



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

**VARIACIÓN EN MORFOLOGÍA,
RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANO EN
CRIOLLOS SOBRESALIENTES DE MAÍZ DE
LA RAZA ZAPALOTE CHICO**

JOSÉ MANUEL CABRERA TOLEDO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2014

La presente tesis, titulada: “**Variación en morfología, rendimiento y calidad de grano en criollos sobresalientes de maíz de la raza Zapalote chico**”, realizada por el alumno: **José Manuel Cabrera Toledo**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. AQUILES CARBALLO CARBALLO

ASESOR:



DR. JOSÉ APOLINAR MEJÍA CONTRERAS

ASESOR:



DR. GABINO GARCÍA DE LOS SANTOS

ASESOR:



DR. HUMBERTO VAQUERA HUERTA

ASESOR:



DR. MARIANO MORALES GUERRA

Montecillo, Texcoco, México, octubre de 2014.

DEDICATORIA

Con gran gratitud, a mi esposa
Adelita González Toledo
por su muestra de amor, valor y fortaleza.

A mis hijos:

Manuel, María Isabel y José Yahir,
que son mi inspiración, mi filosofía de la vida.

A mis padres (†), suegros, sobrinos y cuñados,
por el entusiasmo y estímulo en mi superación.

A mis hermanos: Eria, Miguel, Blandina (†),
Hermilo, Isabel, Ubilia, Eliseida, Ricardo y Domingo,
por su apoyo y comprensión.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados, en forma particular al Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas, por brindarme la oportunidad de esta superación profesional.

Al CONACYT por el apoyo económico otorgado para realizar mis estudios.

Al Dr. Aquiles Carballo Carballo, por la dirección, asesoramiento de mis estudios y guía en el desarrollo de mi investigación, así como de todo el apoyo extracadémico para alcanzar esta meta de mi vida.

Con especial agradecimiento a mis asesores: Dr. José Apolinar Mejía Contreras, Dr. Gabino García de los Santos, Dr. Humberto Vaquera Huerta y Dr. Mariano Morales Guerra, quienes compartieron conmigo sus conocimientos mediante los cuales logré concluir mis estudios.

A la Dra. María Elena Ramírez, por su apoyo moral, así también en las revisiones de este escrito.

Al Instituto Tecnológico de Comitancillo, al otorgarme la anuencia y confianza en este mejoramiento académico.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, a través del Campo Experimental Valles Centrales-Oax por los trabajos institucionales colaborativos, que han contribuido a mi formación en la investigación agronómica.

A la Fundación Produce Oaxaca A.C., por la autorización del proyecto 20-2012-2661, que facilitó la difusión de los materiales genéticos a los productores de la región Istmeña de Oaxaca, así también de los análisis de laboratorio.

A todos mis compañeros y amigos del COLPOS y del I.T. de Comitancillo, que de alguna manera han contribuido en mi formación académica.

VARIACIÓN EN MORFOLOGÍA, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANO EN
CRIOLLOS SOBRESALIENTES DE MAÍZ, RAZA ZAPALOTE CHICO

José Manuel Cabrera Toledo, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2014

En la región Istmeña de Oaxaca, de una colección de 97 poblaciones de maíz pertenecientes a la raza Zapalote chico, se identificaron 18 colectas sobresalientes. Se evaluaron durante cuatro ciclos de cultivo en el Instituto Tecnológico de Comitancillo. Hubo diferencias altamente significativas para variedades, año agrícola y en la interacción de ambos factores, para rendimiento de grano y en otras variables. La amplitud en días a floración a masculina fue de 45.5 a 51.5 días, mientras que en floración femenina fue de 47.75 a 53.5 días. La altura de planta y de mazorca fluctuó de 110.38 a 150.13 cm, y de 58.75 a 79.63 cm, respectivamente. En la caracterización agromorfológica desarrollada en 2012, hubo diferencias significativas en 14 variables. En el análisis de componentes principales las características con mayor valor descriptivo fueron: altura de planta, altura de mazorca, relación altura de mazorca/altura de planta, número de hileras de la mazorca, diámetro de mazorca, longitud de espiga y longitud del eje central de la espiga. Se compararon las propiedades físicas del grano para asociarlas a la calidad de nixtamal, masa, tortilla y totopo. El largo de grano varió de 9.48 a 11.66 mm, y su dureza se identificó como suave a intermedia. En peso hectolítrico y porcentaje de reflectancia, los 18 criollos cumplen con los requisitos establecidos en la norma de calidad. De las 18 poblaciones evaluadas, 61 % estuvieron por arriba de la proporción de germen recomendada; todas reportaron valores de endospermo harinoso por arriba de lo establecido por la norma. La humedad en grano, nixtamal, masa, tortilla y totopo fluctuaron entre 11.07 a 12.8 %, 41.31 a 46.8 %, 54.53 a 57.36 %, 40.58 a 45.54 % y 6.49 a 9.45 %, respectivamente.

Palabras clave: Zapalote chico, diversidad genética, patrones varietales, nixtamalización, totopo.

MORPHOLOGY, ON YIELD AND GRAIN QUALITY OF VARIATION OUTSLANDING ZAPALOTE CHICO LAND RACES

José Manuel Cabrera Toledo, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2014

In the isthmus region of Oaxaca, a collection of 97 maize populations from to the Zapalote chico race, 18 were identified as outstanding collections. They were evaluated during four crop cycles in the Comitancillo Technological Institute. Highly significant differences for varieties, crop year and the interaction of both factors for grain yield and other variables were deserved. The amplitude in days to male flowering was 45.5 to 51.5 days, while for female flowering was 47.75 to 53.5 days. Plant height and ear ranged from 110.38 to 150.13 cm and 58.75 to 79.63 cm, respectively. In the agro-morphological characterization done in 2012, there were significant differences in 14 variables. In the principal component analysis the more descriptive features were: plant height, ear height, ear height / plant height relation, number of grain rows, ear diameter, spike length and length of the central axis tang. The physical ear properties to associated with quality dough, mass, tortilla and totopo were compared. Grain length ranged from 9.48 to 11.66 mm, and hardness is identified as mild to medium. For test weight and percent reflectance percentage, the 18 landraces meet the requirements of the quality standard. Of the 18 landraces tested, 61% were above the recommended germ rate; all had values of floury endosperm above the standard values. Moisture in grain, nixtamal, mass, tortilla and totopo fluctuated between 11.07 to 12.8%, 46.8% to 41.31, 54.53 to 57.36%, 40.58 to 45.54% and 6.49 to 9.45%, respectively.

