDICATORIAS

A DIOS:

Por darme sabiduría e inteligencia durante toda mi vida, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles, por darme la oportunidad de terminar una carrera y darme una vida llena de bendiciones y amor.

A MIS PADRES: ADELAIDA HUESCA PALACIOS Y EUSEBIO BARBÓN CASIMIRO

Por darme la vida, por darme unas de las mejores herencias que es el estudio ya que sin sus apoyos nada de esto sería posible, por estar conmigo en cada éxito y derrota de mi vida, por enseñarme a valorar la vida, este trabajo se los dedico con mucho respeto, cariño y amor. Por enseñarme el mejor camino que es el de Dios, por sus grandes consejos ya que me sirvieron mucho para terminar mi carrera y saber vivir cada día de mi vida, por su apoyo económico y moral que siempre he recibido de ustedes. ¡LOS AMO Y SIEMPRE ESTARÁN EN MI CORAZÓN!

A MIS HERMANOS: RUBÍ DEL CARMEN BARBÓN HUESCA, ERIKA BARBÓN HUESCA Y FELIPE DE JESÚS BARBÓN HUESCA.

Por apoyarme siempre en cada paso de mi vida, por brindarme su respeto, cariño y amor, por ser unos excelentes hermanos que nunca me dejaron solo y siempre estuvieron en los momentos alegres y tristes que pase. Ustedes son un pilar muy importante en mi vida LOS AMO Y SIEMPRE LOS VOY APOYAR.

A MIS TÍOS: DRA. DORA LUZ RAMÍREZ MIRAVETE Y FRANCISCO HUESCA PALACIOS

Por abrirme la puerta de su casa y brindarme un hogar cuando lo necesité, por su apoyo económico y moral que en su momento me brindaron y sus buenos consejos que me ayudaron para seguir adelante.

A LOS SACERDOTES: JUAN PABLO MERCADO GONZALES, EVENCIO HERNÁNDEZ ZARATE, GILBERTO MARTÍNEZ OZUNA Y MIGUEL ÁNGEL GARCÍA VÁZQUEZ.

Por sus buenos consejos y siempre enseñarme el camino del bien, por su apoyo moral y espiritual que recibí de parte de ustedes, en especial al sacerdote **Juan Pablo Mercado** por brindarme su valiosa amistad y confianza, siempre estaré agradecido con Dios por todo el apoyo que recibí de usted.

A MIS AMIGOS DEL GRUPO UNIVERSITARIOS SCHOENSTATT:

Julio Cesar Álvarez Espinosa, Felipe Barbón Huesca, Alondra Mora Rodríguez, Sara Fabiola Espinosa Sandoval, Darwin Romario Cruz González, Lizbeth Martínez Mora, Antonio de Jesús Pérez Gómez, Osmar Efraín Argueta Damián, Jorge Pilar Solís Delgado, Julián Jiménez García, Diego Trinidad Sánchez, Lázaro Ramírez Hernández, Yaiza de Guadalupe Civas Limón, María Guadalupe Catillo Nieto y Patricia Ruiz. Gracias por brindarme su amistad durante mucho tiempo como también pasamos muchos ratos inolvidables, los quiero mucho y siempre le voy a pedir a Dios por cada uno de ustedes.

A MI NOVIA: ALONDRA MORA RODRÍGUEZ

Por apoyarme en esta última etapa de mi carrera, por el respeto, cariño y amor que todos los días me brindas, por apoyarme en los momentos difíciles de mi vida, TE AMO y siempre estaré agradecido con Dios por ponerte en mi camino.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIAS	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vi
INDICIE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Importancia del maíz en México.....	3
El maíz en el estado de Puebla.....	4
Razas de maíz.....	7
Descripción de las razas de maíz consideradas en el estudio.....	8
Bancos de germoplasma.....	11
Conservación <i>in situ</i>	11
Conservación <i>ex situ</i>	12
Análisis de Componentes Principales.....	13
Características del área de estudio en el estado de Puebla.....	18
Aspectos generales de los municipios considerados en el estudio.....	21
MATERIALES Y MÉTODO	26
Caracterización de las poblaciones de maíz.....	26
Variables agronómicas evaluadas.....	28
Análisis estadísticos para caracteres de rendimiento.....	30
Análisis multivariados para la caracterización de las poblaciones.....	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
Características cualitativas del grano.....	34

Características cuantitativas de las poblaciones de maíz.....	34
Análisis de conglomerados de los caracteres cuantitativos.....	36
Análisis de componentes principales en las poblaciones estudiadas.....	40
Análisis individual de rendimiento de mazorca y grano.....	44
Evaluación de caracteres agronómicos.....	45
Georreferenciación de las parcelas de conservación <i>in situ</i>	47
Relación entre la caracterización y el rendimiento de las poblaciones.....	50
CONCLUSIONES	52
LITERATURA CITADA	55
APÉNDICE	62

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Poblaciones correspondientes a las 44 accesiones evaluadas en el estado de Puebla.....	27
Cuadro 2. Características cuantitativas evaluadas en las poblaciones de maíz.....	28
Cuadro 3. Características cualitativas registradas en las poblaciones de maíz.....	35
Cuadro 4. Promedios de las variables de mazorca y grano de las poblaciones maíz analizadas.....	37
Cuadro 5. Valores de distancia euclidiana y pasos de enlace para la construcción del dendograma, método de enlace completo.....	39
Cuadro 6. Agrupación de las poblaciones de maíz mediante un análisis de conglomerados.....	41
Cuadro 7. Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de 16 variables morfológicas evaluadas.....	42
Cuadro 8. Cuadrados medios y coeficientes de variación para rendimiento de mazorca y grano.....	45
Cuadro 9. Comparación de medias para las variables de rendimiento de mazorca y grano al 15% de humedad.....	46
Cuadro 10. Promedios de las características agronómicas de las poblaciones de maíz evaluadas <i>in situ</i>	48
Cuadro 11. Relación de razas y ubicación geográfica de las 44 parcelas de conservación <i>in situ</i>	49
Cuadro 12. Valores de correlación fenotípica entre las variables consideradas en el análisis de componentes principales.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Climas que predominan en estado de Puebla.....	19
Figura 2. Relieves en el estado de Puebla.....	20
Figura 3. Dendograma para la clasificación de 44 poblaciones de maíz en base a caracteres morfológicos.....	40
Figura 4. Distribución de 16 variables con su peso sobre los dos primeros componentes principales.....	43
Figura 5. Agrupación de poblaciones de maíz del estado de Puebla en base a los dos primeros componentes principales.....	44
Figura 6. Ubicación geográfica de los municipios donde se localizan las poblaciones evaluadas.....	50
Figura 7. Distribución de las poblaciones de maíz en base a los dos primeros componentes principales para características de mazorca y grano.....	51

RESUMEN

Durante el ciclo agrícola primavera-verano del 2010, se establecieron en 10 municipios de la Región Poniente del estado de Puebla parcelas de conservación *in situ* en coordinación con los custodios de cinco razas de maíz (Cónico, Elotes Cónicos, Chalqueño, Pepitilla, Ancho) y dos Mezclas Varietales, representadas en 44 poblaciones. Con el objetivo de estudiar la diversidad genética y el comportamiento agronómico de este germoplasma. En la cosecha se seleccionaron 20 mazorcas de cada parcela que fueron tomadas para la caracterización, además se efectuó la evaluación del comportamiento agronómico de las poblaciones. Se estudiaron cuatro variables cualitativas, 16 variables cuantitativas de mazorca y grano y 10 caracteres agronómicos. Para la caracterización se efectuó un análisis de conglomerados y componentes principales y para la evaluación del rendimiento de mazorca y grano un análisis de varianza. Con respecto a los resultados obtenidos en las características cualitativas se observó que las poblaciones de Elotes Cónicos, Pepitilla y Ancho presentaron tipo de grano semiharinoso, en las poblaciones de Cónico, Chalqueño y Mezcla Varietal predominó tipo de grano dentado. En los caracteres cuantitativos las poblaciones Cónico, Elotes Cónicos y Chalqueño presentaron mayor peso de mazorca al 10% de humedad (M10%H) y de grano al 10% de humedad (G10%H), contrastando con las poblaciones Pepitilla, Ancho y la Mezcla Varietal las cuales tuvieron menor peso. El análisis de conglomerados, detectó diversidad entre las poblaciones, lo que permitió clasificarlas en siete grupos, el G1 representó las poblaciones que promediaron mayor longitud de mazorca (L.M.), peso de M10%H y G10%H. El G2 se formó con poblaciones de Mezcla Varietal, Chalqueño, Cónico y Elotes Cónicos siguiendo en promedio al G1, en las mismas variables. El G3 se distinguió por tener poblaciones que promediaron mayor número de granos por hilera (NGPH) y longitud de grano (L.G.). Las poblaciones comprendidas en el G4 se caracterizaron por presentar un mayor número de hileras (N.H.) pero menor ancho de grano (A.G.). La mayoría de las poblaciones de Ancho representan el G7, este

grupo sobresalió por tener el mayor A.G., peso de 100 granos (P100G), volumen de 100 granos (V100G) y menor N.H. En el Análisis de Componentes Principales con tres componentes se explicó el 85.5% de la variación total de los datos, en el primer componente las variables de mayor peso fueron P100G y V100G, en el segundo componente las variables de mayor importancia fueron N.H. y A.G. En las variables estudiadas se observó una correlación positiva y altamente significativa entre: peso de M10%H y G10%H ($r=0.997^{**}$); P100G y V100G ($r=0.947^{**}$). Con respecto a las variables que presentan una relación negativa y altamente significativa sobresale: N.H. y A.G. ($r= -0.868^{**}$). En cuanto al comportamiento agronómico para el rendimiento de mazorca y grano se presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre poblaciones, sobresaliendo las poblaciones 31(Chalqueño), 3 (Cónico) y 18 (Elotes Cónicos) con rendimientos de grano de 8.30, 7.61 y 7.55 ton ha^{-1} , respectivamente, las cuales se ubicaron en los municipios de Tepatlaxco de Hidalgo y Huejotzingo. La caracterización, evaluación agronómica y su validación a través de los análisis realizados a las 44 acciones de la región occidental del estado de Puebla permitieron conocer las variantes que las agrupa en categorías similares y categorías homogéneas para la formación de grupos base necesarios para estudiarlos posteriormente.

Palabras Clave: *Zea mays* L., Razas de maíz, Caracterización, Análisis multivariado y Potencial de rendimiento.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es la aportación de México al mundo y es centro de origen de mayor diversidad genética. Las razas mexicanas de maíz representan una riqueza genética que ha contribuido a formar un gran número de variedades mejoradas en México y en el mundo y es un elemento central en la alimentación, sociedad, cultura y economía, en el país donde se han descrito alrededor de 64 razas de maíz (Sánchez *et al.*, 2000; Carrera *et al.*, 2012).

Para promover la conservación *in situ* de los genotipos criollos locales, es necesario conocer la diversidad del maíz y su comportamiento agronómico con el fin de crear mejores variedades con alto rendimiento y resistencia (Pardey *et al.*, 2016). En los tiempos actuales con la presencia del cambio climático, la diversidad genética de las razas mexicanas de maíz adquiere mayor importancia; debido a que este fenómeno ha impuesto como principales retos al agricultor y a los científicos, incrementar el rendimiento de maíz en condiciones ambientales adversas, con el fin de satisfacer la demanda alimenticia que impone el crecimiento de la población mexicana.

Uno de los retos de los mejoradores de maíz en México es iniciar la caracterización fenotípica de las razas y sus accesiones que han demostrado tener buena respuesta en los ambientes limitantes de altas temperaturas y precipitación. En un enfoque de más largo plazo, formar nuevas poblaciones y patrones heteróticos a partir de germoplasma nativo, quedando la tarea más difícil que es la de conservar *in situ* toda esta riqueza germoplásmica para mantener la diversidad genética del maíz en su ambiente natural; el cual es un trabajo que no resulta fácil, debido a las condiciones que impone el mercado, los derechos de propiedad intelectual y la agricultura moderna de uniformizar la producción; así como, al poco apoyo y reconocimiento a los agricultores de subsistencia de México que han sido los formadores y custodios de la diversidad genética de maíz en México a través de los siglos (Ruiz *et al.*, 2013).

Sierra *et al.* (2016) mencionan que los maíces nativos de los agricultores continúan evolucionando, mejorando su rendimiento y características agronómicas, ganando especificidad para sus nichos ecológicos con selección natural para usos especiales, dentro de estos materiales los maíces pigmentados tienen un gran potencial para su uso en la extracción de pigmentos los cuales poseen importantes actividades biológicas como antioxidantes, antimutagénicas y anticancerígenas, por lo que son de gran interés para la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética (Salinas *et al.*, 2012). Otro uso de estos maíces de especialidades (raza Ancho) es en la elaboración del pozole por su tamaño de grano muy grande y por la característica del endospermo que absorbe bien la humedad y revienta (CONABIO, 2010).

Por otra parte los maíces criollos son importantes en el mejoramiento genético, en la formación de compuestos de amplia base genética así como fuente para la derivación de líneas, por lo tanto, es necesario identificar materiales sobresalientes con buenas características de mazorca y rendimiento de grano los cuales se conservan *in situ* y se mantiene *ex situ* en el Banco de Germoplasma de la UAAAN por lo cual se efectuó la presente investigación con los siguientes objetivos:

Objetivos:

- 1) Conocer la variación entre poblaciones nativas de maíz del estado de Puebla, en base a caracteres de mazorca y grano.
- 2) Valorar la diversidad agronómica y rendimiento de las poblaciones estudiadas en la región Poniente del estado de Puebla.

Hipótesis:

- 1) La descripción en base a caracteres de la mazorca y grano permiten estudiar la diversidad genética entre las poblaciones de maíz.
- 2) Con la evaluación agronómica de las poblaciones de maíz es posible explicar la variación en rendimiento entre los grupos raciales.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del maíz en México

Antes del descubrimiento de América, el maíz era la base de la alimentación de muchas comunidades indígenas. El maíz es la especie vegetal cultivada de mayor importancia socioeconómica en nuestro país de la cual se tiene una extensa información de tipo agronómico, la influencia del maíz en la alimentación humana, además de ir unido a tradiciones y costumbres locales, se basa en cualidades alimenticias, culinarias y gastronómicas, sin nombrar las económicas, que lo hacen en extensas zonas del mundo y en algunos países, el alimento humano más importante (Jugenheimer, 1981).

México se ha considerado el centro mundial de origen de este importante cultivo (Benz, 2006) ya que las condiciones que favorecieron su diversificación se deben por una parte a la amplia variación ambiental del territorio mexicano y por otra a que es una especie de polinización abierta y presenta la mayor variación genética conocida dentro de los cultivos agrícolas. Estos aspectos han sido explotados por los agricultores para conservar materiales nativos, así como, adaptar y generar germoplasma nuevo.

El maíz juega un papel central en la agricultura de todas las culturas indígenas de México, debido a su amplia adaptación a distintos ambientes; a su tolerancia y resistencia a enfermedades, plagas y cambios en las condiciones climáticas y edáficas; a sus múltiples usos como alimento o forraje y gran variedad de productos que se obtienen de esta especie (Kato *et al.*, 2009).

Paliwal (2001) menciona que en México, el maíz ha llegado a convertirse en un elemento de gran interés por las características fisiológicas de la planta, pero aún más por el trabajo de domesticación y conocimiento tradicional de los agricultores durante miles de años, que da como resultado una diversidad morfológica que va

desde sus antecesores silvestres a razas más avanzadas, pasando por las variedades criollas y los cultivares mejorados mantenidos durante generaciones por los agricultores.

Por otra parte, en la actualidad la industria lo utiliza para obtención de compuestos químicos como miel y azúcar de maíz, dextrosa, almidón o fécula, aceite, color caramelo, dextrina, malato dextrina, ácido láctico, sorbitol y etanol que son comercializados en alimentos, medicinas, cosméticos y otros productos industriales. Al obtener el etanol se le considera al maíz un recurso renovable (Kato *et al.*, 2009).

Desde el punto de vista cultural, el cultivo del maíz no implica solo a la planta, sino también la organización y creación de innumerables técnicas para cultivarlo, el surgimiento y persistencia de creencias y el simbolismo en ceremonias religiosas, su uso en regalos de bodas o como retribución al trabajo comunitario. Las sociedades y organizaciones occidentales consideran a las variedades criollas como parte del patrimonio común de la humanidad (Esteva, 2003).

Respecto al maíz y los agricultores de México que lo formaron a lo largo del tiempo, (Muñoz, 2003), señaló que los grupos humanos que se establecieron en numerosos nichos del territorio nacional dieron lugar a todas las razas de maíz existentes, y hoy día continúa el perfeccionamiento de variantes especializadas para las diferentes condiciones del medio y para los usos que requiere la gente.

El maíz en el estado de Puebla

En algunos municipios de Puebla, como Molcaxac, existe una amplia diversidad genética entre las poblaciones locales de maíz, al grado de que algunas de ellas superan o igualan en rendimiento a los híbridos comerciales recomendados para la región (Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010). La UAAAN en su Proyecto Maestro de Maíces Mexicanos, durante los ciclos agrícolas 2008, 2009 y 2010 en el parcelas de conservación *in situ* distribuidas en 38 municipios trabajó con 186 poblaciones que fueron caracterizadas en plantas y mazorca, reportando doce razas, una sub raza, criollos sobresalientes y mezclas varietales formadas por los propios agricultores con el objetivo de mejorar la calidad de su cultivo. Las razas encontradas fueron Cónico,

Elotes Cónico y Chalqueños en mayor número seguidos por Cacahuacintle, Pepitilla, Tuxpeño, Ancho, Vandeño, Palomero, Arrocillo, Olotillo, Bolita y Conejo, en algunos casos se encuentran en cruza o con influencia de otra raza (Vega, 2013). Existen diferentes trabajos sobre las diversas variedades de maíz; sin embargo, no se cuenta con un estudio lo suficientemente amplio, que englobe toda la gama de razas que posee el estado en sus múltiples ambientes, regiones y sistemas de producción particulares de cada zona.

Puebla posee una superficie de más de un millón de hectáreas para labores agrícolas. En general, la agricultura es de temporal y se encuentra en lugares con topografías muy variadas, desde las partes planas de los valles hasta zonas con pendientes pronunciadas localizadas en la sierra, en lomeríos y grandes llanos, así como en terrenos favorecidos por la humedad. En el ciclo agrícola 2011 las tierras de temporal reportadas fueron de 847,943.92 hectáreas, lo que representó aproximadamente 84% de la superficie sembrada (SIAP, 2013). Se cultivan más de cien productos, entre ellos destacan la producción de maíz, frijol, café y caña de azúcar. En los últimos años se ha avanzado en la de flores, frutas y hortalizas (Fundación Produce, 2011).