Keywords: Zapalote chico, genetic diversity, varietal patterns, nixtamalization, totopo.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
CONTENIDO.....	vii
INDICE DE CUADROS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
I. INTRODUCCION GENERAL.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.1.1. El maíz en el contexto global.....	1
1.1.2. El maíz en el contexto nacional.....	2
1.1.2.1. Usos especiales de los maíces nativos.....	5
1.1.3. El maíz en el contexto estatal.....	6
1.1.4. El maíz en el contexto regional.....	9
1.2. OBJETIVOS.....	12
1.3. LITERATURA CITADA.....	14
II. EVALUACION AGRONOMICA DE MAÍCES DE LA RAZA ZAPALOTE CHICO, EN LA REGION ISTMEÑA DE OAXACA.....	18
RESUMEN.....	18
2.1. INTRODUCCIÓN.....	19
2.2. MATERIALES.....	Y 20
MÉTODOS.....	
2.2.1. Germoplasma.....	20
2.2.2. Manejo agronómico.....	22
2.2.3. Variables agronómicas.....	23
2.2.4. Variables de mazorca y grano.....	23
2.2.5. Análisis estadístico.....	24
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
2.3.1. Rendimiento de grano.....	25
2.3.2. Características agronómicas.....	29
2.3.2.1. Floración.....	29
2.3.2.2. Altura de planta y mazorca.....	31
2.3.3. Características de mazorca.....	32
2.3.4. Características de grano.....	33
2.4. CONCLUSIONES.....	34
2.5. LITERATURA CITADA.....	35
III. CARACTERIZACIÓN DE POBLACIONES SOBRESALIENTES DE MAÍZ DE LA RAZA ZAPALOTE CHICO.....	37
RESUMEN.....	37
3.1. INTRODUCCIÓN.....	38
3.2. MATERIALES.....	Y 39
MÉTODOS.....	

3.2.1. Germoplasma.....	39
3.2.2. Manejo agronómico.....	39
3.2.3. Variables.....	40
3.2.4. Análisis estadístico.....	40
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
3.3.1. Características agronómicas.....	43
3.3.2. Análisis de componentes principales.....	44
3.3.3. Análisis de agrupamiento.....	51
3.4. CONCLUSIONES.....	54
3.5. LITERATURA CITADA.....	56
IV. CALIDAD DE GRANO DE LOS MAÍCES CRIOLLOS SOBRESALIENTES DE LA RAZA ZAPALOTE CHICO.....	58
RESUMEN.....	58
4.1. INTRODUCCIÓN.....	59
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	61
4.2.1. Germoplasma.....	61
4.2.2. Toma de datos y variables.....	62
4.2.3. Caracterización física del grano.....	63
4.2.3.1. Índice de flotación.....	63
4.2.3.2. Peso hectolítrico.....	63
4.2.3.3. Tamaño de grano.....	63
4.2.3.4. Color de grano, color de masa, color de tortilla y color de totopo.....	63
4.2.4. Componentes estructurales del grano.....	63
4.2.5. Proceso de nixtamalización.....	64
4.2.6. Caracteres de nixtamalización.....	64
4.2.6.1. Humedad del nixtamal.....	64
4.2.6.2. Pérdida de sólidos.....	64
4.2.7. Rendimiento maíz-tortilla.....	65
4.2.8. Elaboración de totopos.....	65
4.2.9. Análisis de datos.....	65
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
4.3.1. Características físicas del grano.....	67
4.3.2. Tamaño y componentes estructurales del grano.....	69
4.3.3. Calidad de nixtamal, masa y tortilla.....	70
4.3.4. Propiedades de tortilla.....	72
4.3.5. Propiedades de totopo.....	74
4.3.6. Estudio de la diversidad en las características físicas.....	76
4.4. CONCLUSIONES.....	78
4.5. LITERATURA CITADA.....	79
V. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES...	82
DISCUSIÓN GENERAL.....	82
CONCLUSIONES GENERALES.....	85
RECOMENDACIONES GENERALES.....	86

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
Cuadro 1.1.	Alimentos y preparaciones culinarias tradicionales hechos con maíz.....	7
Cuadro 1.2.	Producción de maíz criollo en los distritos políticos del estado de Oaxaca 2013.....	8
Cuadro 1.3	Principales razas de maíz cultivas en siete regiones del estado de Oaxaca.....	9
Cuadro 2.1.	Sitios de colecta y denominación de 18 maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.....	22
Cuadro 2.2.	Cuadrados medios de los análisis de varianza combinado para las variables estudio, durante cuatro años de evaluación en San Pedro Comitancillo, Oax.....	25
Cuadro 2.3.	Promedios en los caracteres agronómicos de 18 maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico, durante cuatro años de evaluación en San Pedro Comitancillo, Oax.....	26
Cuadro 2.4.	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹) de 18 criollos sobresalientes de maíz, durante 4 años de prueba en San Pedro Comitancillo, Oax. (Tukey 0.05).....	27
Cuadro 2.5.	Interacción variedades x años para rendimiento de grano (t ha ⁻¹) en 18 criollos sobresalientes de maíz. Raza Zapalote chico.....	29
Cuadro 2.6.	Días a floración masculina y días a floración femenina en promedio de 18 criollos sobresalientes durante 4 años de prueba en San Pedro Comitancillo, Oax. (Tukey 0.05).....	30
Cuadro 2.7.	Promedio de altura de planta (cm) y altura de inserción de la mazorca (cm) de 18 criollos sobresalientes durante 4 años de prueba en San Pedro Comitancillo, Oax. (Tukey 0.05).	31
Cuadro 2.8.	Datos promedios en características de mazorca, en 18 criollos sobresalientes durante 4 años de prueba en San Pedro Comitancillo, Oax. (Tukey 0.05).	33
Cuadro 3.1.	Sitios de colecta y denominación de 18 maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.....	40
Cuadro 3.2.	Variables registradas en los 18 criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico. San Pedro Comitancillo. Oax. PV/2012.....	41
Cuadro 3.3.	Estadísticos de 16 variables cuantitativas, evaluadas en 18 criollos sobresalientes de maíz de la raza Zapalote chico. San Pedro Comitancillo, Oax. PV/2012.....	42
Cuadro 3.4.	Separación de medias de variables cuantitativas en 18 criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico. San Pedro Comitancillo, Oax. PV/2012.....	45

Cuadro 3.5.	Porcentaje de homogeneidad de variables cualitativas de 18 criollos sobresalientes de la Raza Zapalote chico.....	46
Cuadro 3.6.	Análisis de componentes principales entre variables en 18 criollos sobresalientes de maíz de la raza Zapalote chico. San Pedro Comitancillo, Oax., PV/2012.....	47
Cuadro 3.7.	Contribución relativa de cada variable en 3 componentes principales en 18 criollos sobresalientes de maíz de la raza Zapalote chico. San Pedro Comitancillo, Oax., PV/2012.....	48
Cuadro 3.8.	Contribución de las variedades a los dos componentes principales..	49
Cuadro 4.1.	Sitios de colecta y denominación de 18 maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.....	62
Cuadro 4.2.	Cuadrados medios y significancia estadística de variables físicas en maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.....	66
Cuadro 4.3.	Características físicas de los maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.....	68
Cuadro 4.4.	Dimensiones y estructuras de grano en 18 criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.....	69
Cuadro 4.5.	Propiedades de nixtamal, masa y de tortillas de 18 criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.....	72
Cuadro 4.6.	Características de totopos de los granos de maíz en 18 criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.....	75
Cuadro 4.7.	Análisis de componentes principales entre variables en 18 criollos sobresalientes de maíz de la raza Zapalote chico.....	76

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
Figura 2.1.	Sitios de origen de los materiales genéticos en estudio.....	21
Figura 3.1.	Distribución de 18 criollos sobresalientes sobre los dos primeros componentes principales.....	50
Figura 3.2.	Sitios de origen de los materiales genéticos en estudio y asignación de grupos.....	52
Figura 3.3.	Puntuación de las variables de estudio en 18 criollos sobresalientes sobre los dos primeros componentes principales.....	53
Figura 3.4.	Dendrograma de 18 criollos sobresalientes con 16 variables que forman 3 grupos.....	54
Figura 4.1.	Fuerza máxima de rompimiento bajo tensión y su extensibilidad de tortillas.....	73
Figura 4.2.	Distribución de grupos de maíces de la raza Zapalote chico con base en los dos primeros componentes principales.....	77

I.- INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. El maíz en el contexto global

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los tres granos básicos más antiguos que se conocen; junto con el arroz (*Oriza sativa* L.) y el trigo (*Triticum aestivum* L.) alimentan a la humanidad. De acuerdo con FAOSTAT (2013), en el mundo se cosechan cerca de 160 millones de hectáreas de maíz, siendo EE.UU. el de mayor producción (21 %), seguido de China (20 %), Brasil (8 %), India (5 %), Unión Europea (5 %) y México (4 %). Los granos que más se producen en el mundo son: maíz, trigo, arroz, cebada, sorgo y avena; siendo maíz el de mayor participación, con 39 % de la producción mundial, le sigue el trigo con 30 % y el arroz con 21 %; los que en conjunto concentran el 90 % de la producción mundial (SE.DGIB, 2012).

Durante el siglo XX y en los inicios del XXI, el maíz es el cereal que más importancia ha tenido en varios sectores de la economía en los países industrializados, y se utiliza principalmente como forraje, materia prima para la producción de alimentos procesados y, recientemente, para la producción de etanol (Serratos, 2009).

El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales. La variedad de productos que actualmente se fabrican a partir del maíz, hasta hace unos pocos años no habían significado problema alguno para la dinámica de la oferta mundial; sin embargo, con la demanda de los biocombustibles, se observa que la oferta mundial aunque reacciona a los incrementos de los precios, no lo ha podido hacer a la misma velocidad a la que se mueve la demanda (SE.DGIB, 2012).

1.1.2. El maíz en el contexto nacional

Según datos preliminares del SIAP-SAGARPA (2014), en el año 2013 se sembraron en México 7, 487,399.02 ha con una producción de 22, 663,953.35 ton (3.19 t ha^{-1}); 95 % de esta producción es de grano blanco. Este país ha sido deficitario por cerca de 7.9 millones de toneladas promedio de 5 años, las cuales han sido cubiertas con importaciones de maíz amarillo provenientes de Estados Unidos, que se destinan principalmente a la industria de alimentos balanceados para el sector pecuario, entre otros (SE.DGIB, 2012).

La producción de maíz se reporta en un sistema dual, con un gran número de pequeños agricultores campesinos que los producen para autoconsumo y venta a pequeña escala, por una parte, y por la otra, por un número relativamente pequeño de grandes agricultores que lo producen con fines comerciales y que pocas veces lo consumen directamente. Los pequeños agricultores utilizan sobre todo una gran diversidad de variedades criollas (locales), mientras que los agricultores comerciales comúnmente utilizan híbridos (Bellon *et al.*, 2009; Figueroa *et al.*, 2013).

Con el desarrollo y evolución de las plantas cultivadas, se da el proceso de “domesticación”. La participación del hombre ha sido el establecimiento de una amplia diversidad, donde a través de la selección, ha modificado las características genotípicas de las plantas generando la formación de nuevas poblaciones adaptadas a diferentes condiciones de suelo y clima (Bellon *et al.*, 2009; Boege, 2009).

México es reconocido como centro de origen, domesticación y diversificación del maíz. De acuerdo a Sánchez *et al.*, (2000), en base a características morfológicas e isoenzimáticas, se localizan en este país 59 razas, de las 220 a 300 que existen en el continente americano. Estas

variedades nativas o indígenas se siguen sembrando por razones culturales, sociales, técnicas y económicas (Kato *et al.*, 2013).

En forma inalterable, el maíz ha mantenido una relación bidireccional y muy cercana con el mexicano. Los mayas se consideraban “hombres de maíz” y para los aztecas la condición humana era inseparable de su consumo; asombra que esta planta tenga tanta plasticidad para su cultivo en diferentes suelos y climas, y que haya tantas variedades para muy diferentes propósitos (Bourges, 2013).