Puebla cuenta con una gran tradición y cultura del maíz, que se cultiva por grandes, medianos y pequeños productores en diversas condiciones ambientales; se encuentra en terrenos planos con una altura de cincuenta metros sobre el nivel del mar y en regiones con alturas que llegan a más de 2,700 metros (Fundación Produce, 2011). Su reproducción en elevadas alturas se constató en Ciudad Serdán, donde el cultivo de híbridos no es común, motivo por el cual los agricultores emplean variedades nativas. Un aspecto que no debe desvincularse del por qué se cultiva maíz en la entidad, es el desarrollo cultural de su rica gastronomía. La cocina poblana es fruto del mestizaje y combina elementos europeos y mexicas. Mezcla alimentos originarios de México como el maíz, chile, frijol, jitomate y el guajolote, con ingredientes del otro lado del Atlántico, como el aceite de oliva, el trigo, la cebolla y los ajos. Producto de ello emergieron un sinnúmero de platillos que convirtieron a Puebla en uno de los más importantes centros culinarios del país. Además de los

clásicos mole y chiles en nogada, existe una gran variedad de platillos a base de maíz o que van acompañados de tortillas, como chalupas, pellizcadas, esquites, peneques, picadas, quesadillas, tamales, tacos, tamaletes y tlacoyos, entre otros. En 2010 el gobierno del estado decretó a la gastronomía poblana como Patrimonio Intangible del Estado de Puebla (Conaculta, 2011).

Los productores de maíz se encuentran localizados en todo el territorio poblano; los cuales han logrado que su cultivo tenga un doble propósito: satisfacer en cierta medida las necesidades familiares y vender sus excedentes. De los 31 estados productores de maíz en México, Puebla se ubicó, durante el periodo 1990-2011, dentro de los diez primeros lugares. Datos proporcionados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) indican que se produce maíz grano en 215 municipios (SIAP, 2013). En los últimos 22 años el promedio productivo de maíz grano ha sido de 929,776.59 toneladas. En 2011 se observó el mayor descenso de la producción (611,805.06 toneladas) y un decremento en relación con 2010 de 56%, debido principalmente a las heladas que se presentaron en el ciclo agrícola. En 2012 la producción se incrementó a 1'002,278.01 toneladas, siendo el distrito de desarrollo rural (DDR) de Libres el mayor productor, con 384,293.40 toneladas, seguido por el de Cholula, con 181,918.02

Respecto de los rendimientos de maíz grano a escala nacional durante el periodo 1990-2011 se reportaron 2.93 toneladas por hectárea. En el mismo lapso Puebla registró 1.81 toneladas por hectárea (SIAP, 2013). En Puebla existen problemas estructurales en la producción de maíz. El Sistema Producto Maíz ha detectado los principales: condiciones climáticas y falta de adaptabilidad de las semillas; insuficiente asistencia técnica y financiamiento; baja vinculación productor-comercializador; escasa innovación tecnológica; e incipiente organización de los productores (Fundación Produce, 2011).

Razas de maíz

Anderson y Cutler (1942) y Harlan y de Wet (1971) mencionan que el término raza se ha utilizado en el maíz y en las plantas cultivadas para agrupar individuos o poblaciones que comparten características en común, de orden morfológico, ecológico, genético y de historia de cultivo, que permiten diferenciarlas como grupo.

Las razas se agrupan a su vez en grupos o complejos raciales, los cuales se asocian a una distribución geográfica y climática más o menos definida y a su historia evolutiva común. (Goodman y Bird, 1977 y Sánchez *et al.*, 2000).

Wellhausen *et al.* (1951), basándose en la definición de raza propuesta por Anderson y Cutler (1942) y mediante la caracterización de caracteres vegetativos de la planta, la espiga y la mazorca, además de los genéticos, fisiológicos y citológicas, lograron clasificar las primeras 25 razas mexicanas, las razas se nombran a partir de distintas características fenotípicas (por la forma de la mazorca), tipo de grano (por la capacidad del grano para explotar y producir palomitas), por el lugar o región donde inicialmente fueron colectadas o son relevantes por el nombre con que son conocidas por los grupos indígenas o mestizos que las cultivan. De acuerdo a sus características, estas razas fueron divididas en cinco grupos.

Razas indígenas antiguas: que incluyen las razas Palomero Toluqueño, Arrocillo amarillo, Chapalote y Nal-tel, son maíces reventadores o palomeros.

Razas exóticas precolombinas: se creó que fueron introducidas a México de Centro y Sudamérica, reconociendo dentro de éstas al Cacahuacintle, Harinoso de ocho, Olotón y Maíz dulce.

Razas mestizas prehistóricas: se originaron por hibridación entre las razas de los dos primeros grupos derivándose ocho razas, entre ellas la raza Cónico, la sub-raza Elotes Cónicos, Olotillo y Tuxpeño.

Razas modernas incipientes: desarrolladas desde la época de la conquista y que aún no han alcanzado condiciones de uniformidad racial, pero que poseen cierto número

de características que hace que se distingan como una raza. Dentro de este grupo se localiza la raza Chalqueño.

Razas no bien definidas: la información reunida no justifica su clasificación con un grado suficiente de seguridad.

En América Latina se han descrito cerca de 220 razas de maíz (Goodman y Bird. 1977), de las cuales 64 (29%) se han identificado, y descrito en su mayoría, para México (Sánchez et al., 2000).

Descripción de las razas de maíz consideradas en el estudio

Cónico

La raza Cónico, como su nombre lo indica, agrupa un conjunto de poblaciones de la maíces de mazorca de forma cónica o piramidal, que presentan una amplia variación en color de grano, siendo el más frecuente el blanco, diferentes tonalidades de amarillo, morados y rojos; en textura de grano son principalmente semicristalinos y semidentados. Su longitud de ciclo de vida es de medio a precoz (Wellhausen *et al.*, 1951).

Se cultiva en las áreas agrícolas de temporal de zonas altas y templadas de la Mesa Central, principalmente en los estados de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo, desde los 950 hasta arriba de los 3,000 m, aunque predomina entre los 1,800 y 2,800 m. Esta raza presenta un vigor de emergencia alto y tolerancia al frío por lo que se llega a cultivar hacia las faldas de los volcanes del centro de México (CONABIO, 2010). Su uso es amplio: tortilla, elotes, antojitos y como forraje. Ha sido empleada como fuente de materiales mejorados de valles altos en México y para ampliar la base genética de maíces mejorados en áreas templadas de otras regiones del mundo. Se postula que se originó de la selección a partir de la cruce natural de poblaciones de las razas Palomero Toluqueño y Cacahuacintle.

Elotes Cónicos

Se considera una subraza de los Cónicos se caracteriza por sus mazorcas con granos semi-harinosos de coloración rojiza a morado o negra, pigmentaciones que se presentan en la aleurona (tejido interno del grano) o en el pericarpio. Es característico en esta raza la presencia de un pedúnculo (estructura que conecta a la mazorca con el tallo de la planta) extremadamente pequeño o delgado, lo que da lugar a que los granos cubran prácticamente la base de la mazorca (Wellhausen *et al.*, 1951; CONABIO 2010).

Se cultiva principalmente en la Mesa Central: Estado de México, Michoacán, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y partes altas y frías de Veracruz y en la Mixteca de Oaxaca, a alturas de 1,700 a 3,000 msnm (Aragón *et al.*, 2006; Hernández, 2010).

Por sus caracteres de color y textura de grano es muy apreciada para elotes ya que son más dulces y blandos que otros maíces de la raza Cónico con los cuales coincide en su distribución (Wellhausen *et al.*, 1951). Tiene alto potencial por su alta producción de pigmentos. En la región centro del país está aumentando el uso de estos maíces de color para ofrecer tortillas o antojitos como signos de calidad o novedad (CONABIO, 2010).

Chalqueño

Domina en las partes altas, arriba de 1,800 m en suelos volcánicos que retienen humedad de las precipitaciones invernales, y en terrenos con riego, donde no hay maíces mejorados adecuados en los valles altos del centro de México. También es fundamental para siembras en suelos de humedad en lugares altos de Durango, Zacatecas y en la Mixteca Oaxaqueña.

Producen gran cantidad de biomasa debido a sus plantas vigorosas y mazorcas grandes, aunque esta característica, aunada a la debilidad de las raíces, propicia la caída de las plantas (acame) ante los vientos fuertes. Tienen hojas péndulas (caídas) que toleran las granizadas. Sus mazorcas presentan una alta proporción de

desgrane debido a sus hileras numerosas, olote de grosor medio y grano grande (CONABIO. 2010).

Raza polimórfica por sus variantes de textura (harinosos a semidentados y semicristalinos) y coloración de grano (blanco, amarillo, rojo, rosado, azul). En el valle de Chalco-Amecameca se distinguen, con base en estos caracteres, los tipos: “crema”, de grano semicristalino con coloraciones amarillo claro a blanco; “palomo”, de textura semiharinosa y grano blanco; “azul”, de grano semiharinoso, morado a azul oscuro; “colorado”, de textura semiharinosas y coloración rosado a rojo; y “amarillo”, ya en baja frecuencia, de textura semicristalina (Hernández, 2010).

Ancho

Se caracteriza por sus mazorcas semicilíndricas, con granos muy grandes, anchos en longitud, aunque con menor dimensión en grosor, generalmente dentados (Ron *et al.*, 2006).

Es el maíz pozolero por excelencia en Guerrero, estado donde se concentra su mayor diversidad, aunque también se ha reportado su distribución y uso para el mismo fin en los estados de Morelos, Puebla, Michoacán y Jalisco, entre 800 a 1,800 m (Gómez *et al.*, 2010; CONABIO, 2011).

Por sus atributos adecuados para pozole, consistentes en tamaño de grano grande y endospermo que absorbe bien la humedad y que revienta (se apozola) al nixtamalizarse (CONABIO, 2010), su cultivo se ha extendido a la zona centro del país, en las partes altas de Morelos y se han registrado esfuerzos de los agricultores por adaptarla a la zona de Chalco-Amecameca (2,490 m) en el Estado de México (Perales *et al.*, 2003; Gómez *et al.*, 2010). En las Huastecas se han obtenido colectas con influencia de esta raza (Taba *et al.*, 2008).

Pepitilla

Es característico de esta raza sus mazorcas de forma cónica de olote delgado con numerosas hileras de granos, alargados y puntiagudos, similares a las pepitas de

calabaza (Wellhausen *et al.*, 1951). Presenta una gran variación morfológica en grosor de mazorca, número de hileras (18 a 30), tamaño y color de grano.

Su centro de distribución, donde se han colectado sus variantes típicas, ocurre entre el sur de Morelos, suroeste de Puebla y norte de Guerrero. Se adapta a suelos delgados, marginales y de ladera (CONABIO, 2010).

En análisis de accesiones de esta raza se ha detectado alto contenido proteico (12%) y de aceite (6%). Sus principales usos son para tortilla -se considera que con esta raza se elabora la mejor calidad de tortilla-, elote, atole y tamales (CONABIO, 2011).

Bancos de germoplasma

Los bancos de germoplasma tienen como objetivo preservar la diversidad de los recursos fitogenéticos de las especies cultivadas y sus especies relacionadas y corregir la uniformidad derivada de las prácticas de mejoramiento genético que han reducido la base genética de los cultivos y que causan la indefensión de la poblaciones ante el ataque de patógenos para el que no existe resistencia (Martín, 2002).

Graur y Wen-Hsiung (2000) mencionan que además de las funciones de conservación y mantenimiento, los bancos de germoplasma tienen un papel importante en la gerencia de los recursos fitogenéticos ya que su propósito no solo se limita a la conservación de especies sino que además incluye funciones tales como la documentación, caracterización, evaluación de la variabilidad genética, estudios filogenéticos y lo más importante como es el mejoramiento de caracteres deseables y la multiplicación y distribución del germoplasma.

Conservación *in situ*

Los agricultores que cultivan maíz en muchas regiones de México contribuyen a la conservación y generación de la diversidad *in situ*. Así, en la práctica mantienen las variedades locales tradicionales al pasarlas de generación en generación y por otro lado, al seleccionar deliberadamente las semillas más favorables por sus diversas

características, a través de las variantes que se han ido presentando por selección natural, mutación, introducción, recombinación y aislamiento, llegan a formar nuevos tipos, variedades o razas a través del tiempo (Herrera *et al.*, 2002).

De acuerdo a investigaciones actuales se sabe que las razas de maíz poseen una mejor adaptación específica a ciertas condiciones locales que las variedades mejoradas. Estas diferencias se acentúan en ambientes desfavorables, por lo que se espera que las razas de maíz aporten diversidad genética relacionada con la adaptación de estrés ambiental, incluyendo condiciones de sequía. Especialmente en centros de origen y diversidad de los cultivos, como lo es México para el maíz, se cree que las razas conservadas *in situ* son más rústicas, toleraran y se adaptarán al cambio climático (Ruíz *et al.*, 2013). En el estado de México el cultivo del maíz pozolero y de colores muestran que hay vínculos establecidos entre los productores y los mercados lo que les genera mayores ingresos y por ello conservan *in situ* sus variedades locales de maíz criollo (Hellin y Keleman, 2013).

Conservación *ex situ*

El objetivo primordial de la conservación *ex situ* es mantener la supervivencia de las especies sobre todo cuando se trata con especies críticamente amenazadas, el almacenamiento de germoplasma en un sitio diferente al del lugar de origen es el método predominante en la agricultura (St. Clair, 2008). Rice *et al.* (2006) señalan que en la conservación *ex situ* se colecta material genético usualmente semilla y se protege en almacenamiento en bancos de germoplasma, estas colectas preservan alelos coadaptados y son muestras representativas de criollos de centros primarios y secundarios los cuales han acumulado mutaciones por milenios.

Banco de Germoplasma es una unidad dinámica donde se concentra por tiempo indefinido la mayor diversidad genética posible, expresada por un alto número de biotipos representativos de la especie y especies afines. La semilla se guarda bajo condiciones controladas para conservar su longevidad, la viabilidad de la semilla depende fundamentalmente de la temperatura y la humedad, conservando su viabilidad por más tiempo cuando su contenido de humedad es muy bajo (4 a 7%),

en una atmósfera seca o al vacío (semillas enlatadas) y a una temperatura baja, variado de 2 a 5°C. Por lo tanto, la semilla se guarda a baja humedad en frascos de vidrio con insecticida en cuartos refrigerados y aire seco. Bajo estas condiciones puede sembrarse la semilla con frecuencia de una vez cada 10 años.

Cuando se requiere conservar la semilla por más años las condiciones se mantienen a -3°C, lo que asegura la viabilidad de la semilla durante 25 a 40 años. Las colecciones base se conservan a -18°C, con lo que se mantiene la germinación por más de 50 años. La capacidad de germinación se vigila cuidadosamente y, en caso necesario, se planta la semilla siguiendo métodos aceptados internacionalmente para generar muestras frescas que contengan la diversidad genética del original (CIMMYT, 2015). El Banco de Germoplasma del CIMMYT tiene una capacidad de almacenaje de 450,000 muestras de semilla, además de instalaciones especiales donde se trata y empaqueta la semilla.

Análisis de Conglomerados

El análisis de conglomerados (AC), es un método multivariado comúnmente usado para estudiar la diversidad genética de colectas en los bancos de germoplasma y para formar subgrupos base, agrupando las colectas con base en características similares en categorías homogéneas (Taba *et al.*, 1994). El procedimiento estándar para identificar y clasificar numéricamente unidades taxonómicas en taxas con base a n observaciones multivariadas se lleva a cabo mediante los métodos de agrupamiento jerárquicos, los métodos jerárquicos son los más usados en análisis de diversidad genética en plantas, en estos métodos el agrupamiento empieza con un primer grupo, por lo que existirán tantos grupos como individuos se estén clasificando. Los individuos más similares son agrupados primero y estos grupos iniciales son unidos acorde a sus similitudes, la caracterización morfológica es el primer paso en la descripción del germoplasma (Crossa *et al.*, 1995).

Análisis de Componentes Principales

La técnica de análisis de componentes principales (ACP), simplifica el número de variables en donde un parámetro como rendimiento o calidad pueden estar

determinado por un gran número de variables y ninguna de ellas por si sola expresa adecuadamente en forma global estos parámetros, el ACP comprende un procedimiento matemático, que transforma un conjunto de variables correlacionadas de respuesta en un conjunto menor de variables no correlacionadas, llamadas componentes principales (Wiley, 1981). El primer paso es calcular los valores propios, los cuales definen la cantidad total de variación, que está desplegada sobre los ejes del componente principal. El primer componente explica la mayoría de la variabilidad presente en los datos originales relativos a todos los componentes remanentes, y el segundo componente explica otra parte del complemento del total de la variabilidad, no considerada por el primer componente principal (CP); en ambos casos, dichos componentes no están correlacionados y así en adelante. El ACP puede ser mejorado por dos tipos de matrices de datos: una matriz de varianza-covarianza, y otra por la matriz de correlaciones. Con caracteres de diferentes escalas es preferida la matriz de correlación estandarizada de los datos originales, si los caracteres son de la misma escala, puede usarse la matriz de varianza-covarianza (Johnson, 2000).

Existe una serie de trabajos en que se han encontrado útiles estas técnicas en clasificación de las razas de maíz.

Ramírez (2015) clasificó nueve razas de maíz representadas en 35 poblaciones del estado de México, sometiendo al análisis de Componentes Principales y Conglomerados 18 variables morfológicas de mazorca y grano (previa caracterización), encontró que los dos primeros Componentes Principales explicaron el 53.3% de la variación total de las variables. En el primer componente las características de mayor importancia fueron peso de grano y mazorca y diámetro de mazorca; en el segundo componente fueron grosor de grano, grosor de grano/ longitud de grano y grosor de grano/ ancho de grano. En el análisis de conglomerados se encontraron nueve grupos.

Al estudiar 14 poblaciones de maíz palomero del estado de Puebla, Tlaxcala y México y tres testigos comerciales por medio del análisis de Componente Principales y Conglomerados de características morfológicas y de expansión de grano. Rojas

(2016) encontró que el 78.8% de la variación de 14 variables estudiadas fue explicada por los dos primeros Componentes Principales. En el CP1 las variables con mayor peso fueron longitud de grano, grosor de grano/longitud de grano, número de granos en 50cc y número de granos expandidos y en CP2 sobresale grosor de grano y peso de 100 granos. El análisis de conglomerados clasificó cuatro grupos: los G1 y G2 con buen comportamiento en las pruebas de expansión, el G1 con bajos valores de longitud y ancho de grano y peso y volumen de 100 granos; en el G3 con promedios más altos para estas últimas variables pero con los más bajos promedios en pruebas de expansión y el G4 incluyó a los testigos comerciales con los menores promedios para longitud y ancho de grano y peso y volumen de 100 granos con el mejor comportamiento en la prueba de expansión.

Casiano (2015), por medio del análisis de Componentes Principales y Conglomerados estudió 13 poblaciones representativas de cinco razas de maíz del estado de Tlaxcala encontró que con los dos primeros Componentes Principales se explicó el 73.9% de la varianza de las 21 variables estudiadas, en el primer C.P las variables de mayor importancia fueron ancho de grano, peso y volumen de 100 granos y en el CP2 fueron longitud de mazorca, número de granos por hilera, el diámetro de mazorca/longitud de mazorca y grosor de grano/longitud de grano. En el análisis de Conglomerados, clasificó tres grupos, el G1 comprende a las poblaciones de menor longitud de mazorca, el G2 con longitud intermedia de mazorca, más alto diámetro de mazorca y ancho y grosor de grano y el G3 a las poblaciones con mayor longitud de mazorca.

Revilla y Tracy (1995) clasificaron cultivares de maíz dulce basados en su morfología, al estudiar las relaciones entre las variables morfológicas en el grupo de cultivares determinaron que el primer Componente Principal (CP), explicó el 37% y el segundo componente el 13%, acumulando en los dos primeros componentes el 50% de la varianza explicada. El principal grupo de cultivares se distribuyó linealmente a lo largo del primer CP desde los tipos de menor altura y madurez precoz a los tipos altos y tardíos. El segundo CP incluyó características de tamaño de grano y mazorca. En el análisis de Conglomerados cinco grupos y seis cultivares independientes

fueron descritos. La longitud de mazorca se asoció con peso de grano y número de granos por hilera.

En el verano del 2002, Espinoza (2007) evaluó 28 colectas de maíz, en el Campo Experimental de la Universidad (UAAAN), en un diseño de bloques al azar y dos repeticiones, se tomaron datos de 14 variables: rendimiento de grano, nueve relacionadas con la mazorca y cuatro agromorfológicas. Las variables se sometieron a un análisis de Componentes Principales para determinar las características con mayor valor descriptivo. Los dos primeros Componentes Principales explicaron el 76.45% de la variación presente. Las variables: peso de mazorca, rendimiento de grano, diámetro de mazorca, diámetro de olote y peso de olote en el componente 1, y floración femenina, altura de planta y altura de mazorca en el componente 2, fueron las de mayor importancia para describir el comportamiento de las colectas. Ambos grupos de variables mostraron independencia. Sobresalieron las colectas de Durango, Coahuila y Oaxaca, donde la colecta 16 (Durango), mostró el mayor peso de mazorca.

Rincón *et al.* (2010) señalan que los caracteres de la mazorca de maíz han sido de gran utilidad en la descripción y clasificación racial del maíz encontrando que las relaciones de poblaciones con base a los caracteres de la mazorca, son congruentes con las clasificaciones realizadas. En el análisis de Componentes Principales (ACP), efectuado con maíces nativos de Coahuila, con los primeros dos componentes se explicó el 57.01% de la variación acumulada en los 15 caracteres, la variación en el primer componente fue determinada por la longitud y diámetro de mazorca, longitud y peso seco de grano; el segundo componente por el ancho de grano y las relaciones diámetro de olote/mazorca y ancho/largo de grano. Para el análisis de Conglomerados a una distancia de 1.25 se formaron dos grandes grupos, identificados como el complejo mazorca cónica y el otro del tipo de mazorca cilíndrica. También a una distancia de 0.7 se identificaron siete grupos importantes: los primeros dos dentro del complejo cónico (Cónico Norteño, Elotes Cónicos) y el resto dentro del complejo mazorca cilíndrica (Celaya, Olotillo, Ratón, Tuxpeño Norteño y Tuxpeño).

En un análisis de Conglomerados Padrón *et al.* (2010) clasificaron siete poblaciones de maíz, utilizando características de mazorca y grano, el análisis mostró la formación de tres grupos principales. Dentro de las siete poblaciones de maíz la 3 (Criollo rojo de San Mateo) y 5 (Criollo rosado pinto violento) registraron el menor coeficiente de disimilitud, seguido de las poblaciones 2 (Ixtlahuaca) y 7 (Amarillo Criollo de Ixtlahuaca). La población 4 (Cacahuacintle) mostró el mayor grado de divergencia con respecto al resto de las poblaciones de maíz.

Ruíz *et al.* (2013) en maíz caracterizaron el efecto de la precipitación e índice de humedad sobre los grupos raciales. A partir de esta caracterización se tipificaron los grupos raciales por condiciones de humedad disponible para el maíz. En el análisis de agrupamiento trabajaron con 54 razas de maíz y 10 variables agroclimáticas. A una distancia euclidiana de 0.234 se formaron cinco grupos de razas de maíz. Los resultados muestran que hay un grupo integrado por las razas Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Tuxpeño Norteño, Cónico Norteño, Tablilla de Ocho y Gordo. Este grupo se identificó como el de mayor adaptación a un temporal más seco, incluso con condiciones de semiaridez. Lo que indica que en nuestro país existen recursos genéticos de maíz adaptadas a condiciones de sequía que pueden contribuir a la generación de variedades adaptables a condiciones hídricas menos favorables por la presencia del cambio climático.

Durante el ciclo agrícola primavera-verano del 2010, Rocandio *et al.* (2014) establecieron un experimento con 119 accesiones representativas de siete razas de maíz (Arrocillo amarillo, Chalqueño, Cónico, Elotes Cónicos, Cacahuacintle, Palomero Toluqueño y Purépecha), trabajando con las variables: Floración femenina, Hojas arriba de la mazorca y 11 variables tomadas de mazorca y grano. Las variables fueron sometidas a un análisis de componentes principales (ACP). Los dos Primeros Componentes explicaron 68.2% de la variación total, en el CP1 la longitud de la rama central de la espiga, longitud de la mazorca, anchura de grano, espesor de grano, peso de 100 granos y la relación anchura/longitud de grano contribuyeron mayormente a la variación explicada por este componente, en tanto que el CP2 las características de mayor importancia fueron días a floración femenina, hojas arriba

de la mazorca y longitud de grano. En el análisis de Conglomerados el dendograma permitió distinguir tres grupos a una distancia euclidiana de 0.59. Se observó continuidad en los agrupamientos de acuerdo con las medidas de similitud, debido principalmente a la diversidad en la duración del ciclo biológico y tamaño de la mazorca, en la parte superior del dendograma se ubicaron las accesiones del ciclo tardío (grupo1) y mazorca grande y en la parte inferior estuvieron los genotipos con mazorcas pequeñas y más precoces (grupo 3).

Características del área de estudio en el estado de Puebla

Puebla es uno de los 31 estados de los Estados Unidos Mexicanos. Está ubicado en las regiones Este, Sierra Madre Oriental y Eje Neovolcánico. Limita al norte con Tlaxcala e Hidalgo, al noreste con Veracruz, al sur con Oaxaca, al suroeste con Guerrero y al oeste con Morelos y el estado de México. Puebla no tiene salida al mar y presenta un relieve sumamente accidentado. El estado de Puebla está dividido en 217 municipios. (INEGI, 2010)

Superficie

El estado de Puebla representa 1.75% de la superficie del país, tiene una extensión de 34, 306 Km².

Clima

El 35% de la superficie del estado presenta clima templado subhúmedo presente en la región central y sureste, el 25% presenta clima cálido subhúmedo en la parte norte y sureste, el 19% presenta clima seco y semiseco hacia el sur y centro oeste, el 14% presenta clima cálido húmedo se localiza en el norte y sureste, el 7% presenta clima templado húmedo en la región norte y una pequeña área hacia el sureste, también encontramos un pequeño porcentaje (0.2) de clima frío en la cumbre de los volcanes (Figura 1).

La temperatura media anual del estado es de 17.5°C, la temperatura máxima promedio es de 28.5°C y se presenta en los meses de abril y mayo, la temperatura

mínima promedio es de 6.5°C durante el mes de enero. La precipitación media estatal es de 1 270 mm anuales, las lluvias se presentan en verano en los meses de junio a octubre.

Las áreas agrícolas en la entidad se encuentran principalmente en las regiones con clima templado subhúmedo, el maíz aún es el cultivo principal; también se produce cacahuate, papa, ajo y frijol, entre otros. Las frutas son: manzana, perón, aguacate, café y naranja.

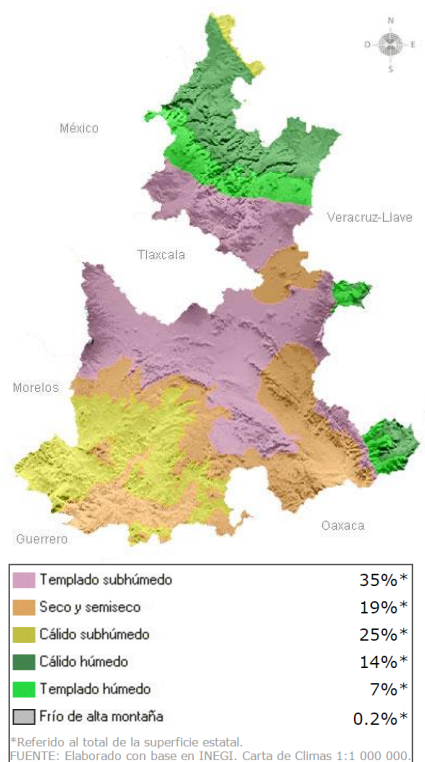


Figura 1. Climas que predominan en el estado de Puebla. (INEGI, 2010)

Relieve

La superficie estatal forma parte de la: Sierra Madre del Sur, Eje Neovolcánico, Sierra Madre Oriental y Llanura Costera del Golfo Norte. En el suroccidente hay sierras, en su mayoría conformadas por rocas de tipo metamórfico (han sufrido cambios por la presión y altas temperaturas) y sedimentario (se forman en las playas, los ríos, océanos y en donde se acumulen la arena y barro), ahí se encuentra el cerro

Tecorral con una altitud de 2 060 metros sobre el nivel del mar (msnm) y un cañón por donde fluyen las aguas del río Atoyac (INEGI, 2010).

En el centro predominan llanuras y lomeríos que separan a sierras en dirección noroeste-sureste con altitudes de 4 540 msnm como la Sierra Negra y cerro Zizintépetl con 3 260 msnm, en esta zona también se localiza la altura más baja con 100 m, en el cañón que ha desarrollado el Río Tonto. Hacia el norte hay llanuras y lomeríos con los volcanes Popocatepetl, Malinche y Pico de Orizaba o Citlaltépetl, este último con una altitud de 5 610 msnm (INEGI, 2010).

Existe la presencia de la depresión (zona que se encuentra en un nivel más bajo que la mayor parte de la tierra que la rodea) Teziutlán y en la parte norte se localizan valles (Figura 2).

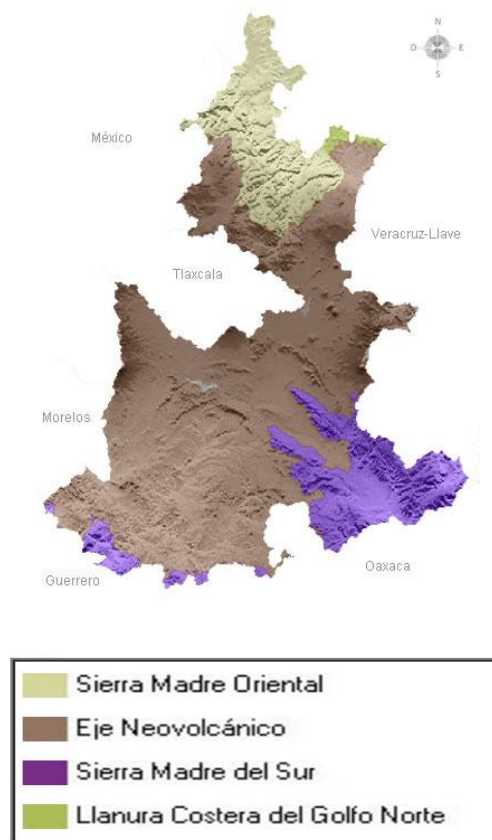


Figura 2. Relieves en el estado de Puebla. (INEGI, 2010)

Aspectos generales de los municipios considerados en el estudio

Huejotzingo

El municipio de Huejotzingo se encuentra en la centro-oeste del estado de Puebla; entre el valle de Puebla-Tlaxcala y las elevaciones de la Sierra Nevada, justo al pie del volcán Iztaccíhuatl, la tercer montaña más alta de México. Tiene una extensión territorial de 250.41 km² y sus coordenadas geográficas extremas son 19° 06' - 19° 16' de latitud norte y 98° 20' - 98° 38' de longitud oeste; su altitud fluctúa entre 2 180 metros sobre el nivel del mar en el valle y 5 100 en la cumbre del Iztaccíhuatl.

Se presenta la transición climática de los templados del valle de Puebla, a los ríos de las cumbres altas de la sierra, pasando por los semifríos, se identifican tres climas:

Clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Es el clima predominante sobre todo en la zona correspondiente al valle.

Clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano. Se presenta en las faldas inferiores de la sierra al poniente.

Clima frío. Se identifica en las partes más altas de la sierra del estado.

San Martín Texmelucan

San Martín Texmelucan se encuentra localizado en la zona oeste del Valle de Puebla-Tlaxcala y en las estribaciones de la Sierra Nevada, junto a los límites con el estado de Tlaxcala y cercano a los del estado de México, tiene una extensión territorial de 71.45 km² y sus coordenadas extremas son 19° 12' - 19° 20' de latitud norte y de 98° 22' - 98° 30' longitud oeste, su altitud fluctúa entre los 2 200 y 2 500 metros sobre el nivel del mar.

Limita al noroeste con el municipio de San Salvador el Verde, al suroeste con el municipio de San Felipe Teotlalcingo, al sur con el municipio de Chiantzingo y al sureste con el municipio de Huejotzingo; al noreste limita con el estado de Tlaxcala, en particular con el municipio de Ixtacuixtla de Mariano Matamoros, el municipio de Tepetitla de Lardizábal y el municipio de Nativitas.

El clima que se registra en San Martín Texmelucan se divide en dos clasificaciones, el sector oeste y suroeste tiene un clima Templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad y el resto del territorio el clima Templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media; la temperatura media anual se encuentra entre los 14 y los 16°C; y la precipitación promedio anual de 800 a 1 000 mm.

Atlixco

El municipio abarca un área de 293.01 km² y se encuentra a una altitud promedio de 1840 msnm. Colinda al norte con el municipio de Tianguismanalco, al este con Santa Isabel Cholula, Ocoyucan, San Diego, la Mesa Tochimiltzingo y la ciudad de Puebla; al sur con Huaquechula y Tepeojuma, y al oeste con Atzitzihuacán y Tochimilco.

El territorio del municipio se encuentra comprendido dentro de dos unidades morfológicas divididas por la cota 2,000 que atraviesa el Noroeste; hacia el Noroeste se encuentra el valle de Puebla, y de la cota hacia el este, el Valle de Atlixco; ambos descienden de las faldas meridionales de la Sierra Nevada. La orografía del terreno muestra su menor altura al sur con 1,700 msnm.; conforme se avanza el Noroeste, el nivel del terreno va ascendiendo suavemente, por ser estribaciones del Volcán Iztaccíhuatl; así el extremo Noroeste alcanza la cota de 2,500 msnm. El centro del municipio es un extenso valle, que lo recorre de norte a sur, y es donde se concentran la mayor parte de las localidades y vías de comunicación. Al sureste, aparecen formaciones montañosas aisladas que culminan en los cerros de Zoapiltepec y Texistle, que alcanzan un nivel superior a los 2,100 msnm; también existen unos cerros aislados al norte, como el Pochote, Tecuitlacuelo, loma La Calera y El Perro.

Tianguismanalco

El municipio se encuentra a una altitud promedio de 2140 msnm y abarca un área de 133.22 km². Colinda al norte con el municipio de San Nicolás de los Ranchos, al oeste con el municipio de Tochimilco y Nealtican, al sur con Atlixco y al este con Santa Isabel Cholula.

Al noroeste de la cabecera municipal se encuentra el Malpaís de Nealtican, un promontorio de arena y roca volcánica que constituye la falda más oriental del volcán Popocatepetl. Se localiza casi enteramente dentro de los límites municipales de Tianguismanalco. Se encuentra cubierto de un denso bosque de pino-encino, atravesado por unas cuantas veredas de uso recreativo. Por la constitución del terreno, la actividad humana en el Malpaís ha sido históricamente limitada, si bien sus bordes están formados por pedregales que se usan para la extracción de tezontle.

Tepatlxco de Hidalgo

Es un municipio que se localiza en la parte central del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 19° 00' 36" y 19° 11' 42" de latitud norte y los meridianos 97° 54' 06" y 98° 00' 00" de longitud occidental. Limita al norte con el estado de Tlaxcala, al sur con Amozoc y Acajete, al oriente con Acajete, y al poniente con Amozoc y el municipio de Puebla. Tepatlxco es parte de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala.

El municipio se ubica dentro de la zona de climas templados del valle de Tepeaca; muestra un descenso constante de temperatura conforme se avanza de sur a norte. Predomina el clima templado subhúmedo con lluvias en verano identificándose en un área muy reducida del extremo sureste y también en las faldas inferiores de la Malinche. Asimismo, se presenta el clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano localizándose en las partes más altas del volcán de La Malinche, excluyendo la cumbre que presenta un clima frío.

Santa Isabel Cholula

El municipio de Santa Isabel Cholula se localiza en la parte centro oeste, del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 18°56'36" y 19°00'30" de latitud norte y los meridianos 98°21'18" y 98°24'54" de longitud oeste. El municipio colinda al norte con los municipios de San Gregorio Atzompa y San Jerónimo Tecuanipan, al sur con el municipio de Atlixco, al este con el municipio de Ocoyuca, al oeste con los municipios de Tianguismanalco y San Jerónimo Tecuanipan.