Para abordar a la conservación de la diversidad *in situ* con apoyo científico, se requiere desarrollar estrategias que permitan la elevación de la productividad y la calidad, más la búsqueda de aprovechamientos alternativos, a fin de ofrecer al agricultor opciones que le permitan mejorar sus estándares y calidad de vida, al mismo tiempo que se conserva la diversidad genética. Para ello, el punto de partida es la variación en el potencial, tanto de rendimiento, como para otros atributos que se presenta en las poblaciones locales de maíz. Tal variación es diferencial entre razas, entre tipos dentro de raza, entre poblaciones (la semilla de cada agricultor), y en las diferencias entre plantas dentro de cada población (García, 2012).

El proceso de diversificación sigue vivo, lo cual es muestra de la importancia de una estrategia nacional para conservar la diversidad del maíz *in situ*, ya que no sólo es importante el germoplasma sino también la preservación de los ecosistemas con sus interacciones bióticas y abióticas o nichos ecológicos (Muñoz, 2006; Kato *et al.*, 2013).

La fuerte riqueza genética de México presente en sus poblaciones nativas de maíz, representa posibilidades extensas para la selección y recombinación de recursos fitogenéticos de maíz para diferentes regiones. A su vez esta riqueza genética es aprovechada para el consumo humano en diversas maneras que incluyen: tortillas, tamales, tlacoyos, totopos, pinole y elotes, entre otros

(Arrellano *et al.*, 2003; Figueroa *et al.*, 2005). La tortilla es la principal forma de consumo del maíz (Coutiño *et al.*, 2008), ya que alrededor de 12.3 millones de toneladas de maíz se consumen en esta forma, donde el 64 % es a través del método tradicional maíz-masa-tortilla y el 36 % mediante la industria de la harina de maíz nixtamalizado (SAGARPA, 2014).

A través de la historia sobre el estudio y exploración de la diversidad del maíz, existen dos grandes estrategias de conservación de esos recursos: la colecta y resguardo de muestras en bancos de germoplasma o conservación *ex situ* y la conservación *in situ*, que implica el fomento y apoyo de la reproducción de las condiciones sociales y ambientales del campesino que le permitan la conservación del maíz (Serratos, 2009)

Las variedades de maíz mejoradas son inadecuadas para los productores porque en su proceso de obtención se ignoran los patrones varietales y las características de calidad de los criollos tales como: fácil nixtamalización, dureza y adhesividad de la masa, extensibilidad, tiempo de cocción, perfiles nutricionales, suavidad, sabor y durabilidad de la tortilla (Rangel *et al.*, 2004; Vidal *et al.*, 2008).

Entre las propiedades importantes para la clasificación del uso alimentario del maíz en México están el tamaño del grano, su gravedad específica y su dureza, así como su capacidad de absorción de agua y rendimiento de masa, rendimiento de tortilla, la pérdida de peso durante la cocción de la tortilla y la resistencia al corte de la tortilla (Mauricio *et al.* 2004). El color del grano de maíz varía ampliamente entre genotipos, y aunque no se considera una propiedad importante para su uso alimentario, influye considerablemente en la preferencia del consumidor (Mauricio *et al.*, 2004; Aragón *et al.*, 2012).

Turrent *et al.*, (2010) señalan que los rendimientos de las variedades mejoradas han mostrado ser notablemente superiores a las nativas, pero los pequeños productores suelen preferir sus variedades locales. Esto se debe a ciertas ventajas que se han identificado en las razas nativas,

que en su mayoría se siembran en condiciones edafo-climáticas más limitativas. Entre las ventajas de estos maíces destacan las siguientes: mejor manejo del riesgo agrícola, adaptación a las condiciones climáticas locales, estabilidad a la variabilidad climática, costos más bajos de los insumos necesarios para su producción y, muy importante, aptitud para la elaboración de preparaciones culinarias tradicionales (Vázquez *et al.*, 2010; Turrent *et al.*, 2010).

El grano de los materiales nativos ofrece calidad en los alimentos; característica que depende de la calidad del grano y de su procesamiento, de tal manera que para agregar valor a las actuales estrategias de conservación, es indispensable caracterizar las razas de maíz y los maíces mejorados desde una perspectiva de calidad, a fin de ligar las preferencias de los consumidores con las características de la materia prima (Figueroa *et al.*, 2013; Gaytán *et al.*, 2013). Es importante considerar las características de calidad entre los criterios de selección empleados en los programas de mejoramiento genético, en los que normalmente consideran el aspecto de rendimiento y muy poco a la calidad. Tales estudios permitirían que los maíces sean identificados como material de mayor valor agregado; es decir, que posean las características que la industria requiere para la producción de una diversa gama de productos y subproductos (Gaytán *et al.*, 2013); de esa manera, se ofrecerían estos bienes alimenticios a un sobreprecio.

Ante las evidencias de pérdida y extinción de algunas poblaciones, se hace necesario la protección, caracterización y conservación del germoplasma criollo, así como los saberes y conocimientos tradicionales (Lazos y Chauvet, 2011).

1.1.2.1. Usos especiales de los maíces nativos

La base de ciertos productos culinarios son los maíces nativos y no los maíces mejorados, los cuales no son aptos en la mayoría de los casos (Ortega, 2003). La Organización de Naciones

Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura ha declarado a la cocina tradicional mexicana, patrimonio cultural inmaterial de la humanidad (UNESCO, 2010), lo que atestigua un gran número de platillos que se prepara con este cultivo básico. Al respecto Bourges, (2013) precisa que la creatividad mesoamericana produjo una enorme variedad de preparaciones en forma de platillos y bebidas que pueden sumarse en unas 600 recetas diferentes.

Existe una correlación estricta entre la raza de maíz y el tipo de preparación culinaria. Por ejemplo, la raza Bolita es la idónea para elaborar la tortilla “tlayuda” y el “tejate”, con la raza Cacahuacintle se prepara el pozole, la raza Harinoso de Ocho se prefiere para la elaboración de “coricos”, la raza Bofo se usa para hacer “huacholes”, y la raza Zapalote Chico es la ideal para elaborar el “totopo istmeño”(Cuadro 1.1). Justamente estos son algunos de los “usos especiales” de las variedades nativas, que se definen como los usos culinarios específicos descritos para una raza en particular, y que pueden ser distintivos de una región o cultura determinada (Fernández *et al.*, 2013).