Tiene una superficie de 32.68 km² que lo ubica en el lugar 153 con respecto a los demás municipios del estado. El municipio se localiza dentro de la zona climática de los templados del Valle de Puebla, y se identifica un clima: templado subhúmedo con lluvias en verano.

Tochimilco

El municipio de Tochimilco se encuentra localizado en el occidente del estado de Puebla, haciendo límite con los estados de Morelos y México, sus coordenadas extremas son 18° 50' - 19° 02' de latitud norte y 97° 18' - 97° 26' de longitud oeste y su extensión territorial es de 233.45 km² que lo convierten en el cuadragésimo octavo municipio más extenso del estado de Puebla; su altitud fluctúa desde los 5 500 metros sobre el nivel del mar de la cumbre del Popocatepetl hasta 1 800 metros en las zonas más bajas.

Limita al norte con el municipio de San Nicolás de los Ranchos, al noreste con el municipio de Tianguismanalco, al este con el municipio de Atlixco y al sur con el municipio de Atzitzihuacán; al noroeste limita con el municipio de Atlautla del Estado de México y al oeste con el municipio de Tetela del Volcán del estado de Morelos. El clima es generalmente templado durante todo el año.

San Nicolás de los Ranchos

El municipio de San Nicolás de los Ranchos se localiza en la parte centro este del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son: los paralelos 19° 01' 24'' y 19° 08' 30'' de latitud norte, y los meridianos 98° 28'24'' y 98° 39'00'' de longitud occidental. El municipio colinda al norte con los municipios de Domingo Arenas, Huejotzingo y Calpan, al sur con los municipios de Tochimilco, Tianguismanalco y Nealtican, al este con el municipio de San Jerónimo Tecuanipan, al oeste con el estado de México y el volcán Popocatepetl.

Tiene una superficie de 162.45 kilómetros cuadrados, que lo ubica en el lugar 61 con respecto a los demás municipios del estado. Cuenta con tres Localidades, siendo las

más importantes: Santiago Xalitzintla, San Pedro Yancuitlalpan y San Nicolás, pertenecen a la región socioeconómica IV de San Pedro Cholula.

El clima de San Nicolás de los Ranchos se divide en dos zonas muy bien definidas. La zona más oriental, más baja y que forma parte del valle de Puebla-Tlaxcala, tiene un clima catalogado como templado subhúmedo con lluvias en verano. Cerca de la mitad occidental, donde se eleva hacia la Sierra Nevada, tiene un clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual se registra en una sucesión de bandas que desde las partes elevadas de la sierra descienden hacia el valle, registrándose en las cumbres un promedio inferior a los 4 °C, hasta un promedio de 14 °C en la zona urbana y de 16 °C en los extremos este y sureste del municipio. La precipitación media anual de la zona más occidental va de 1200 a 1500 mm y en la mitad oriental es de 1000 a 1200 mm.

Cohuecan

Cohuecan se localiza al centro oeste del estado entre las coordenadas geográficas 18° 41' 4" y 18° 50'48" de latitud norte, y 98° 39'42" y 98° 44' 8" de longitud oeste; a una altura promedio de 1,700 metros sobre el nivel del mar. El municipio colinda al norte con el estado de Morelos; al este con el estado de Morelos; al sur con el estado de Morelos, en particular con el municipio de Tetela del Volcán y con el municipio de Zacualpan de Amilpas; y al oeste con Acteopan. Cuenta con una extensión territorial de 51.03 km².

El municipio presenta dos climas: semicálido subhúmedo con lluvias en verano, el cual se presenta al norte del territorio; y semicálido subhúmedo con lluvias en verano, el cual cubre el sur del municipio. La temperatura media anual es de 19°C, con máxima de 28 °C y mínima de -2 °C. El régimen de lluvias se registra entre los meses de mayo y agosto, contando con una precipitación media de 500 milímetros (INEGI, 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético utilizado en el presente experimento se observa en el Cuadro 1, el cual está constituido por 44 poblaciones de maíz que se cultivaron *in situ* en la región Poniente del estado de Puebla en el ciclo P-V 2010, de las cuales 16 poblaciones corresponden a la raza Cónico, 12 a la raza Elotes Cónicos, tres de la raza Chalqueño, seis a la raza Pepitilla, cinco a la raza Ancho y dos a la Mezcla Varietal. Dentro de estas poblaciones se encuentran algunas mezclas entre razas por ejemplo Cónico x Chalqueño, Cónico x Vandeño, Elotes Cónico x Pepitilla y Chalqueño x Cónico. Con respecto a la Mezcla Varietal, son aquellas poblaciones en la que el productor realiza sus mezclas y obtiene materiales con cualidades diferentes dependiendo de sus propias necesidades, por ejemplo pueden ser resistentes a la sequía, vientos, etcétera.

Caracterización de las poblaciones de maíz

Para la caracterización de estos materiales se tomaron 16 variables (Cuadro 2) medidas en 20 mazorcas de plantas con competencia completa y con características propias de la raza en conservación. Dichas mazorcas se colocaron en arpillas debidamente etiquetadas, las cuales se trasladaron al Banco Nacional de Germoplasma de los Productores de Maíz de México (BNGPMM) con sede en la UAAAN, donde se estabilizó el material en un asoleadero protegiéndolo de plagas y para lograr la humedad conveniente para su manejo. La caracterización de las colectas se llevó a cabo en el laboratorio del mismo donde se determinaron variables como: longitud de mazorca, diámetro de la parte central de la mazorca, número de hileras, número de granos por hilera, peso de mazorca y grano, también se determinó la humedad de la muestra, posteriormente se le uniformizó el peso seco para después transformarlo al 10% de humedad y por último se determinó el porcentaje de desgrane y diámetro de olote.

Cuadro 1. Poblaciones correspondientes a las 44 accesiones evaluadas en el estado de Puebla.

Población	Accesiones	Raza
1	UAAANIsP-007-1	Cónico x Chalqueño
2	UAAANIsP-007-2	Cónico ocho hileras
3	UAAANIsP-007-3	Cónico blanco
4	UAAANIsP-026-2	Cónico blanco
5	UAAANIsP-033	Cónico blanco
6	UAAANIsP-055	Cónico blanco
7	UAAANIsP-062	Cónico blanco
8	UAAANIsP-064	Cónico blanco
9	UAAANIsP-066	Cónico blanco
10	UAAANIsP-072	Cónico x Vandeano
11	UAAANIsP-073	Cónico blanco
12	UAAANIsP-154	Cónico blanco
13	UAAANIsP-155	Cónico blanco
14	UAAANIsP-032	Cónico amarillo
15	UAAANIsP-070	Cónico amarillo
16	UAAANIsP-159	Cónico amarillo
17	UAAANIsP-006-1	Elotes Cónicos
18	UAAANIsP-006-2	Elotes Cónicos
19	UAAANIsP-027-1	Elotes Cónicos
20	UAAANIsP-027-2	Elotes Cónicos
21	UAAANIsP-031	Elotes Cónicos
22	UAAANIsP-054	Elotes Cónicos
23	UAAANIsP-056	Elotes Cónicos
24	UAAANIsP-067	Elotes Cónicos
25	UAAANIsP-090	Elotes Cónicos
26	UAAANIsP-091	Elotes Cónicos
27	UAAANIsP-158	Elotes Cónicos x Pepitilla
28	UAAANIsP-174	Elotes Cónicos
29	UAAANIsP-026-1	Chalqueño
30	UAAANIsP-030	Chalqueño x Cónico
31	UAAANIsP-068	Chalqueño
32	UAAANIsP-028-1	Mezcla varietal
33	UAAANIsP-028-2	Mezcla varietal
34	UAAANIsP-029-1	Pepitilla
35	UAAANIsP-029-2	Pepitilla
36	UAAANIsP-060	Pepitilla
37	UAAANIsP-086	Pepitilla
38	UAAANIsP-092	Pepitilla
39	UAAANIsP-094	Pepitilla
40	UAAANIsP-057	Ancho
41	UAAANIsP-087	Ancho
42	UAAANIsP-095	Ancho
43	UAAANIsP-097	Ancho
44	UAAANIsP-156	Ancho

En cuanto a los datos de grano éstos se obtuvieron de cada una de las 20 mazorcas de la muestra, donde se determinaron el peso de 100 granos y su volumen. Las dimensiones de longitud, ancho, y grosor del grano, se determinaron en 10 granos de cada una de las 20 mazorcas, expresando el promedio en mm. Estas características cuantitativas se utilizan como criterio de reconocimiento, descripción y clasificación

de razas de maíz (Sánchez *et al.*, 1993). Ruiz *et al.* (2001) efectuaron mediciones de estas variables morfológicas en la caracterización de 49 razas mexicanas de maíz.

Para la determinación de las características cualitativas del grano se consideraron tipo de grano: harinoso, semiharinoso, dentado, semidentado, cristalino, semicristalino, dulce, reventador, opaco-2 y ceroso; forma de la superficie del grano de acuerdo a la clasificación: contraído, dentado, plano, redondo, puntiagudo y muy puntiagudo; color de grano: blanco, amarillo, anaranjado, rosado, morado, azul, rojo, moteado, capa blanca y negro.

En la caracterización de mazorca y grano se utilizaron los descriptores para maíz (IBPGR, 1991); La Guía Técnica para la Descripción Varietal (SNICS-SAGARPA, 2009) y El Manual Gráfico para la Descripción Varietal de Maíz (SNICS-CP, 2009).

Cuadro 2. Características cuantitativas evaluadas en las poblaciones de maíz.

Número	Característica	Clave	Unidades
1	Longitud de mazorca	L.M.	cm
2	Diámetro de mazorca	D.M.	cm
3	Número de hileras	N.H.	
4	Número de granos por hilera	NGPH	
5	Peso de mazorca al 10% de humedad	M10%H	g
6	Peso de grano al 10% de humedad	G10%H	g
7	Desgrane	Desgrane	%
8	Diámetro de olote	D.O.	cm
9	Longitud de grano	L.G.	mm
10	Ancho de grano	A.G.	mm
11	Grosor de grano	G.G.	mm
12	Relación AG/LG	AG/LG	
13	Relación GG/LG	GG/LG	
14	Relación GG/AG	GG/AG	
15	Peso de 100 granos	P100G	g
16	Volumen de 100 granos	V100G	cc

Variables agronómicas evaluadas

Las características agronómicas de las poblaciones provienen de las parcelas de los productores las cuales se conservan *in situ* y comprenden las siguientes variables:

- Acame de tallo (A.T.): se determinó contando el número de plantas que presentaron tallos quebrados abajo del nudo donde se inserta la mazorca principal, expresando en porcentaje respecto al número de plantas presentes.
- Acame de raíz (A.R.): se evaluó contando el número de plantas que presentaron tallos quebrados en la base de la planta, reportando en porcentaje respecto al número de plantas presentes.
- Mala cobertura (M.C.): se contó el número de mazorcas en cada parcela antes de la cosecha, que no cubrían bien la mazorca con el totemoxtle y se expresa en porcentaje en relación al número de plantas presentes.
- *Fusarium* en planta (F.P.): se contó el número de plantas cosechadas que presentaban daño por *Fusarium spp.* y se expresó en porcentaje.
- *Fusarium* en mazorca (F.M.): se contó el número de mazorcas cosechadas que presentaban daño por *Fusarium spp.* y se expresó en porcentaje.
- Mazorcas podridas (M.P.): se contó el número de mazorcas cosechadas que presentaban pudrición y se expresó en porcentaje.
- Calificación de mazorca (C.M.): comprende la escala de 1-5, en donde: 1 indica mayor uniformidad y 5 mayor variabilidad.
- Índice de prolificidad (I.P.): está basado en el número de mazorcas cosechadas obtenidas de las plantas que comprendieron la parcela útil, se interpola a 100 plantas bajo la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de prolificidad} = \frac{\text{Mazorcas cosechadas} \times 100}{\text{Plantas cosechadas}}$$

- Rendimiento de mazorca (R.M.) y grano (R.G.): el proceso para obtener el rendimiento de mazorca y de grano en toneladas por hectárea y al 15% de humedad es el siguiente:

1) Se obtiene el Peso Campo (PC) de mazorcas en kg se desgrana una parte de cada una de las mazorcas y se toma una muestra y se determina la humedad (%).

2) Se obtiene el peso seco (PS) de las muestras para uniformizarlas, restando a uno (1) el contenido de humedad (H) y multiplicando éste por el (PC).

$$PS = (1-H) \times PC$$

Donde:

PS= Peso seco de la muestra

H= Contenido de humedad en base a 1

PC= Peso de campo de la muestra

3) El rendimiento de mazorcas (y grano en su caso) en ton ha⁻¹ al 15% de humedad, se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = PS \times FC$$

4) El factor de conversión (FC) se obtiene con la siguiente fórmula:

$$FC = \frac{10,000m^2}{APU \times 1000 \times 0.85}$$

Donde:

FC = Factor de conversión a ton ha⁻¹ de mazorca al 15 % de humedad

10,000 = Constante para obtener el rendimiento por ha.

APU = Área de parcela útil, derivada de la distancia entre surcos (m) por la distancia de 10 metros lineales

1,000 = Constante para obtener el rendimiento en toneladas

0.850 = Constante para reportar el rendimiento al 15% de humedad

Análisis estadísticos para caracteres de rendimiento

Para el análisis de rendimiento de mazorca y grano de las parcelas de conservación *in situ*, se utilizó el diseño Completamente al azar con el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = es la respuesta (variable de interés o medida)

μ = es la media general del experimento.

T_i = es el efecto de tratamiento.

ε_{ij} = es el error aleatorio asociado a la respuesta Y_{ij} .

$i = 1, 2, \dots, t$ (tratamientos)

$j = 1, 2, \dots, r$ (repeticiones)

El coeficiente de variación mide la eficiencia del experimento, se expresa en porcentaje y se estima mediante la siguiente fórmula:

$$\text{C. V. (\%)} = \frac{\sqrt{\text{CMEE}}}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

C.V. (%) = Coeficiente de variación.

CMEE. = Cuadrado medio del error experimental.

\bar{X} = Media general de tratamientos.

100 = Constante para expresar el C.V. en porcentaje.

Pruebas de medias para las variables de rendimiento

Se realizó la prueba de rango múltiple diferencia mínima significativa (DMS.), mediante la siguiente fórmula:

$$\text{DMS} = t(\alpha, gl_{ee}) (2\text{CMEE}/r)^{1/2}$$

Donde:

$t(\alpha, gl_{ee})$ = valor de tablas del error experimental

CMEE = cuadrado medio del error experimental

r = número de repeticiones

En el análisis de rendimiento de mazorca y grano se utilizó el paquete estadístico Minitab 16 (Minitab Inc., 2009).

Análisis multivariados para la caracterización de las poblaciones

Análisis de Conglomerados (AC): este método se utiliza en el estudio de la diversidad genética de poblaciones en bancos de germoplasma y para formar subgrupos base, agrupando las poblaciones con base en características similares en grupos homogéneos (Carrera *et al.*, 2012), este análisis básicamente lo que realiza es una implementación del siguiente algoritmo:

Paso 1. Examina la matriz de entrada para el par de objetos, (i,j) que son más similares (o menos disimilares).

Paso 2. Une estos objetos en un nuevo grupo.

Paso 3. Usa la matriz para reflejar la supresión del par de objetos, i y j , que fueron unidos y la adición del nuevo objeto correspondiente al nuevo grupo.

Se regresa al paso 1, si el tamaño de la nueva matriz es mayor 2×2 , de lo contrario el proceso termina.

En el proceso se debe observar que dos objetos son suprimidos y uno más es añadido en cada paso hasta que el algoritmo concluye.

Los coeficientes de similitud fueron obtenidos utilizando la ecuación de distancia euclidiana:

$$E_{ij} = \{\sum K (X_{ki} - X_{kj})^2\}^{1/2}$$

Análisis de Componentes Principales (ACP): comprende un procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables correlacionadas de respuesta en un conjunto menor de variables no correlacionadas llamadas componentes principales (Johnson, 2000). Esas nuevas variables son combinaciones lineales de las variables originales y se derivan en orden decreciente de importancia (varianza), de tal manera que el primer componente principal es responsable de la mayor proporción posible de la variación con respecto a los datos originales. El Análisis de Componentes Principales utiliza una matriz X de orden $n \times p$, de np observaciones correspondientes a los valores de p variables de cada una de n unidades de estudio

y consiste en transformar un conjunto de variables x_1, x_2, \dots, x_p a un nuevo conjunto y_1, y_2, \dots, y_p . Estas nuevas variables deben tener las siguientes propiedades:

- Son una combinación lineal de las x 's. por ejemplo, para el primer componente.

$$Y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1p}x_p = a_1'x.$$

Donde $x = [x_1, x_2, \dots, x_p]$ es el vector de valores muestrales de las variables originales, y a_{ij} es el valor del j -ésimo elemento del vector característico a_1 asociado al valor característico más grande λ_1 . En forma matricial para todos los componentes, $Y=XA$, en donde Y es la matriz de orden $n \times p$ de componentes principales; A es una matriz de orden $p \times p$ de vectores característicos y X es la matriz de orden $n \times p$ de observaciones.

- La suma de cuadrados de los coeficientes a_{ij} para cada i ($j=1, 2, \dots, p$) es la unidad.
- De todas las posibles combinaciones, Y_1 tiene la máxima varianza:
 $\text{Var}(Y_1) > \text{Var}(Y_2) > \dots > \text{Var}(Y_p)$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características cualitativas del grano

En el Cuadro 3. Se presentan características relacionadas con la forma de la mazorca, tipo de grano, forma de la superficie de grano y color de grano, estos caracteres permiten identificar las diferencias entre poblaciones y también el uso que puede tener cada una de ellas. En la raza Cónico descrita por Wellhausen *et al.*, (1951) se observaron poblaciones con tipo de grano dentado y forma de la superficie dentada, también se observa que algunas poblaciones presentaron tipo de grano semiharinoso y semicristalino y color de grano blanco. Con respecto a la subraza Elotes Cónicos su tipo de grano es harinoso o semiharinoso, superficie de grano dentado y el color de grano predominante es el azul. En las poblaciones de Chalqueño se observan tipo de grano semicristalino y dentado y superficie de grano dentada con color de grano blanco. La Mezcla Varietal cuenta con tipo de grano dentado o semidentado, con superficie dentada y color de grano pinto. En la raza Pepitilla se observaron tipo de grano semiharinoso, superficie dentada y color de grano rojo o morado. El tipo de grano para las poblaciones de la raza Ancho son harinoso y semiharinoso, con la superficie de grano plana y de color de grano blanco. La importancia de los maíces de colores se debe a su contenido de antocianinas (Aguilera *et al.*, 2011) y algunos de sus usos principales es la producción de tortillas de color azul, con el consumo de este tipo de tortilla se tiene un efecto benéfico en la salud humana.