1.1.3. El maíz en el contexto estatal

Según datos del SIAP (2014), en Oaxaca se sembró en 2013 una superficie de 600,747.23 ha, con una producción de 620,530.01 ton y un rendimiento de 1.20 t ha⁻¹ (Cuadro 1.2). Este rendimiento es bajo comparado con el promedio nacional que es de 3.19 t ha⁻¹. El 88.25 % de la superficie sembrada es en régimen de temporal. Según Osorio, (2003) el consumo *per cápita* era de 229 kilos por año, por lo que de manera similar con los datos nacionales, predomina en Oaxaca la importación de maíz. El maíz, es el cultivo de mayor importancia para el estado, ya que forma parte de la cultura y base esencial de la alimentación de diferentes grupos indígenas (Aragón *et al.*, 2006).

Cuadro 1.1 Alimentos y preparaciones culinarias tradicionales hechos con maíz.

Tipo de preparación	Alimentos y preparaciones culinarias
Tortillas, antojitos, botanas y similares	Tortillas, totopos istmeños , tlayudas, chilaquiles, enchiladas, enfrijoladas, entomatadas, tacos , tostadas, quesadillas , garapaches, panuchos, papatzules, enjococadas, chopas de perico, chalupas, gorditas , molotes, peneques, sopes, tlacoyos o tlatloyos, salbutes, palomitas, totopos, nachos, frituras, otros.
Elotes y sopas	Elote , cuitlacoche, esquites , pozoles y menudos, chacales, chicales, huachales, chochoyotes, sopas, otros.
Tamales y similares	Tamal. De elote y de nixtamal. Dulces y salados. Con y sin relleno. De cazuela. Joroch. Nacatamales, kehil hua, buulil hua, zacahuil, pibipollo, tobi holoch, colados, chanchamitos, picles de elote, uchepos, corundas, agrios, colados, con frijoles, de garbanzo, de cacahuate, de tortilla, de tismiche, de ceniza, de chaya, de juacane, de chipilín, de frutas (piña, coco, naranja, almendra, avellanas, ciruela pasa guayaba), otros.
Pinoles, dulces y repostería	Pinole, tascalate, “alfajores”, batarete yaqui, ponteduro, burritos de maíz, manjar de maíz azul, “maría gorda”, melcocha, memenshas, tepopoztes, pemoles, totopos de huetamo, boronitas, coricos, buñuelos, gorditas tradicionales , de cuajada, de piloncillo, de maíz cacahuacintle, gondoques de pabellón, galletas de Zacazonapan, pan de maíz, pan de elote , tortas de maíz, turuletes de maíz, tlaxcales, toqueras de elote, otros.
Atoles	Atole: blanco , nuevo, agrio, usua, champurrado, chileatole , cuatole, nicuatole , malarrabia, tanchucuá, nixteme, de pinole, de frijol, de cacahuate, de avellana, de frutas, de chiles, de pepita, de aguamiel, de coyol, de grano, común de sabores varios (chocolate, vainilla, etc.), otros.
Bebidas	Pozol , chorote, teshüino (teshuino o tejuino), yorique, chicha, chilote, elisquiate, menjengue, piznate, otros

Fuente: Fernández *et al.*, (2013); las letras marcadas en negritas corresponden a los alimentos y preparaciones de la raza Zapalote chico.

Cuadro 1.2 Producción de maíz en los distritos políticos del estado de Oaxaca. 2013.

Distrito	Superficie (ha)		Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
	Sembrada	Cosechada		
Cañada	37,025.50	36,961.00	42,525.52	1.15
Costa	77,915.30	74,844.30	90,182.53	1.20
Huajuapán de León	133,953.08	115,885.98	108,335.43	0.93
Istmo	88,338.10	75,025.85	88,790.78	1.18
Sierra Juárez	22,639.50	22,639.50	27,789.75	1.23
Tuxtepec	63,122.00	63,122.00	121,974.60	1.93
Valles Centrales	177,753.75	137,299.88	148,931.40	1.08
Total	600,747.23	525,778.51	628,530.01	1.20

Fuente: SIAP-SAGARPA (2014)

El 90 % de la superficie sembrada con maíz se realiza con variedades criollas seleccionadas por los propios productores, 7 % con variedades mejoradas de polinización libre y 3 % con híbridos (Aragón, *et al.*, 2005). En el cuadro 1.3 se presenta las principales razas de maíz que identifica a las regiones de esta entidad federativa.

Los descubrimientos de restos arqueológicos encontrados en la cueva de Guilá Naquitz, ubicada en las cercanías de Mitla (Flannery, 1986; Aragón *et al.*, 2003; Aragón *et al.*, 2006), permiten considerar a Oaxaca como un centro de origen del maíz, demostrado además por la diversidad de maíz localizada en el estado (35 razas) que representa el 70 % de la diversidad reportada para México.

El estado de Oaxaca posee una alta variación genética en el cultivo del maíz, por su situación geográfica, abundante variación climática, topografía variada, diferentes tipos de suelos, facilidad de entrecruzamiento de ésta especie y principalmente al gran número de grupos étnicos que han formado diferentes variedades criollas mediante selección a través de miles de años.

Existe en Oaxaca una vasta cultura en el manejo y uso de las variedades criollas de maíz que la hacen un sitio interesante para impulsar la conservación de la riqueza genética existente y buscar

estrategias para elevar la producción de los materiales locales, y de esta manera lograr la autosuficiencia alimentaria de maíz a nivel estatal (Aragón *et al.*, 2005; Muñoz, 2006).

1.1.4. El maíz en el contexto regional

En la región del Istmo de Tehuantepec, para el año 2013 se sembró una superficie de maíz de 88,338.10 ha, con una producción de 88,790.78 ton, y rendimiento promedio de 1.18 t ha⁻¹, que comparado con lo reportado en el estado (1.2 t ha⁻¹) es ligeramente inferior. El 74.52 % de la superficie sembrada es de temporal (SIAP, 2014). La siembra de variedades mejoradas de maíz en esta región, presenta la misma tendencia que en la entidad. Al respecto, Aragón *et al.*, (2006) reportan que en la región de Istmo de Tehuantepec se siembran las razas Zapalote chico, Zapalote grande y Tuxpeño. El de mayor uso es el Zapalote chico. López (2005) menciona que en dicha zona existe introgresión de otras razas como el Vandeano, Olotillo y Tepecintle.

Cuadro 1.3 Principales razas de maíz cultivadas en siete regiones del estado de Oaxaca.