Características cuantitativas de las poblaciones de maíz

Los promedios de las características cuantitativas de las poblaciones de maíz se presentan en el Cuadro 4. Dentro de la raza Cónico sobresale la población 3 para las variables M10%H (253.0 g) y G10%H (231.0 g), lo cual influye para que obtenga un alto rendimiento. En las poblaciones de Elotes Cónicos la número 25 presenta altos

promedios para las variables M10%H (257.0 g), G10%H (231.0 g), P100G (47.05 g) y V100G (80.35 cc).

Cuadro 3. Características cualitativas registradas en las poblaciones de maíz.

Población	Accesión UAAAN	Forma de la Mazorca	Tipo de Grano	Forma de la superficie	Color de Grano
1	IsP-007-1	Cónica	Dentado	dentada	blanco
2	IsP-007-2	Cónica	Dentado	dentada	blanco
3	IsP-007-3	Cónica	Dentado	dentada	blanco
4	IsP-026-2	Cónica	Dentado	dentada	cremoso
5	IsP-033	Cónica	Dentado	dentada	blanco
6	IsP-055	Cónica	Semiharinoso	contraída	blanco
7	IsP-062	Cónica	Semiharinoso	dentada	blanco
8	IsP-064	Cónica	Dentado	dentada	blanco
9	IsP-066	Cónica	Dentado	contraída	blanco
10	IsP-072	cilíndrica-cónica	Semicristalino	dentada	blanco
11	IsP-073	Cónica	Dentado	dentada	blanco
12	IsP-154	Cónica	Dentado	dentada	blanco
13	IsP-155	Cónica	Semicristalino	dentada	blanco
14	IsP-032	Cónica	Semicristalino	dentada	amarillo
15	IsP-070	Cónica	Dentado	dentada	amarillo
16	IsP-159	Cónica	Semicristalino	dentada	amarillo
17	IsP-006-1	cilíndrica-cónica	Harinoso	dentada	negro
18	IsP-006-2	Cónica	Harinoso	dentada	azul
19	IsP-027-1	Cónica	Semiharinoso	dentada	azul
20	IsP-027-2	Cónica	Semiharinoso	dentada	azul
21	IsP-031	Cónica	Semiharinoso	dentada	blanco
22	IsP-054	cilíndrica-cónica	Harinoso	dentada	azul
23	IsP-056	Cónica	Dentado	dentada	azul
24	IsP-067	Cónica	Semiharinoso	dentada	azul
25	IsP-090	Cónica	Semiharinoso	dentada	azul
26	IsP-091	Cónica	Semiharinoso	dentada	rojo
27	IsP-158	Cónica	Semiharinoso	dentada	azul
28	IsP-174	Cónica	Harinoso	plana	azul
29	IsP-026-1	Cónica	Semicristalino	dentada	blanco
30	IsP-030	Cónica	Dentado	dentada	amarillo
31	IsP-068	Cónica	Dentado	dentada	blanco cremoso
32	IsP-028-1	Cónica	Dentado	dentada	pinto
33	IsP-028-2	cilíndrica-cónica	Semidentado	dentada	pinto
34	IsP-029-1	Cónica	Semiharinoso	dentada	morado
35	IsP-029-2	Cónica	Semiharinoso	dentada	rojo morado
36	IsP-060	Cónica	Semiharinoso	dentada	rojo
37	IsP-086	Cónica	Semiharinoso	dentada	rojo
38	IsP-092	Cónica	Dentado	dentada	rojo
39	IsP-094	cilíndrica-cónica	Semidentado	contraída	blanco
40	IsP-057	cilíndrica-cónica	Semiharinoso	plana	blanco
41	IsP-087	cilíndrica-cónica	Semiharinoso	plana	blanco
42	IsP-095	Cónica	Harinoso	plana	blanco
43	IsP-097	Cónica	Harinoso	plana	blanco
44	IsP-156	cilíndrica-cónica	Harinoso	plana	blanco

La mayor L.M. (19.05 cm) se presentó en la población 31 de la raza Chalqueño observando que esta población superó en promedio a las otras dos poblaciones en M10%H (251.0 g) y G10%H (224.0 g). Las dos Mezclas Varietales promediaron valores similares para la mayoría de las variables, de las cuales la población 33 presentó mejor comportamiento para M10%H (199.0 g) y G10%H (177.0 g). Dentro la raza Pepitilla sobresale la población 39 por presentar mayor NGPH (40.30) su peso de M10% y G10%H presentó promedios de 200.0 g y 184.0 g, respectivamente. Se observa un contraste de la raza Ancho con respecto a las demás en las características de N.H., A.G. y V100G, la población 42 tuvo el mayor promedio en peso de M10%H (210.0 g) y G10%H (184.0 g) con respecto a las demás poblaciones de Ancho.

Análisis de conglomerados de los caracteres cuantitativos

Con las 16 variables seleccionadas se realizó el análisis de conglomerados estimando la distancia euclidiana entre las poblaciones (Cuadro 5). En este cuadro se muestra el nivel de distancia y donde se enlazan las poblaciones que forman cada conglomerado. El punto de corte se efectuó en el paso 37 a una distancia euclidiana de 5.3078 donde la población 5 se enlaza con la población 10 formándose 7 grupos, la selección de número de grupos se realiza a criterio del investigador.

El dendograma permitió distinguir siete grupos a una distancia euclidiana de 5.3078 (Figura 3), en el Cuadro 6 se observan los grupos y sus promedios para cada variable. En el grupo G1 predominan los Cónicos y Elotes Cónicos los cuales se caracterizan por tener alto promedio para L.M. (18.22 cm), peso de M10%H (241.4 g) y G10%H (218.3 g). El G2 incluye las poblaciones de Mezcla Varietal, Chalqueño, Cónico y Elotes Cónicos este grupo presenta el segundo lugar en promedios para L.M. (17.28 cm), peso de M10%H (210.7 g) y G10%H (187.43 g). En el siguiente grupo G3 se encuentran dos poblaciones (Cónico y Pepitilla) las cuales sobresalen en mayor NGPH (39.53), L.G. (16.88 mm) y menor D.O. (1.87 cm) y G.G. (3.82 cm). De las 10 poblaciones que se encuentran en el G4, cinco corresponden a Elotes Cónicos, cuatro a Cónicos y uno a Pepitilla estas poblaciones presentaron mayor N.H. (14.21) y menor A.G. (7.8 mm).

Cuadro 4. Promedios de las variables de mazorca y grano de las poblaciones de maíz analizadas.

Población	L.M. cm	D.M. cm	N.H.	NGPH	M10%H g	G10%H g	Desgrane %	D.O. cm
1	17.650	5.63	13.40	33.00	247.00	230.00	93.16	2.24
2	18.100	5.43	10.00	36.65	234.00	212.00	90.61	2.06
3	18.275	5.58	13.90	35.70	253.00	231.00	91.15	2.34
4	18.100	5.56	14.20	36.85	248.00	223.00	90.00	2.60
5	15.450	4.67	13.30	33.00	144.00	126.00	87.16	1.89
6	16.375	5.15	14.10	35.40	189.00	171.00	90.41	2.42
7	15.950	5.19	15.30	35.90	192.00	167.00	87.08	2.30
8	19.050	5.59	15.20	36.55	243.00	220.00	90.32	2.31
9	17.550	5.17	9.40	35.25	204.00	185.00	90.91	1.95
10	15.550	5.37	12.40	32.95	199.00	177.00	88.89	2.72
11	15.925	4.83	13.40	34.75	147.00	135.00	92.04	2.04
12	15.550	4.96	12.50	38.75	176.00	165.00	93.63	1.81
13	13.500	4.52	12.70	33.10	102.00	90.00	88.46	1.84
14	14.925	4.73	12.70	33.30	138.00	125.00	90.57	1.77
15	16.450	5.30	13.90	34.90	218.00	198.00	90.48	2.11
16	14.325	4.61	11.90	32.95	135.00	120.00	88.57	2.35
17	18.300	5.76	14.40	33.15	235.00	209.00	88.83	2.58
18	18.175	5.63	13.50	36.50	240.00	220.00	91.80	2.21
19	15.080	5.24	15.20	30.35	166.00	154.00	92.86	2.27
20	16.445	5.14	14.50	33.15	179.00	158.00	88.32	2.37
21	14.725	5.36	14.70	30.25	168.00	150.00	89.06	2.07
22	15.800	5.04	14.30	33.15	178.00	162.00	91.18	2.08
23	16.025	4.89	14.30	35.75	152.00	135.00	88.98	2.07
24	17.600	5.75	15.20	33.35	250.00	221.00	88.54	2.54
25	18.450	5.92	14.60	34.85	257.00	231.00	89.80	2.29
26	14.000	4.92	13.80	26.40	121.00	104.00	85.87	2.28
27	15.875	4.79	10.20	35.10	156.00	143.00	91.67	2.00
28	15.900	5.45	15.00	30.30	181.00	163.00	89.93	2.32
29	17.300	5.54	15.00	36.30	225.00	197.00	87.28	2.58
30	17.950	5.47	15.00	36.80	209.00	187.00	89.44	2.60
31	19.050	6.00	12.70	35.60	251.00	224.00	89.01	2.24
32	17.100	5.43	13.10	33.25	197.00	172.00	87.33	2.38
33	17.625	5.45	13.40	32.75	199.00	177.00	88.89	2.41
34	13.225	4.64	13.00	26.70	106.00	93.00	87.50	2.14
35	14.850	4.89	12.80	29.00	155.00	138.00	88.98	2.24
36	13.750	4.28	11.20	31.65	103.00	95.00	92.50	1.76
37	12.400	4.64	10.90	26.05	104.00	91.00	87.50	1.99
38	12.900	5.29	13.45	27.05	159.00	144.00	90.32	2.36
39	16.800	5.43	11.90	40.30	200.00	184.00	92.11	1.93
40	16.695	4.71	8.50	35.00	187.00	165.00	88.03	2.52
41	15.600	5.29	8.00	29.05	167.00	146.00	87.50	2.72
42	16.000	5.63	8.10	33.85	210.00	184.00	87.50	2.48
43	16.150	5.46	8.10	30.60	198.00	174.00	88.00	2.53
44	16.450	5.55	8.20	31.50	197.00	170.00	86.58	2.74

Cuadro 4. Continuación. . . .

Población	L.G. mm	A.G. Mm	G.G. mm	AG/LG	GG/LG	GG/AG	P100G g	V100G cc
1	16.68	9.35	4.86	0.56	0.29	0.52	53.35	80.40
2	17.50	9.70	4.92	0.55	0.28	0.51	62.15	80.05
3	16.75	8.44	4.85	0.50	0.29	0.57	48.55	74.40
4	14.78	8.73	5.03	0.59	0.34	0.58	42.30	65.65
5	14.08	7.11	4.62	0.50	0.33	0.65	29.65	46.50
6	14.39	8.03	4.12	0.56	0.29	0.51	35.80	52.20
7	14.09	7.06	4.13	0.50	0.29	0.59	28.75	45.90
8	16.07	7.77	4.77	0.48	0.30	0.61	41.80	65.40
9	16.05	10.24	5.04	0.64	0.31	0.49	56.25	87.50
10	14.02	9.36	4.31	0.67	0.31	0.46	44.10	62.40
11	14.32	7.65	3.87	0.53	0.27	0.51	29.05	44.75
12	16.24	7.80	3.60	0.48	0.22	0.46	35.50	55.90
13	14.21	6.97	3.65	0.49	0.26	0.52	23.40	42.45
14	14.98	8.13	4.23	0.54	0.28	0.52	32.75	49.90
15	15.24	7.72	4.77	0.51	0.31	0.62	40.45	62.50
16	12.47	8.46	4.11	0.68	0.33	0.49	31.60	45.10
17	16.69	8.46	5.20	0.51	0.31	0.62	43.95	74.35
18	17.82	8.45	5.07	0.47	0.28	0.60	46.85	77.25
19	15.30	7.79	4.75	0.51	0.31	0.61	34.65	57.55
20	14.17	8.05	4.83	0.57	0.34	0.60	34.35	56.65
21	16.21	7.58	4.95	0.47	0.31	0.65	36.60	64.95
22	14.54	7.49	4.53	0.52	0.31	0.60	34.05	52.40
23	14.04	7.39	4.31	0.53	0.31	0.58	26.75	43.80
24	16.29	7.60	4.82	0.47	0.30	0.63	40.90	65.70
25	17.28	8.11	4.98	0.47	0.29	0.61	47.05	80.35
26	13.69	7.66	4.44	0.56	0.32	0.58	28.60	51.85
27	14.14	9.92	4.48	0.70	0.32	0.45	39.90	64.25
28	15.64	7.47	4.86	0.48	0.31	0.65	35.05	60.55
29	14.98	7.84	4.61	0.52	0.31	0.59	36.50	63.25
30	13.98	8.04	4.96	0.58	0.35	0.62	38.55	58.10
31	15.47	9.35	4.85	0.60	0.31	0.52	48.55	75.40
32	15.53	8.69	5.14	0.56	0.33	0.59	41.90	68.45
33	14.83	8.47	4.85	0.57	0.33	0.57	39.75	67.00
34	13.22	7.46	4.49	0.56	0.34	0.60	26.35	46.30
35	14.12	8.28	4.67	0.59	0.33	0.56	36.50	56.20
36	14.23	8.12	4.01	0.57	0.28	0.49	27.00	48.45
37	13.94	8.79	4.29	0.63	0.31	0.49	30.20	53.30
38	15.22	8.68	4.26	0.57	0.28	0.49	40.05	61.70
39	17.51	8.66	4.04	0.49	0.23	0.47	38.75	68.35
40	14.97	12.67	4.60	0.85	0.31	0.36	56.35	79.75
41	15.11	13.90	4.87	0.92	0.32	0.35	60.75	113.30
42	16.78	13.97	4.86	0.83	0.29	0.35	72.20	133.50
43	15.51	14.01	5.20	0.90	0.33	0.37	67.95	124.10
44	15.50	13.92	4.91	0.90	0.32	0.35	63.95	98.75

Cuadro 5. Valores de distancia euclidiana y pasos de enlace para la construcción del dendograma, método de enlace completo.

Paso	Número de Conglomerados	Nivel de distancia	Conglomerados incorporados		Poblaciones en el conglomerado
1	43	1.3313	32	33	2
2	42	1.4208	3	18	2
3	41	1.4736	21	28	2
4	40	1.4942	17	24	2
5	39	1.7007	3	25	3
6	38	1.7037	26	34	2
7	37	1.7310	4	30	2
8	36	1.7330	41	44	2
9	35	1.8741	19	22	2
10	34	1.9258	41	43	3
11	33	1.9701	11	14	2
12	32	2.1012	20	32	3
13	31	2.1749	5	23	2
14	30	2.2965	8	17	3
15	29	2.3515	6	7	2
16	28	2.3704	2	9	2
17	27	2.4958	4	29	3
18	26	2.5587	12	39	2
19	25	2.6526	19	21	4
20	24	2.6759	15	20	4
21	23	2.6839	1	3	4
22	22	2.7015	26	35	3
23	21	2.8338	13	36	2
24	20	3.0154	8	31	4
25	19	3.2061	11	13	4
26	18	3.2875	26	37	4
27	17	3.3309	41	42	4
28	16	3.3404	4	15	7
29	15	3.4569	16	26	5
30	14	3.5839	1	8	8
31	13	3.6309	10	38	2
32	12	4.1202	27	40	2
33	11	4.1722	6	19	6
34	10	4.3226	5	6	8
35	9	5.2443	1	2	10
36	8	5.2705	11	16	9
37	7	5.3078	5	10	10
38	6	5.8262	1	4	17
39	5	6.3597	5	11	19
40	4	6.9661	27	41	6
41	3	7.8456	1	12	19
42	2	8.8168	1	5	38
43	1	10.4388	1	27	44

Dentro de los siete grupos, el G5 se distingue por tener menor promedio en L.M. (14.1 cm), M10%H (123.4 g), G10%H (110.1 g), al promediar menor L.G. (13.9 mm) y G.G. (4.2 mm) presentó menor P100G (29.49 g) y V100G (48.7 cc), predominando las poblaciones de Cónico y Pepitilla. El G6 está compuesto por una población de Elotes Cónicos y una de Ancho en las cuales se observan características similares a las poblaciones de Ancho como menor N.H. (9.35) y mayor A.G. (11.3 mm). Finalmente el G7 se formó con la raza Ancho la cual sobresale por tener mayor A.G. (13.95 mm), P100G (66.2 g), V100G (117.4 cc) y menor N.H. (8.1).

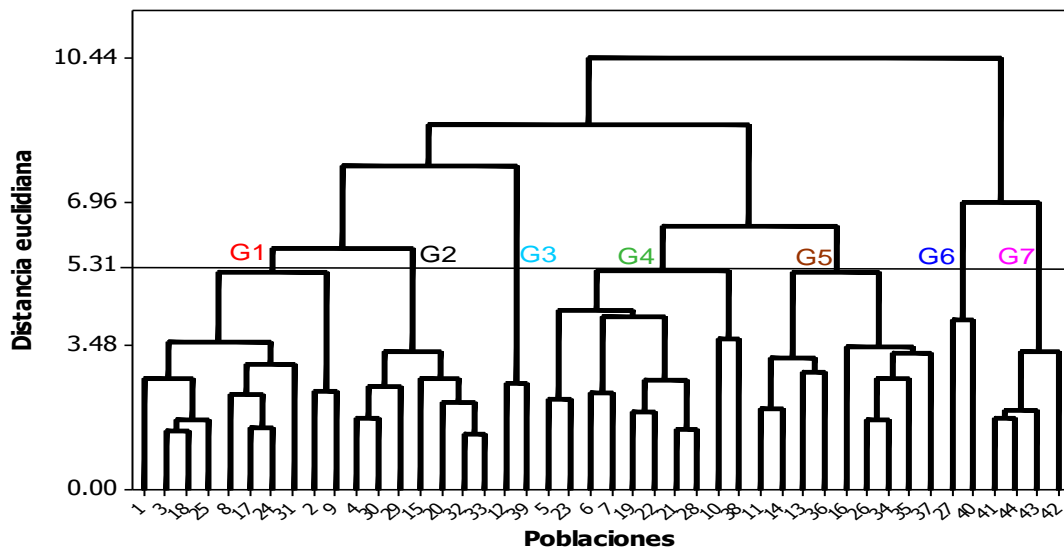


Figura 3. Dendrograma para la clasificación de 44 poblaciones de maíz en base a caracteres morfológicos.