Región	Razas
Mixteca	Chalqueño, Cónico
Valles Centrales	Bolita, Tepecintle, Pepitilla, Tabloncillo
Costa	Tuxpeño, Olotillo, Conejito, Tepecintle
Istmo	Zapalote chico, Zapalote Grande, Tuxpeño
Sierra Juárez	Olotón, Cónico, Chalqueño, Bolita, Tuxpeño, Comiteco, Serrano Mixe
Cañada	Comiteco, Olotón, Tepecintle, Chalqueño
Tuxtepec	Tuxpeño, Tepecintle, Nal-tel, Olotillo

Fuente: Aragón *et al.*, (2006)

El maíz Zapalote chico, una de las razas prehistóricas (Wellhausen *et al.*, 1952), se desarrolló con la cultura indígena zapoteca, en la costa occidental de las llanuras del Estado de Oaxaca, México, conocido como la planicie costera del Istmo de Tehuantepec (López *et al.*, 2005). La preferencia

de los productores por esta raza obedece a varias características genéticas ventajosas, que lo califican como insustituible para la región (Muñoz, 2006). El Zapalote chico es una de las razas que mejor definida tienen su área geográfica de distribución (Aragón *et al.*, 2005).

En la actualidad, predomina un común interés entre los agricultores locales e investigadores en preservar, fomentar y difundir el uso de las variedades nativas de Zapalote chico, que a lo largo de su historia han sido cultivadas y aprovechadas en las comunidades de la región Istmeña de Oaxaca.

El maíz Zapalote Chico puede consumirse en distintas preparaciones desde elote, en estado de madurez fisiológica y como grano seco. Uno de los productos más conocidos elaborados con los granos de esta raza de maíz es el totopo (López, 2005). Los pobladores del Istmo de Tehuantepec inventaron el totopo, se trata de una tortilla deshidratada y crujiente horneada en comezcal (olla de barro sin fondo ni tapa); la suavidad del totopo conferida por el endospermo semiharinoso del Zapalote Chico es bien distinguida por los consumidores regionales, quienes lo prefieren consumir, en lugar de los totopos elaborados con el maíz de otras regiones que venden algunos comercios regionales (León, 1994).

Investigaciones realizadas en la región del Istmo de Tehuantepec y concentrados por Wellhausen *et al.*, (1951), Muñoz (2006), López *et al.*, (2005) y Taba *et al.*, (2006) han evidenciado la existencia de una considerable variabilidad en los caracteres agronómicos, entre las poblaciones nativas de esta raza en estudio.

No obstante los cambios que en estos días experimentan los habitantes de la zona, en las formas de consumo (comida rápida), en los últimos años se han agudizado la sensibilidad de la preferencia de algunos sectores de la población urbana y rural por productos alimenticios preparados en forma autóctona o tradicional con maíces nativos. Tal es el caso de las tortillas y

los “totopos” que se elaboran de este maíz, que se distingue por su mejor calidad comparado con la de harina industrializada de maíz híbrido.

Para la región del Istmo de Tehuantepec, se han generado y adaptado varios materiales genéticos; sin embargo, su adopción por parte de los productores es escasa. Instituciones como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), el Colegio de Postgraduados, entre otros, hasta hace unos años tenían programas de mejoramiento genético para esta zona; los cuales desafortunadamente fueron suspendidos por falta de recursos económicos.

Por otra parte, la conservación *in-situ* es un poco difícil en el caso de especies anuales y de polinización libre, porque estarían sujetas a la introducción de material mejorado en las parcelas tradicionales. Sin embargo, querer sujetar a los campesinos con su semilla criolla para conservar sin mejorarla, significa mantenerlo en un nivel de producción bajo y negarle las ventajas de algunos de los avances de la agronomía, ya que en la actualidad existen esquemas de mejoramiento genético participativo basados en el uso de semillas nativas, así como para la producción de semillas con tecnología artesanal.

El Instituto Tecnológico de Comitancillo y el INIFAP identificaron 18 criollos sobresalientes de la raza de maíz Zapalote chico, derivados de una colecta regional, con los cuales se pretende realizar la generación de familias de hermanos completos dentro de cada colección, para iniciar los ciclos de mejoramiento genético correspondientes. Conocer la diversidad de usos de un determinado recurso fitogenético, es pieza fundamental para formular estrategias que permitan la conservación de la diversidad genética de la especie, por lo que se hace necesario la adecuación y generación de tecnologías en los procesos de producción, acondicionamiento y conservación de semillas en la región Istmeña del Estado de Oaxaca.

Los resultados de esta investigación se presentan en capítulos que se relatan en el presente escrito, pretenden integrar una serie de escritos que se harán acerca de estas poblaciones; y principia con la evaluación de los atributos adaptativos; caracterización agromorfológica; análisis físico del grano; pruebas de nixtamalización y elaboración de tortilla; caracterización física de totopos, hasta el estudio integral electroforético. Con lo anterior, se tendrá una información más completa de porqué los totopos de Oaxaca son de maíz Zapalote chico y no de otro maíz, valorando de esa manera la riqueza genética que existe en las poblaciones nativas del país.

1.2. OBJETIVOS

General:

Evaluar la variación de la diversidad genética del maíz Zapalote chico, mediante la caracterización morfológica, rendimiento y calidad de grano, para plantear estrategias de conservación, uso y aprovechamiento de poblaciones sobresalientes.

Específicos:

1. Evaluar el comportamiento agronómico y de rendimiento de grano de 18 poblaciones sobresalientes de la raza Zapalote chico.

2. Caracterizar las expresiones fenotípicas y genotípicas de 18 maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.
3. Valorar la calidad de grano, nixtamalización, tortilla y totopo de 18 poblaciones de la raza Zapalote chico.
4. Determinar la variación intrarracial y la relación entre la variación genética y la ambiental de la zona de estudio.