Análisis de Componentes Principales en las poblaciones estudiadas

El análisis de Componentes Principales se efectuó con las 16 variables y las 44 poblaciones de maíz, con la opción de matriz de correlaciones que se utiliza cuando las variables están en diferentes unidades. En el Cuadro 7 se reportan los tres primeros componentes principales los cuales presentaron valores propios mayores a la unidad, los componentes con valores arriba de 1.0 son más relevantes, mientras que aquellos con valores menores a la unidad aportan poca explicación a la variación total. Estos tres componentes principales explicaron el 85.5% de la variación total (proporción acumulada).

Cuadro 6. Agrupación de las poblaciones de maíz mediante un análisis de conglomerados.

Grupos	L.M. cm	D.M. cm	N.H.	NGPH	M10%H g	G10%H g	Desgrane %	D.O. cm
G1*	18.22	5.65	13.23	35.06	241.40	218.30	90.0	2.28
G2	17.28	5.41	14.16	34.86	210.71	187.43	89.0	2.44
G3	16.18	5.20	12.20	39.53	188.00	174.50	93.0	1.87
G4	15.38	5.17	14.21	32.41	172.80	154.90	90.0	2.25
G5	14.10	4.67	12.49	30.43	123.44	110.11	89.0	2.05
G6	16.29	4.75	9.35	35.05	171.50	154.00	90.0	2.26
G7	16.05	5.48	8.10	31.25	193.00	168.50	87.0	2.62

	L.G. mm	A.G. mm	G.G. mm	AG/LG	GG/LG	GG/AG	P100G g	V100G cc
G1	16.66	8.75	4.94	0.53	0.30	0.57	48.94	76.08
G2	14.79	8.22	4.88	0.56	0.33	0.60	39.11	63.09
G3	16.88	8.23	3.82	0.49	0.23	0.47	37.13	62.13
G4	14.75	7.80	4.48	0.53	0.31	0.58	34.55	54.80
G5	13.91	7.95	4.20	0.57	0.30	0.53	29.49	48.70
G6	14.56	11.30	4.54	0.78	0.32	0.41	48.13	72.00
G7	15.73	13.95	4.96	0.89	0.32	0.36	66.21	117.41

*G= grupo

De acuerdo con los vectores propios, en el primer componente principal las variables originales más importantes fueron: D.M., M10%H, G10%H, P100G y V100G. En el segundo componente principal las variables con mayor influencia fueron: N.H., A.G., AG/LG y GG/AG. El tercer componente estuvo fuertemente influido por las variables: Desgrane, G.G. y GG/LG.

En la Figura 4, se observa la distribución de las cargas de las variables, con el CP1 y CP2 se explica el 69.3 % de la variabilidad total, por lo tanto, la gráfica representa de una forma confiable la relación entre las variables (Balzarini *et al.*, 2006). En el CP1 se muestra que las variables de mayor peso son: P100G, V100G, M10%H y G10%H, presentando las dos primeras mayor longitud de vector. Con respecto al CP2, se observa que las variables de mayor peso son: AG/LG, N.H., GG/AG y A.G. En la gráfica se observan las correlaciones entre las variables según los ángulos de los vectores que las representan.

Cuadro 7. Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de 16 variables morfológicas evaluadas.

	Componentes principales		
	1	2	3
Valor propio	6.4443	4.6449	2.5838
Proporción (%)	40.3	29.0	16.1
Acumulada (%)	40.3	69.3	85.5
Variables morfológicas		Vectores propios	
L.M.	0.288	0.258	0.021
D.M.	0.317*	0.204	0.112
N.H.	-0.141	0.377*	0.233
NGPH	0.123	0.251	-0.278
M10%H	0.323*	0.251	0.026
G10%H	0.315*	0.265	-0.006
Desgrane	-0.019	0.212	-0.401*
D.O.	0.239	-0.076	0.345
L.G.	0.262	0.189	-0.256
A.G.	0.268	-0.330*	-0.089
G.G.	0.286	0.047	0.318*
AG/LG	0.174	-0.403*	0.009
GG/LG	0.041	-0.120	0.544*
GG/AG	-0.129	0.357*	0.301*
P100G	0.362*	-0.143	-0.092
V100G	0.343*	-0.176	-0.068

* Cargas del vector propio > 0.300

Ángulos agudos indican correlaciones positivas, ángulos obtusos corresponden a correlaciones negativas y ángulos rectos indican que no hay correlación entre las variables. Se presenta una correlación positiva y altamente significativa entre las siguientes variables: N.H. y GG/AG ($r=0.897^{**}$), G10%H y M10%H ($r=0.997^{**}$) y P100G y V100G ($r=0.947^{**}$). Con respecto a las variables que presentan una relación negativa y altamente significativa son: N.H. y A.G. ($r=-0.868^{**}$) y N.H. y AG/LG ($r=-0.851^{**}$), los datos de las correlaciones se presentan en el Cuadro 12 del apéndice.

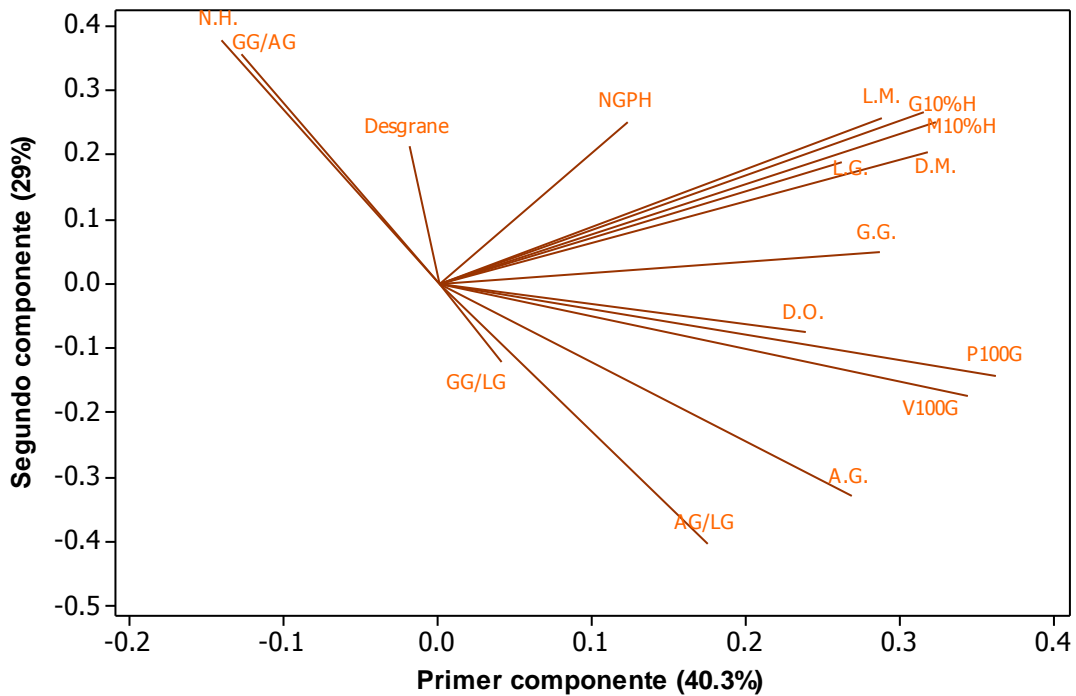
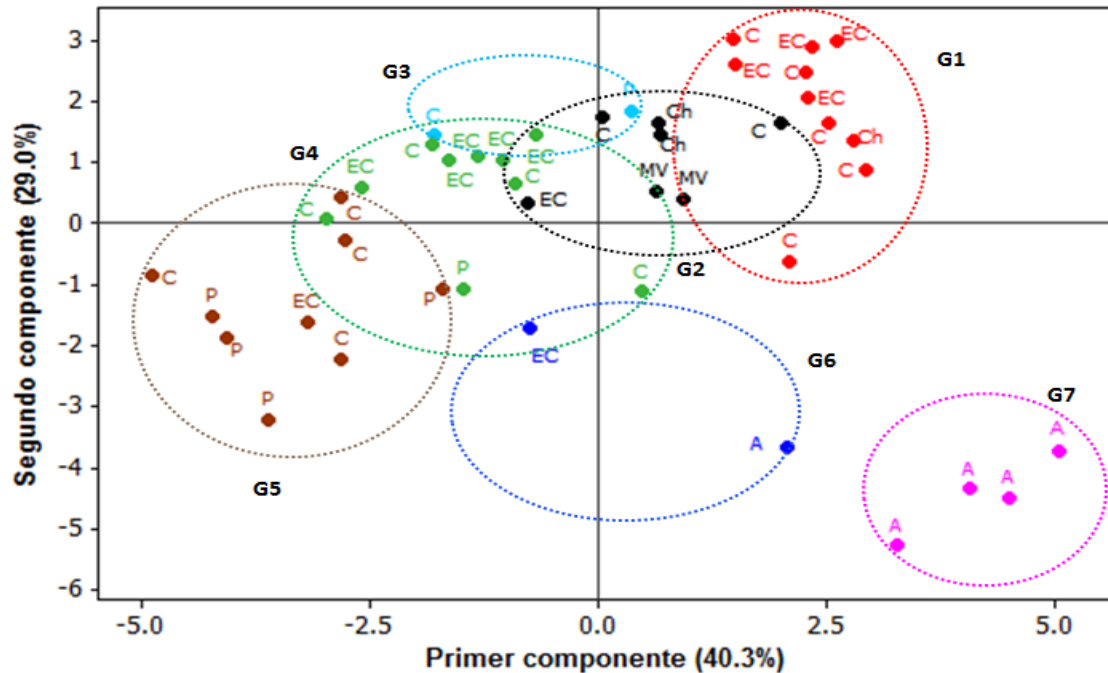


Figura 4. Distribución de 16 variables con su peso sobre los dos primeros componentes principales.

En la Figura 5, se observa la distribución de las poblaciones con respecto a los dos primeros componentes principales, los cuales explican en conjunto el 69.3 % de la variación contenida en las 16 variables originales. En el CP1 se observa que G1 formado por poblaciones de Cónico, Elotes Cónicos y Chalqueño se distinguen por su mayor L.M., M10%H y G10%H y este se ubica en el extremo derecho de la gráfica contrastando con el G5 el cual está formado por poblaciones de Cónico, Pepitilla y Elotes Cónicos siendo este grupo los que presentan la menor L.M, M10%H y G10%H. El G2 mostró mayor diversidad al estar formado por poblaciones de Cónico, Elotes Cónicos, Chalqueño y Mezcla Varietal. Con respecto al CP2, el G7 formado por poblaciones de Ancho, se localiza en extremo inferior derecho, el cual se caracteriza por tener mayor A.G. y menor N.H. haciendo un contraste con el G4 (Cónico, Elotes Cónicos y Pepitilla) que presentan menor A.G. y mayor N.H. El G6 presentó características parecidas al G7 en cuanto al A.G. y N.H. Por último el G3 formado por dos poblaciones (Cónico y Pepitilla) sobresale por tener mayor NGPH,

L.G. y menor G.G. Las poblaciones de Cónico y Elotes Cónicos presentaron mayor variabilidad en las características analizadas, atribuible al mayor número de colectas evaluadas.



C= Cónico, EC= Elotes Cónicos, Ch= Chalqueño, MV= Mezcla Varietal, P= Pepitilla y A= Ancho.

Figura 5. Agrupación de poblaciones de maíz del estado de Puebla en base a los dos primeros componentes principales.

Análisis individual de rendimiento de mazorca y grano

En el análisis de varianza de rendimiento de mazorca y grano (Cuadro 8), se utilizaron tres repeticiones y 44 poblaciones de maíz, este tipo de análisis se ha realizado para la evaluación de caracteres cuantitativos obtenidos en colectas de maíz (Ramírez *et al.*, 2013). En los cuadrados medios de tratamientos se presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para las dos variables, lo que indica diferente potencial productivo entre las poblaciones. Los coeficientes de variación son bajos con valores de 17.0% y 18.1% para rendimiento de mazorca y grano, respectivamente.

Cuadro 8. Cuadrados medios y coeficientes de variación para rendimiento de mazorca y grano.

Fuente	GL	CMM ¹	CMG ²
Tratamientos	43	7.32**	6.16**
Error	88	0.68	0.60
Total	131		
C.V.		17.0 %	18.1 %
\bar{x}		4.88 T ha ⁻¹	4.31 T ha ⁻¹

**Alta significancia al nivel de probabilidad de 0.01; ¹CMM=cuadrado medio de rendimiento de mazorca en Ton ha⁻¹ al 15% de humedad; ²CMG= cuadrado medio de rendimiento de grano en Ton ha⁻¹ al 15% de humedad.

En el Cuadro 9 se presenta la prueba de medias (DMS), se observa que en el primer grupo la población 31 es estadísticamente superior ($P \leq 0.01$) a las demás poblaciones en rendimiento de mazorca (9.316 ton.) y grano (8.297 ton.). Con respecto al orden de los tratamiento éste es muy similar para el peso de mazorca y grano ya que existe una correlación positiva y altamente significativa ($r=0.984^{**}$) entre las dos variables (Cuadro 12). En el segundo grupo se encuentran las poblaciones 3 (7.607 ton.) y 18 (7.551 ton.), éstas también obtuvieron alto rendimiento para las dos variables. En el penúltimo grupo se ubicaron dos poblaciones con bajos rendimientos 36 (2.652 ton.) y 16 (2.583 ton.). En el último grupo se encuentra la población 37 (2.126 ton) que presentó el rendimiento más bajo.

Evaluación de caracteres agronómicos

Las características agronómicas que se muestran en el Cuadro 10 están en función del rendimiento de grano (R.G.). Se observa que la población 31 sobresale por no presentar acame de raíz y tallo, y tampoco *Fusarium* en planta y mazorca, además presentó buena cobertura. Las poblaciones 3 y 18 también con alto rendimiento en comparación con la anterior, éstas presentaron menor porcentaje de mazorcas podridas y mejor calidad de mazorca. En la siguiente población (2) se observó un bajo porcentaje de mazorcas podridas y no presentó *Fusarium* en la mazorca. La población 25 se distingue por tener alto rendimiento, buena calidad de mazorca y no mostrar problemas de acame de raíz y tallo. En contraste las poblaciones con bajos rendimientos fueron: 36, 16 y 37, las dos primeras fueron afectadas por altos

porcentajes de acame de raíz y tallo, mala cobertura y *Fusarium* en planta y la última tuvo el menor índice de prolificidad lo que afectó su rendimiento.

Cuadro 9. Comparación de medias para las variables rendimiento de mazorca y grano al 15% de humedad.

Rendimiento de mazorca (Ton ha ⁻¹)			Rendimiento de grano (Ton ha ⁻¹)		
Tratamientos	Media*	Agrupación	Tratamientos	Media	Agrupación
31	9.316	A	31	8.297	A
3	8.427	AB	3	7.607	AB
18	8.229	AB	18	7.551	AB
25	7.183	BC	2	6.861	ABC
2	7.168	BC	25	6.421	BCD
29	6.889	BCD	29	5.860	CDE
1	8.285	BCDE	12	5.621	CDEF
12	6.116	CDEF	39	5.376	CDEFG
33	5.874	CDEFG	33	5.310	CDEFGH
39	5.869	CDEFG	11	5.175	DEFGHI
32	5.785	CDEFGH	1	5.118	DEFGHIJ
42	5.746	CDEFGH	32	5.027	DEFGHIJ
11	5.631	CDEFGHI	42	5.027	DEFGHIJK
30	5.454	CDEFGHIJ	30	4.711	EFGHIJKL
17	5.147	DEFGHIJK	28	4.565	EFGHIJKLM
4	5.116	DEFGHIJK	9	4.480	EFGHIJKLM
19	5.100	EFGHIJK	22	4.474	EFGHIJKLMN
22	5.055	EFGHIJKL	4	4.400	EFGHIJKLMNO
28	5.038	EFGHIJKL	10	4.359	EFGHIJKLMNOP
10	4.932	EFGHIJKL	17	4.237	EFGHIJKLMNOP
9	4.881	EFGHIJKLM	6	4.150	FGHIJKLMNOP
6	4.655	EFGHIJKLMN	19	4.042	FGHIJKLMNOP
35	4.547	EFGHIJKLMN	38	3.965	FGHIJKLMNOP
38	4.423	FGHIJK LMN	35	3.872	GHIJKLMNOP
24	4.324	GHIJKLMN	24	3.829	GHIJKLMNOP
20	4.230	GHIJKLMNO	27	3.756	GHIJKLMNOPQ
27	4.221	GHIJKLMNO	7	3.657	HIJKLMNOPQ
7	4.141	GHIJKLMNO	23	3.579	IJKLMNOPQ
23	4.097	GHIJKLMNO	15	3.520	IJKLMNOPQ
43	4.061	HIJKLMNO	43	3.440	JKLMNOPQ
15	3.956	IJKLMNO	8	3.384	JKLMNOPQ
41	3.859	IJKLMNO	41	3.368	JKLMNOPQ
8	3.819	JKLMNO	21	3.334	KLMNOPQ
21	3.679	JKLMNO	20	3.231	KLMNOPQ
44	3.585	KLMNO	14	3.223	KLMNOPQ
14	3.520	KLMNO	44	3.107	KLMNOPQ
34	3.494	KLMNO	34	2.987	LMNOPQ
5	3.286	LMNO	5	2.898	LMNOPQ
40	3.145	MNO	13	2.878	MNOPQ
29	3.075	NO	40	2.732	NOPQ
13	3.060	NO	26	2.706	OPQ
16	2.921	NO	36	2.652	PQ
36	2.915	NO	16	2.583	PQ
37	2.484	O	37	2.126	Q
DMS=0.01	1.773			1.666	

* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (P < 0.01)

Por último la población 29 sobresale por su alto índice de prolificidad pero esta fue afectada por un alto porcentaje de *Fusarium* en mazorca. Por otra parte en las

poblaciones criollas tanto del el estado de Puebla, como de Tlaxcala y México, se presentan genotipos cuyo grano es afectado por hongos fitopatógenos uno de ellos es el género *Fusarium*, el cual tiene gran importancia, debido a que algunas de sus especies producen micotoxinas que pueden afectar la salud humana y pecuaria (Vásquez *et al.*, 2016; Martínez *et al.*, 2017). El acame se hizo presente en la mayoría de las poblaciones excepto en la 31 y 25, el acame de raíz se asocia con problemas ambientales (lluvias intensas, vientos fuertes y sequía) y el acame de tallo está asociado con características genéticas como la susceptibilidad a enfermedades e insectos (Pardey *et al.*, 2016).

Georreferenciación de las parcelas de conservación *in situ*

El Cuadro 11 se presenta la georreferenciación de las poblaciones de maíz que fueron caracterizadas en el estado de Puebla, cuya ubicación geográfica se encuentra entre los 17° 50' y 20° 50' de latitud norte y entre los 90° 40' y 99° 05' de longitud oeste (INEGI, 2006). Se ubicaron 44 poblaciones de maíz que comprenden cinco razas y dos mezclas varietales distribuidas en 10 municipios (Figura 6). En el municipio de Tepatlaxco de Hidalgo se localizaron cinco poblaciones a una altitud de 2375-3025 msnm, sobresaliendo la población 31 (Chalqueño) por presentar el más alto rendimiento y buena sanidad, con respecto a poblaciones de la raza Chalqueño éstas han mostrado un buen comportamiento en evaluaciones bajo condiciones de temporal en el estado de México González *et al.* (2007) reportan rendimiento de grano de 8.22 ton ha⁻¹ para la raza Chalqueño la cual superó al Palomero y Cacahuacintle. En Huejotzingo en un rango de 2435-3024 msnm se encuentran cinco poblaciones de las cuales, las poblaciones 2 y 3 (Cónicos) y la 18 (Elotes Cónicos) presentaron alto rendimiento. De las poblaciones de Elotes Cónicos la 25 (2487 msnm) y 26 (2473 msnm) evaluadas en San Nicolás de los Ranchos, sobresale la 25 por su alto rendimiento. En Santa Isabel Cholula se ubicó la población 11 (Cónico) a una altitud de 2142 msnm, en Cohuecan la población 43 (Ancho) a una altitud de 1884 msnm y en San Juan Tlanguismanalaco la población 7 (Cónico) a una altitud de 2189 msnm.

Cuadro 10. Promedios de las características agronómicas de las poblaciones de maíz evaluadas *in situ*.

Población	Acame (%)		M.C. (%)	Fusarium (%)		M.P. (%)	C.M. ¹ (1-5)	I.P.	Rnd.Ton ha ⁻¹ *	
	A.R.	A.T.		F.P.	F.M.				R.M.	R.G.
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.30	2.67	104.20	9.32	8.30
3	9.37	8.17	8.17	8.17	5.48	2.15	1.67	105.90	8.43	7.61
18	6.12	6.88	7.99	6.44	6.63	3.60	2.00	103.80	8.23	7.55
2	12.71	12.47	12.47	10.08	0.00	1.11	1.67	103.80	7.17	6.86
25	0.00	0.00	6.71	6.26	5.27	6.06	2.00	106.80	7.18	6.42
29	1.04	1.04	8.84	7.41	21.16	16.19	2.33	121.20	6.89	5.86
12	13.63	10.00	14.87	9.82	0.00	0.00	1.67	105.10	6.12	5.62
39	13.25	15.32	7.62	9.76	0.00	11.49	2.00	104.40	5.87	5.38
33	14.74	6.18	1.23	7.41	32.09	22.85	2.00	107.40	5.87	5.31
11	---	---	---	---	0.00	0.00	2.00	---	5.63	5.18
1	11.14	9.95	11.23	5.81	7.71	3.90	2.00	108.30	6.29	5.12
32	4.49	3.30	8.97	1.11	20.42	14.24	2.00	102.30	5.79	5.03
42	12.37	11.16	11.04	14.59	9.36	10.32	1.67	103.70	5.75	5.03
30	4.82	0.00	11.08	1.15	8.09	12.81	2.67	106.20	5.45	4.71
28	14.26	2.58	8.87	10.35	0.00	7.84	1.67	103.70	5.04	4.57
9	14.78	20.36	11.23	9.78	3.10	23.04	2.67	107.90	4.88	4.48
22	8.18	5.23	14.81	9.53	8.58	18.23	2.00	112.10	5.06	4.47
4	6.33	1.39	12.77	10.20	37.86	21.73	2.67	106.50	5.12	4.40
10	9.68	8.53	8.43	8.53	7.78	10.16	2.00	106.10	4.93	4.36
17	10.02	7.13	7.07	5.68	2.72	4.11	1.33	104.30	5.15	4.24
6	4.75	14.95	14.04	6.94	11.03	18.53	2.00	105.80	4.65	4.15
19	5.35	3.20	8.48	6.29	13.02	4.88	2.33	107.50	5.10	4.04
38	10.39	10.20	12.68	9.00	1.23	4.79	1.00	105.10	4.42	3.97
35	8.17	1.19	6.98	8.17	16.52	14.34	2.00	112.90	4.55	3.87
24	4.09	9.38	5.48	9.05	6.69	21.32	2.67	108.10	4.32	3.83
27	11.63	11.72	10.49	10.57	13.56	14.66	3.00	103.40	4.22	3.76
7	12.22	13.82	12.06	15.06	0.00	7.56	2.00	103.90	4.14	3.66
23	5.45	5.93	11.75	5.93	12.27	12.53	4.00	109.20	4.10	3.58
15	19.21	5.38	5.74	9.72	3.54	13.52	3.00	104.30	3.96	3.52
43	9.90	9.80	12.15	14.53	13.03	24.80	2.67	103.70	4.06	3.44
8	5.00	10.37	8.52	13.70	6.23	22.45	2.00	110.20	3.82	3.38
41	2.57	7.80	9.04	15.60	17.39	28.28	3.00	105.20	3.86	3.37
21	13.10	16.34	21.16	1.85	1.33	1.45	1.67	108.30	3.68	3.33
20	3.76	3.90	7.37	3.76	18.39	9.42	2.33	107.70	4.23	3.23
14	10.32	5.95	10.52	12.10	11.93	5.41	3.00	105.80	3.52	3.22
44	16.73	4.99	7.70	6.52	30.98	24.62	2.00	103.90	3.59	3.11
34	5.19	0.00	11.40	0.00	11.76	12.05	2.33	102.10	3.49	2.99
5	13.15	12.44	14.26	13.30	7.94	16.01	3.00	106.00	3.29	2.90
13	12.74	11.70	12.72	10.20	8.58	0.00	3.00	102.40	3.06	2.88
40	---	---	---	---	0.00	7.04	2.67	---	3.15	2.73
26	2.78	8.18	1.39	4.01	1.39	6.84	2.00	101.40	3.07	2.71
36	17.94	13.78	11.18	10.90	12.15	13.40	1.33	101.40	2.92	2.65
16	15.61	17.27	15.61	10.91	0.00	10.10	3.00	108.20	2.92	2.58
37	7.32	7.46	3.89	6.51	6.63	9.42	2.33	98.10	2.48	2.13

¹Calificación de mazorca donde 1 indica mayor uniformidad y 5 mayor variabilidad: * Rnd.Ton ha⁻¹ =Rendimiento toneladas por hectárea al 15% de humedad.

Cuadro 11. Relación de razas y ubicación geográfica de las 44 parcelas de conservación *in situ*.

Población	Raza	Municipio	Latitud N 00°00'00''	Longitud O 00°00'00''	Altitud msnm
1	Cónico x Chalqueño	Huejotzingo	19°08'27''	98°33'18''	3024
2	Cónico ocho hileras	Huejotzingo	-----	-----	-----
3	Cónico blanco	Huejotzingo	-----	-----	-----
4	Cónico blanco	San Martín Texmelucan	19°13'52''	98°27'25''	2373
5	Cónico blanco	Puebla	19°08'42''	98°05'59''	2584
6	Cónico blanco	Atlixco	18°57'44''	98°31'52''	2325
7	Cónico blanco	San Juan Tlanguismanalaco	18°59'48''	98°26'58''	2189
8	Cónico blanco	Tepatlxaco de Hidalgo	19°10'48''	98°00'06''	3025
9	Cónico blanco	Tepatlxaco de Hidalgo	19°05'01''	98°00'37''	2423
10	Cónico x Vandeño	Atlixco	18°50'51''	98°27'01''	1737
11	Cónico blanco	Santa Isabel Cholula	19°59'22''	98°21'59''	2142
12	Cónico blanco	Tochimilco	-----	-----	2140
13	Cónico blanco	Tochimilco	-----	-----	2240
14	Cónico amarillo	Puebla	19°08'38''	98°06'04''	2565
15	Cónico amarillo	Tepatlxaco de Hidalgo	19°04'14''	97°58'38''	2375
16	Cónico amarillo	Atlixco	-----	-----	-----
17	Elotes Cónicos	Huejotzingo	19°08'19''	98°37'17''	3021
18	Elotes Cónicos	Huejotzingo	-----	-----	2435
19	Elotes Cónicos	San Martín Texmelucan	19°13'53''	98°27'30''	2379
20	Elotes Cónicos	San Martín Texmelucan	19°13'53''	98°27'30''	2379
21	Elotes Cónicos	Puebla	19°08'38''	98°06'04''	2565
22	Elotes Cónicos	Atlixco	18°57'10''	98°33'07''	2362
23	Elotes Cónicos	Atlixco	18°56'55''	98°32'44''	2308
24	Elotes Cónicos	Tepatlxaco de Hidalgo	19°04'42''	98°00'26''	2402
25	Elotes Cónicos	San Nicolás de los Ranchos	19°04'01''	98°29'48''	2487
26	Elotes Cónicos	San Nicolás de los Ranchos	19°03'47''	98°29'12''	2473
27	Elotes C. x Pepitilla	Tochimilco	-----	-----	1780
28	Elotes Cónicos	Puebla	-----	-----	-----
29	Chalqueño	San Martín Texmelucan	19°13'52''	98°27'25''	2373
30	Chalqueño x Cónico	San Martín Texmelucan	19°14'31''	98°28'03''	2350
31	Chalqueño	Tepatlxaco de Hidalgo	19°04'19''	98°00'39''	2386
32	Mezcla varietal	San Martín Texmelucan	19°13'40''	98°27'28''	2365
33	Mezcla varietal	San Martín Texmelucan	19°13'40''	98°27'28''	2365
34	Pepitilla	San Martín Texmelucan	19°13'33''	98°27'28''	2360
35	Pepitilla	San Martín Texmelucan	19°13'33''	98°27'28''	2360
36	Pepitilla	Atlixco	18°55'15''	98°32'06''	2074
37	Pepitilla	Atlixco	18°54'00''	98°28'54''	1940
38	Pepitilla	Atlixco	18°50'52''	98°26'59''	1749
39	Pepitilla	Tochimilco	18°49'48''	98°43'47''	1858
40	Ancho	Atlixco	18°56'06''	98°30'52''	2123
41	Ancho	Atlixco	18°54'32''	98°28'44''	1955
42	Ancho	Tochimilco	18°52'14''	98°42'43''	2073
43	Ancho	Cohuecan	18°49'45''	98°42'31''	1884
44	Ancho	Tochimilco	-----	-----	2150

La mayor diversidad genética se encuentra en San Martín Texmelucan contando con nueve poblaciones las cuales se encuentran en un rango de 2350-2373 msnm. En Atlixco a una altitud de 1737-2362 msnm se localizaron 10 poblaciones de las cuales tres de ellas: 16 (Cónico), 36 y 37 (Pepitilla) presentaron los rendimientos más bajos.

El resto de las poblaciones están distribuidas en los municipios de Puebla a una altitud de 2565-2584 msnm y Tochimilco a una altitud de 1780-2240 msnm.

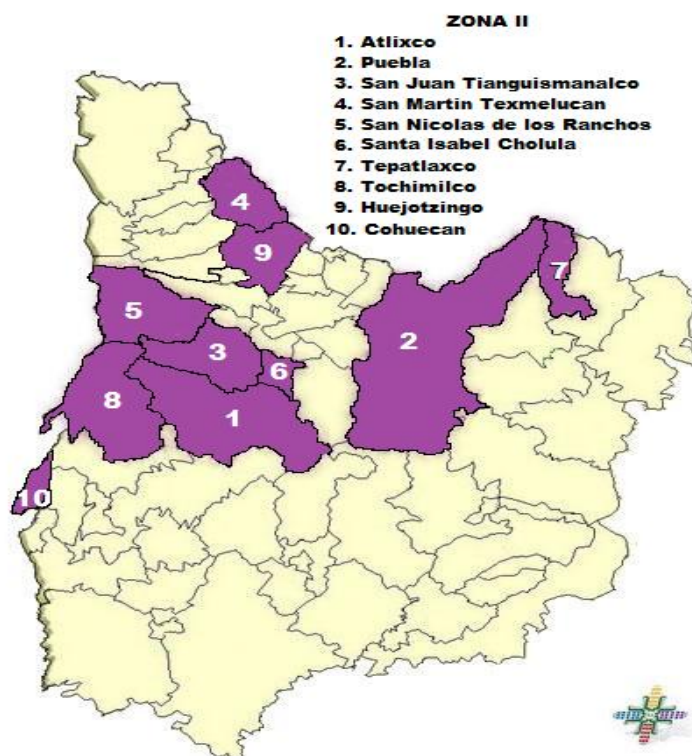


Figura 6 Ubicación geográfica de los municipios donde se localizan las poblaciones evaluadas.

Relación entre la caracterización y el rendimiento de las poblaciones

Al relacionar el rendimiento de grano con las características de mazorca y grano analizadas por componentes principales se observa en la Figura 7 que en el G1 se encuentran las poblaciones: 31, 3, 18, 2 y 25 que presentaron los más altos

rendimientos de grano (Cuadro 9) dentro de este grupo las poblaciones mencionadas se caracterizan por tener mayor L.M., M10%H y G10%H. En el extremo izquierdo de la gráfica se encuentra el G5 el cual está formado por poblaciones de Cónico, Pepitilla y Elotes Cónicos siendo este grupo el que presentó la menor L.M, M10%H y G10%H debido a lo anterior, las poblaciones 37, 16 y 36 presentaron los rendimientos más bajos, siendo afectadas además por problemas de acame, mala cobertura, *Fusarium* o bajo índice de prolificidad. De acuerdo a la caracterización la población 24 presentó un alto peso de M10%H (250.0 g) y la 39 sobresalió por tener el mayor NGPH (40.30), sin embargo sus rendimientos fueron afectados por presentar altos porcentajes de pudrición de la mazorca (Cuadro 10). En cuanto al tipo de grano se observa que las poblaciones de mayor rendimiento (G1), presentaron en su mayoría tipo de grano dentado, por el contrario en las poblaciones de bajo rendimiento (G5) predominó tipo de grano semiharinoso.

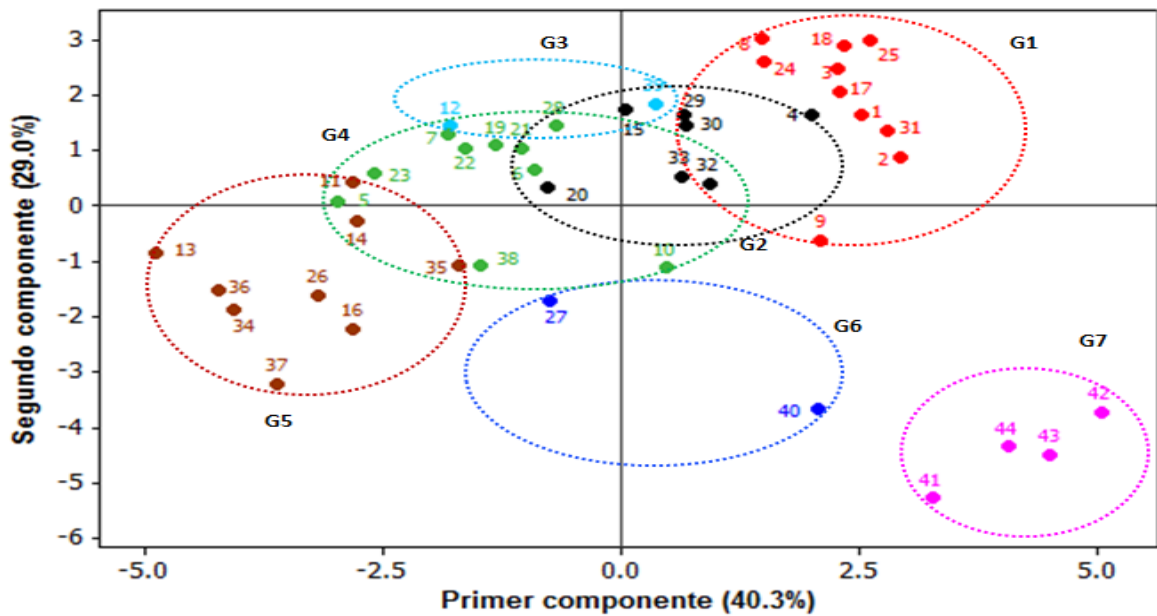


Figura 7. Distribución de las poblaciones de maíz en base a los dos primeros componentes principales para características de mazorca y grano.

CONCLUSIONES

- Con respecto a las características cualitativas evaluadas en estas poblaciones se determinó que hubo una gran variación en estos caracteres, presentando la raza Cónica en su mayoría, tipo de grano dentado. En las poblaciones Elotes Cónicos, Pepitilla y Ancho se presentó tipo de grano harinoso o semiharinoso, lo cual es importante para la producción de harina. En cuanto al color de grano los Elotes Cónicos y Pepitilla pueden ser utilizados para la extracción de pigmentos. Las poblaciones de maíz Ancho tienen un valor agregado en el precio de su grano ya que es utilizado en la industria pozolera. La raza Chalqueño por su tipo de grano blanco cremoso es muy utilizada para la producción de tortillas.
- En los caracteres cuantitativos las poblaciones Cónico, Elotes Cónicos y Chalqueño presentaron mayor peso de M10%H y G10%H contrastando con las poblaciones Pepitilla, Ancho y la Mezcla Varietal las cuales tuvieron menor peso. La raza Pepitilla tuvo menor longitud de mazorca con respecto a las demás poblaciones. Para la característica N.H. la raza Ancho presentó el menor promedio, pero mayor A.G. y V100G lo cual la distingue de las otras razas de maíz.
- Con el análisis de conglomerados se obtuvieron siete grupos a una distancia euclidiana de 5.3078, de los cuales las poblaciones de las razas de Cónicos y Elotes Cónicos que formaron el G1 promediaron la mayor L.M., M10%H y G10%H. El G2 se formó con poblaciones de Mezcla Varietal, Chalqueño, Cónico y Elotes Cónicos siguiendo en promedio al G1, en las mismas variables. En el G3 se ubicaron dos poblaciones (Cónico y Pepitilla) el cual se distinguió por tener mayor NGPH, L.G. y menor D.O. y G.G. Las poblaciones de Cónicos y Elotes Cónicos comprendidas en el G4 se caracterizaron por

tener mayor N.H. pero menor A.G. El G5 formado por poblaciones de Cónicos y Pepitilla, predominaron las poblaciones con menor promedio en L.M., M10%H, G10%H, L.G., G.G., P100G y V100G. En el G6 se ubicaron dos poblaciones (Elotes Cónicos y Ancho) siendo uno de los grupos con menor N.H. y mayor A.G. La mayoría de las poblaciones de Ancho representan el G7, este grupo sobresalió por tener el mayor A.G., P100G, V100G y menor N.H., siendo el grupo mejor caracterizado.