1.3. LITERATURA CITADA

- Aragón C. F., J de D. Figueroa, M. Flores Z, M. Gaytán M, M. J. J Véles (2012) Calidad Industrial de Maíces Nativos de la Sierra Sur de Oaxaca. Libro Técnico No. 15. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Santo Domingo Barrio Bajo, ETLA, Oaxaca, México. 249 p.
- Aragón, C. F., S. Taba, G. H. Castro, J. M. Hernández, J. M. T. Cabrera, L. A. Osorio, N. R. Dillanes. 2003. In situ Conservation and use of local maize races in Oaxaca, México: A participatory and decentralized approach. *In: Latin American Maize Germplasm conservation: Regeneration, in situ conservation, core subsests, and prebreeding. Proceedings of a workshop at CIMMYT.*
- Aragón, C. F., S. Taba, J. M. Hernández, J. de D. Figueroa, V. Serrano y F. H. Castro. 2006. Catálogo de maíces criollos de Oaxaca. INIFAP-SAGARPA. Libro Técnico Num. 6. Oaxaca, Oaxaca. México. 334 p.
- Aragón, C.F., S. Taba, J.M. Hernández, J de D. Figueroa y V Serrano. 2005. Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca proyecto CONABIO SC-002.
- Arellano V.J.J., Tut C.C., Ramírez A.M, Salinas M.Y. y Taboada G.O.T. 2003. Maíz azul de los valles altos de México. I. Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 26: 101 – 107
- Bellon, M.R. 2009. Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas, En: *Capital natural de México, vol II: Estado de conservación y tendencias de cambio.* CONABIO, México, pp. 355-382.
- Boege, K. 2009. Centros de origen, pueblos indígenas y diversidad del maíz. *Ciencias.* 92-93: 18-28.
- Bourges R. H. 2013. El maíz: su importancia en la alimentación de la población mexicana *In: El maíz ante los transgénicos: un análisis integral sobre el caso de México.* Álvarez B.E.R. y Piñeyro N. A (eds). UNAM, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades: Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad. (Colección debate y reflexión). pp:231-247.
- Coutiño B E; G C Vázquez; B M Torres; y Y M Salinas. 2008. Calidad del grano, tortillas y botanas de dos variedades de maíz de la raza Comiteco. Nota científica. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 31: 9-14.
- FAO. 2013. Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en México 2012. SAGARPA. www.fao.org/contac-us/licence-request.
- FAOSTAT (2013) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available from: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>. Date accessed: junio 2014.
- Fernández S. R., Morales C. L.A., y Amanda Gálvez M. A. 2013. Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 36:275-283.

- Figuroa C.J.D., Narváez G. D.E., Mauricio S. A., Taba S., Gaytán M. M., Véles M. J.J, Rincón S. F. y Aragón C. F. 2013. Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36: 305–314.
- Figuroa J D C, R A Mauricio, S Taba, E Morales, A Mendoza-Gaytán, F Rincón-Sánchez, L M Reyes, J J Véles. 2005 Kernel characteristics and tortilla making quality of maize accessions from Mexico, the Caribbean, and South and Central America. In: *Latin American Maize Germplasm Conservation: Regeneration, in situ Conservation, Core Subsets, and Prebreeding*. S Taba (ed). Proceedings of a Workshop held at CIMMYT, April 7-10, 2003. México, D.F.: CIMMYT. 71 p.
- Flannery, K.V.. 1986. *Guilá Naquitz. Archaic Foraging and Early Agriculture in Oaxaca, México*. Academic Press, Inc.
- García P. M.A. 2012. Diversidad genética, potencial agronómico y de calidad en maíces pigmentados de Valles Altos de México. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de postgraduados. 111p
- Gaytán M. M., Figuroa C. J. D., Reyes V.M L., Morales S. E. y Rincón S. F. 2013. Selección de maíces criollos para su aplicación en la industria con base en su valor agregado. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36: 339 –346.
- Kato A., Ortega P.R., Boege E., Wegier A., Serratos H.J.A., Alavez V., Jardón B.L., Moyers L. y Ortega D.V.D. 2013. Origen y diversidad del maíz. *In: El maíz ante los transgénicos: un análisis integral sobre el caso de México*. Álvarez B.E.R. y Piñeyro N. A (eds). UNAM, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades: Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad. (Colección debate y reflexión). pp:25-59.
- Lazos, E. y Chauvet, M. 2011. Análisis del contexto social y biocultural de las colectas de maíces nativos en México. Proyecto global de maíces nativos. Primer Informe, En: http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo9_Analisis_Especialistas/Lazos%20y%20Chauvet%202011.pdf
- León T. J. E. 1994. Caracterización física, nutricional, sensorial y regional del totopo de la sociedad de solidaridad social “Tona Taati” del Istmo de Tehuantepec, Oax. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 88p
- López, R. G.; Santacruz, V. A.; Muñoz, O. A.; Castillo, G. F.; Córdova, T. L. y Vaquera, H. H. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 5: 284-290
- López, R.G. 2005. Caracterización de la diversidad del maíz del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. Mex. 266 p.
- Mauricio R A S, J D C Figuroa, S Taba, M L V Reyes, F S Rincón, A G Mendoza. 2004. Characterization of maize accessions by grain and tortilla quality traits. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27:213-222.

- Muñoz, O.A. 2006. Centli-Maíz. Prehistoria e historia, diversidad, potencial, origen genético y geográfico, glosario centli-maíz. Colegio de Postgraduados-SINAREFI. Montecillo, Estado de México. p. 143
- Ortega P. R. 2003. La diversidad del maíz en México. In: Sin maíz no hay país. Esteva, G. y Marielle, C. (eds.). Culturas Populares de México. D.F., México, pp:123-154
- Osorio A. L 2008. Producción de maíz en labranza de conservación en Oaxaca En: Maíz. Agroproduce No. 23 Año 03. Disponible en: http://www.oeidrus-portal.gob.mx/oeidrus_oax/. Consultado el agosto de 2014.
- Rangel M. E., Muñoz O. A., Vázquez C.G., Cuevas S. J., Merino C. J. y Miranda C.S. 2004. Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México. Agrociencia 38: 53-61.
- Sánchez J J, M M Goodman, C W Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. Econ. Bot- 54:43-59.
- SE-DGIB (Secretaría de Economía-Dirección General de Industrias Básicas). 2012. Análisis de la cadena de valor maíz-tortilla: situación actual y factores de competencia local. Secretaría de Economía-Dirección General de Industrias Básicas. http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/20120411_analisis_cadena_valor_maiz-tortilla.pdf. (Consulta: julio, 2014).
- Serratos, J.A. H. 2009. El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. En: www.greenpeace.org.mx consultado el 10 de junio del 2014.
- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera- Secretaría de Agricultura y Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2013. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. (en línea). Consultado el 5 de agosto del 2014. Disponible en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Taba, S.; Díaz, J.; Aragón, C. F.; Rincón, S. F.; Hernández, C. J. M. y Krakowsky, M. 2006. Evaluation of Zapalote Chico accessions for conservation and enhancement. Maydica 51: 209-218.
- Turrent F. A., Cortés F. J.I., Espinosa C. A, Mejía A.H., Serratos H.J.A. 2010 ¿Es ventajosa para México la tecnología actual de maíz transgénico? Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 1:631-646.
- UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 2010. La Lista Representativa del Patrimonio Cultural Inmaterial de la UNESCO se enriquece con 46 nuevos elementos, 16 de noviembre. Disponible en: http://www.unesco.org/new/es/media-services/single-view/news/forty_six_new_elements_added_to_representative_list_of_the_intangible_cultural_heritage/#.UmVtGnCP8rw(consulta agosto 2014).