- En el Análisis de Componentes Principales con tres componentes se explicó el 85.5% de la variación total de los datos. En el primer componente las variables con mayor peso fueron: D.M., M10%H, G10%H, P100G y V100G. En el segundo componente, las variables de mayor importancia fueron: N.H., A.G., AG/LG y GG/AG. El tercer componente estuvo fuertemente influido por: Desgrane, G.G. y GG/LG. En las variables estudiadas se observó una correlación positiva y altamente significativa entre: N.H. y GG/AG ($r=0.897^{**}$), G10%H y M10%H ($r=0.997^{**}$) y P100G y V100G ($r=0.947^{**}$). Con respecto a las variables que presentan una relación negativa y altamente significativa sobresalen: N.H. y A.G. ($r=-0.868^{**}$) y N.H. y AG/LG ($r=-0.851^{**}$).
- Con el análisis de varianza se determinó que hubo diferencias altamente significativas entre tratamientos (poblaciones) para rendimiento de mazorca y grano, los coeficientes de variación fueron bajos con valores de 17.0% y 18.1%, respectivamente. En la prueba de DMS se presentaron varios grupos, siendo las poblaciones 31, 3 y 18 las de mayor rendimiento quedando en los dos primeros grupos.
- De las características agronómicas evaluadas las poblaciones: 31, 3, 18, 2 y 25 mostraron los más altos rendimientos de mazorca y grano, éstas se distinguieron por su bajo porcentaje de acame de raíz y tallo y bajos porcentajes de *Fusarium* en planta y mazorca, por otra parte la población 29 sobresalió por su alto índice de prolificidad con respecto a las demás.

- Las 44 poblaciones de maíz se ubicaron en 10 municipios de la región Poniente del estado de Puebla. La población 31 (Chalqueño) que presentó alto rendimiento se localizó en el municipio de Tepatlaxco de Hidalgo. Las poblaciones 2 y 3 (Cónicos) y la 18 (Elotes Cónicos) con alto rendimiento se encuentran en Huejotzingo. La población 25 (Elotes Cónicos) se ubicó en San Nicolás de los Ranchos presentando también alto rendimiento. En cuanto a la mayor diversidad genética se localizó en San Martín Texmelucan contando con poblaciones de Cónico, Elotes Cónicos, Chalqueño, Pepitilla y Mezcla Varietal.
- La caracterización, evaluación agronómica y su validación a través de los análisis realizados a las 44 accesiones de la región occidental del estado de Puebla permitieron conocer las variantes que las agrupa en base a características similares y categorías homogéneas para la formación de grupos base necesarios para estudios posteriores.

LITERATURA CITADA

- Aguilera, M., M. de C. Reza, R.G. Chew y J.A. Meza. 2011. Propiedades funcionales de las antocianinas. *Biotecnia*. 2: 16-22.
- Anderson, E. and H. C. Cutler. 1942. Races of Zea mays. Their recognition and classification. *Annals of Missouri Botanical Garden*. 29:69-88.
- Ángeles-Gaspar, E., E. Ortiz.T., P. A. López y G. López. R. 2010 "Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla", *Fitotecnia Mexicana*. 33: 287-296.
- Aragón-Cuevas, F., S. Taba, J. M. Hernández. C., J. de D. Figueroa. C., V. Serrano. A. y F. H. Castro. G. 2006. Catálogo de maíces criollos de Oaxaca. INIFAP-SAGARPA: Libro Técnico. Oaxaca, Oaxaca, México. 344p.
- Balzarini, M., A. Arroyo, C. Bruno y J. Di Rienzo. 2006. Análisis de datos de marcadores con Info-Gen. XXXV Congreso Argentino de Genética, San Luis. Argentina.
- Benz, B. F. 2006. Maize in the Americas *in* Staller J.E., R.H. Tykot & B.F. Benz (ed.) *Histories of Maize*. Elsevier-Academic Press. EUA. Pp. 9-20.
- Carrera, J., J. Ron, A. A. Jiménez, M. M. Morales, R. Medrano, L. Sahagún y J. T. Díaz. 2012. Razas de Teocintle en Michoacán; Su origen, distribución y caracterización morfológica. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. De México.
- Casiano de la R. Ma. Del C. 2015. Análisis de la variación entre 13 poblaciones de maíces nativos del estado de Tlaxcala, México. Tesis de Licenciatura. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila, México.
- CIMMYT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2015. Banco de Germoplasma. Disponible en: <http://www.cimmyt.org/es/banco-de-germoplasma>.
- CONABIO, 2010. Tabla descriptiva de razas de maíz en México. Proyecto Global de Maíces Nativos. Anexo 6. 1-9.

- CONABIO, 2010. Argumentación para conservar las razas de maíces nativos de México. Taller con especialistas en maíces nativos, realizado los días 17 y 18 de marzo de 2010 en las instalaciones de la CONABIO. México, D. F. http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6_ReunionesTalleres/Tabla%20razas_marzo%202010.pdf
- CONABIO, 2011. Base de datos del proyecto global "Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México". Octubre de 2010. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F.
- CONACULTA (Consejo Nacional para la Cultura y las Artes). 2011. "La gastronomía poblana fusionó las cocinas mexicana y europea", comunicado núm. 221, 4 de febrero de 2011, disponible en www.conaculta.gob.mx/detalle-nota/?id=11146#.U-Qt6lJ0wdU, consultado el 12 de noviembre de 2013.
- Crossa, J., K. Basford, S. Taba, I. Delacy and E. Silva. 1995. Three-mode analyses of maize using morphological and agronomic attributes measured in multilocation trials. *Crop Sci.* 35:1483-1941.
- Espinoza B. A. 2007. Germoplasma criollo en el programa de mejoramiento de maíz de la UAAAN Unidad Laguna. *In: Primera reunión de mejoradores de variedades criollas de maíz en México. Memoria. Exhacienda Nazareno, Xoxocotlán, Oax. 22 y 23 de Septiembre.*
- Esteva, C. 2003. Los árboles de las culturas mexicanas. En: Esteva C. y Marielle C. (eds.), *Sin maíz no hay país. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Culturas Populares e Indígenas, México, p. 17-28.*
- Fundación Produce. 2011. "Análisis estratégico de tecnología e innovación en las cadenas prioritarias para el estado de Puebla", en *Agenda de Innovación Tecnológica, Fundación Produce, Puebla.*
- Gómez, M., B. Coutiño E. y A. Trujillo C. 2010. Proyecto FZ016 "Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México, segunda etapa 2008-2009". Informe final de la región Pacífico Sur. INIFAP, Campo Experimental Iguala. Iguala, Guerrero, México. 21 p.
- Goodman, M.M. and R. M. Bird. 1977. The races of maize IV: Tentative grouping of 219 Latin American races. *Economic Botany.* 31 :204-221.
- González, A., L.M. Vázquez, J. Sahagún, J.E. Rodríguez y D. de J. Pérez. 2007. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agricultura Técnica en México.* 33: 33-42.

- Graur, D. and Wen-Hsiung, R.I. 2000. Fundamentals of Molecular Evolution. Sinauer Associates Inc. USA. 481p.
- Harlan, J. R. and J. M. J. de Wet. 1971. Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon* 20(4):509- 517
- Hellin, J. and A. Keleman. 2013. Las variedades criollas del maíz, los mercados especializados y las estrategias de vida de los productores. Publicado en *InfoAserca*. 1-6 p.
- Hernández, C., J. M. 2010. Proyecto FZ016 “Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. Segunda etapa 2008-2009”. Informe final del Estado de México y D. F. INIFAP, Campo Experimental Valle de México. 17 p.
- Herrera, B.E., A. Macías, R. Díaz, M. Valadez y A. Delgado. 2002. Uso de semilla criolla y caracteres de mazorca para selección de semilla de maíz en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 17-23.
- IBPGR. 1991. Descriptores para maíz. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)- International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR), Roma, Italia.
- INEGI. 2006. Anuario de estadísticas por entidad federativa. INEGI, México. 286 p.
- INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Disponible en:<http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/pue/territorio/default.aspx?tema=me&e=21>
- Johnson, E.D. 2000. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Internacional Thompson Editores S.A de C. V. New York, U.S.A. pp. 3 – 4.
- Jugenheimer, W.R. 1981. Maíz, Variedades Mejoradas, Método de Cultivo y Producción de Semillas. Ed. Limusa S.A. México D.F. pp. 670.
- Kato, Y.T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos y R. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: Una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México (Edición digital: CONABIO 2009).
- Martín, A. 2002. Los marcadores genéticos en la Mejora Vegetal. En: *Genómica y Mejora Vegetal*. Nuez, F.; Carrillo, J.M.; Lozano, R. (Eds). Mundi-Prensa. Sevilla. pp. 37-64.

- Martínez, S., L.M. Vásquez, J.L. Herrera, M. C. Vega, A. Muñoz. 2017. Hongos fitopatógenos potencialmente micotoxigénicos en poblaciones de maíces en los estados de México y Tlaxcala. Suplemento de la Revista Mexicana de Fitopatología. Volumen 35, p. 111.
- Minitab, Inc. 2009. Minitab Statistical Software, Versión 16 para Windows, State College, Pennsylvania. Minitab® es una marca comercial registrada de Minitab, Inc.
- Muñoz, O., A. 2003. Descifrando la diversidad del maíz de los nichos ecológicos de México. Colegio de posgraduados. Montecillo, México. Pp.133-143.
- Padrón, E., I. Méndez, A. Muñoz, J.L. de la Riva y M. Torres. 2010. Análisis de conglomerados en el estudio de siete razas de maíz. Memorias del XXXI Encuentro Nacional de la AMIDIQ. 4 al 7 de mayo del 2010. Huatulco Oaxaca, México.
- Paliwal, R. L. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 376 p.
- Pardey, C., M. A. García y N. Moreno. 2016. Caracterización de maíz procedente del departamento del Magdalena, Colombia. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecuaria, Mosquera (Colombia). 17: 167-190.
- Perales, R, H., S. B. Brush and C. O. Qualset. 2003. Dynamic management of maize landraces in Central Mexico. Economic Botany 57:21–34.
- Ramírez, A., G. García de los Santos, A. Carballo, F. Castillo, J.A. Serratos y J. Cadena. 2013. Caracterización morfológica de una muestra etnográfica de maíz (*Zea mays* L.) raza bolita de Oaxaca. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 4: 895-907.
- Ramírez, S.J.G. 2015. Estudio de 35 poblaciones de maíz del estado de Mexico utilizando análisis multivariados. Tesis de Licenciatura. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila, México.
- Revilla, P. and W.F. Tracy. 1995. Morphological characterization and classification of open-pollinated sweet corn cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120: 112-118.
- Rice, E.B., M.E. Smith, S.E. Mitchell, and S. Kresovich. 2006. Conservation and change: A comparison of *in situ* and *ex situ* conservation of Jala maize germoplasm. Crop Sci. 46: 428-436.

- Rincón, S., F., F. Castillo G. y N.A. Ruiz T. 2010. Diversidad y Distribución de los Maíces Nativos en Coahuila, México. SOMEFI. Chapingo, Méx.
- Rocandio, M., A. Santacruz, L. Córdova, H. López, F. Castillo, R. Lobato, J. García y R. Ortega. 2014. Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los valles altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 37: 351-361.
- Rojas, G.S. 2016. Estudio de la producción de maíz palomero en México y su oportunidad de negocio en el mercado nacional. Tesis de Licenciatura. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila, México.
- Ron, P. J., J. J. Sánchez G., Á. A Jiménez C., J. A Carrera V., J. G Martín L., M. M. Morales R., L de la Cruz L., S A Hurtado P., S Mena M. y J. G. Rodríguez F 2006. Maíces nativos del Occidente de México I. *Colectas 2004. Scientia-CUCBA.* 8: 1-139.
- Ruíz, N., F.V. González, A. Castillo, F. Castillo. 2001. Optimización y validación del análisis de conglomerados aplicado a la clasificación de razas mexicanas de maíz. *Agrociencia.* 35: 65-77.
- Ruiz, J.A., J.M. Hernández, J. de J. Sánchez, A. Ortega, G. Ramírez, M. de J. Guerrero, F. Aragón, V.A. Vidal y L. de la Cruz. 2013. Ecología, adaptación y distribución actual y potencial de las razas mexicanas de maíz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro Campo Experimental Centro Altos de Jalisco Libro Técnico Núm. 5, ISBN: 978-607-37-0187-7.
- Ruiz, J.A., J.J. Sánchez, J.M. Hernández, M.C. Willcox, G. Ramírez, J.L. Ramírez y D.R. González. 2013. Identificación de razas mexicanas de maíz adaptadas a condiciones deficientes de humedad mediante datos biogeográficos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4: 829-842.
- Salinas, Y., F.J. Cruz, S.A. Díaz y F. Castillo. 2012. Granos de maíces pigmentados de Chapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Rev. Fitotec. Mex.* 35: 33-41.
- Sánchez, G. J.J., M. M. Goodman and J. O. Rawling. 1993. Appropriate characters for racial classification in maize. *Econ. Bot.* 47:44-59.
- Sánchez, J.J., M. M. Goodman and C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the Races of maize of México. *Economic Botany.* 54(1): 43–59.

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. Cierre de la producción agrícola por estado. Puebla, disponible en www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/, consultado en noviembre de 2013.
- Sierra, M., P. Andres, A. Palafox y I. Meneses. 2016. Diversidad genética, clasificación y distribución racial del maíz nativo en el estado de Puebla, México. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*. 9: 12-21.
- SNICS-CP. 2009. Manual Gráfico para la Descripción Varietal de maíz (*Zea mays* L.), Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) – Colegio de Postgraduados (CP), SAGARPA.
- SNICS-SAGARPA. 2009. Guía Técnica para la Descripción Varietal. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) – Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- St. Clair, B. 2008. Strategies for management and conservation of forest genetic resources in the face of climatic change. XXII Congreso Nacional y II Internacional de Fitogenética (SOMEFI). Del 21 al 26 de Septiembre de 2008. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Taba, S., V. H. Chávez T., M. Rivas y M. Rodríguez A. 2008. Proyecto FZ007 “Monitoreo y recolección de la diversidad de razas de maíz criollo en la región de la Huasteca en México para complementar las colecciones de los Bancos de Germoplasma de maíz de INIFAP y CIMMYT”. Informe final. CIMMYT. El Batán, Texcoco, México. 17 p.
- Taba, S., S. E. Pineda and J. Crossa. 1994. Forming core subsets from Tuxpeño race complex. In: S. Taba (Ed.). *The CIMMYT maize germoplasm bank: Genetic resource preservation, regeneration, maintenance, and use*. CIMMYT Maize Program Special Report, México, D.F. México. Pp.182-207.
- Vásquez, L.M., J.L. Herrera, M. C. Vega, A. Muñoz, S. Martínez. 2016. Incidencia de hongos potencialmente micotoxigénicos en poblaciones de maíces mexicanos del altiplano de México. *Suplemento de la Revista Mexicana de Fitopatología*. Volumen 34, p. 91.
- Vega, S.M.C. 2013. Informe interno de resultados. Unidad de conservación *in situ*. Proyecto de Maestro de Maíces Mexicanos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 1-178.
- Wellhausen, E. J., L. M. Roberts, E. Hernández X. en colaboración de P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y

distribución. Oficina de Estudios Especiales Secretaría de Agricultura y Ganadería. Folleto técnico Núm. 55. México D. F.

Wiley, E.O. 1981. Phylogenetics; The theory and practice of Phylogenetics and systematics. John Wiley, New York. U.S.A.

APENDICE

Cuadro 12. Valores de correlación fenotípica entre las variables consideradas en el análisis de componentes principales.

	L.M.	D.M.	N.H.	NGPH	M10%H	G10%H	Desgrane
D.M.	0.761**						
N.H.	0.157	0.186					
NGPH	0.687**	0.302*	0.121				
M10%H	0.911**	0.899**	0.167	0.565**			
G10%H	0.908**	0.884**	0.181	0.585**	0.997**		
Desgrane	0.174	0.008	0.163	0.410**	0.166	0.244	
D.O.	0.351*	0.566**	-0.048	-0.091	0.472**	0.423**	-0.458**
L.G.	0.587**	0.685**	-0.065	0.396**	0.693**	0.712**	0.370*
A.G.	0.106	0.205	-0.868**	-0.095	0.164	0.136	-0.249
G.G.	0.586**	0.669**	-0.046	-0.057	0.618**	0.590**	-0.213
AG/LG	-0.108	-0.048	-0.851**	-0.244	-0.088	-0.123	-0.382**
GG/LG	0.042	0.036	0.022	-0.398**	-0.020	-0.064	-0.552**
GG/AG	0.176	0.143	0.897**	0.033	0.136	0.144	0.061
P100G	0.473**	0.568**	-0.647**	0.133	0.578**	0.560**	-0.069
V100G	0.364*	0.548**	-0.647**	0.020	0.474**	0.450**	-0.151
	D.O.	L.G.	A.G.	G.G.	AG/LG	GG/LG	GG/AG
L.G.	0.020						
A.G.	0.454**	0.215					
G.G.	0.517**	0.430**	0.353*				
AG/LG	0.464**	-0.157	0.929**	0.200			
GG/LG	0.495**	-0.481**	0.139	0.578**	0.328*		
GG/AG	-0.158	-0.018	-0.841**	0.185	-0.842**	0.203	
P100G	0.479**	0.578**	0.860**	0.603**	0.651**	0.056	-0.581**
V100G	0.467**	0.553**	0.877**	0.593**	0.672**	0.065	-0.579**
	P100G						
V100G	0.947**						

*Significativo al 0.05 de probabilidad ≥ 0.0297 ; **Altamente significativo al 0.01 de probabilidad ≥ 0.384 .