- Vázquez C.M.G.; Pérez C.J.P.; Hernández C. J.M.; Marrufo D. M.L. y Martínez R.E. 2010. Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del Altiplano y Valle del Mezquital, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*.33: 49 – 56
- Vidal-Martínez V A, M G Vázquez-Carrillo, B Coutiño-Estrada, A Ortega-Corona, J L Ramírez-Díaz, R Valdivia-Bernal, M J Guerrero-Herrera, F J Caro-Velarde, O Cota-Agramont. 2008. Calidad proteínica en colectas de maíces criollos de la sierra de Nayarit, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31:15-21.
- Wellhausen, E.J.; Roberts. L.M.; Hernández, X.E. y Mangelsdorf, P.C.1951. Razas de maíz en México. Folleto Técnico 5. Oficina de Estudios Especiales. S.A.G., México. 239 pp.

II. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE MAÍCES DE LA RAZA ZAPALOTE CHICO, EN LA REGIÓN ISTMEÑA DE OAXACA

RESUMEN

Con el propósito de conocer el comportamiento de poblaciones sobresalientes de maíz de la raza Zapalote chico, denominada localmente como maíz chico, que se encuentra distribuida en la porción costera, a altitudes de 5 a 130 m, alrededor de las lagunas Superior e Inferior del Golfo de Tehuantepec, se realizó la evaluación agronómica de 18 criollos sobresalientes. Estos materiales fueron seleccionados a partir de 97 colectas, en donde se consideraron aspectos agronómicos, así como los de preferencia por los productores. Las poblaciones sobresalientes se han caracterizado y conservado, a la vez que se avanza en la selección y mejoramiento de cuatro variedades superiores. Las evaluaciones de campo se desarrollaron durante cuatro ciclos de cultivo en los terrenos experimentales del Instituto Tecnológico de Comitancillo, Oax. Se registraron 10 variables, considerando rendimiento de grano y características de floración, porte, mazorca y grano. El diseño experimental fue completamente al azar con dos repeticiones. Los resultados demostraron diferencias altamente significativas para variedades, año agrícola y para la interacción de ambos factores en rendimiento de grano, días a floración masculina, días a floración femenina, altura de planta, altura de mazorca y ancho de grano. Las conclusiones más relevantes son: 1) El rendimiento de grano para variedades y años fluctuó entre 1.73 a 2.97 t ha⁻¹ y, 2) En la región existe amplia variación genética entre y dentro de poblaciones de la raza Zapalote chico.

Palabras clave: diversidad genética, Zapalote chico, variación genética, patrones varietales.

2.1. INTRODUCCIÓN

En México se siembran anualmente 9.6 millones de hectáreas, con un rendimiento promedio de 2.2 t ha⁻¹. (Vázquez *et al.*, 2010). Las variedades comerciales sólo se utilizan en alrededor del 20% de la superficie dedicada a la producción de maíz, y en el resto, los agricultores utilizan semillas conservadas de manera tradicional, con variedades nativas de polinización libre o generaciones avanzadas de híbridos (Hernández y Esquivel, 2004; Taba *et al.*, 2006).

Las variedades de maíz mejorado son inadecuadas para los productores porque en su proceso de obtención se ignoran los patrones varietales y las características de calidad de los criollos (Rangel *et al.*, 2004). Las razas tradicionales de maíz están bien adaptadas a condiciones locales de producción y usos, así como por las preferencias en tipos de grano específico para platillos locales; por lo que constituyen un componente clave en la seguridad alimentaria del hogar (Taba *et al.*, 2006; Márquez, 2008).

La diversidad del maíz en México se encuentra en los sistemas agrícolas tradicionales. Los agricultores siembran variedades autóctonas y, a través de su conocimiento, las preferencias y prácticas que han desarrollado, continúan manteniendo la diversidad en este cultivo (Bellon y Berthaud, 2006; Antuna *et al.*, 2008). Esta gama de maíces criollos, aunque son de bajo rendimiento, sobresalen por su adaptabilidad a condiciones adversas, capaces de sobrevivir donde los maíces mejorados no tienen oportunidad, debido al estrés hídrico a que están expuestos y por su ciclo vegetativo de intermedio a tardío (Herrera *et al.*, 2004).

Los productores de las regiones temporaleras prefieren sus maíces criollos, por la adaptación a las condiciones ambientales de sus parcelas, por la facilidad para su procesamiento, por las características de los alimentos que con ellos se preparan y porque satisfacen las necesidades de

su ganado (forraje), atributos que están ligados sobre todo a aspectos culturales (Vázquez *et al.*, 2003; Coutiño *et al.*, 2008).

La pérdida continua de la diversidad de los maíces nativos ha renovado el interés por su rescate, conservación y aprovechamiento, de tal forma que se han apoyado proyectos para recolectar, evaluar y caracterizar maíces nativos en diferentes regiones y estados del país (Nájera *et al.*, 2002; Martin *et al.*, 2008; Hortelano *et al.*, 2008). El maíz Zapalote chico, una de las razas prehistóricas (Wellhausen *et al.*, 1952), se desarrolló con la cultura indígena zapoteca, en la costa occidental de las llanuras del Estado de Oaxaca, México (López *et al.*, 2005).

En el año de 1997 se realizaron actividades para coleccionar, conservar y mejorar los maíces de la raza Zapalote chico, logrando reunir un total de 97 colectas. Evaluación y selección a partir de características agronómicas permitieron distinguir 18 colectas sobresalientes, las cuales se han caracterizado y conservado en cuatro ciclos agrícolas diferentes. El presente estudio se identifica por su naturaleza exploratoria, en donde los resultados permitirán realizar adecuaciones o perfeccionar futuros trabajos de investigación en esta raza de maíz. Con lo anterior, se planteó como objetivo evaluar el rendimiento de grano y otras características agronómicas en 18 criollos sobresalientes de maíz de la raza Zapalote chico.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. Germoplasma.

El material biológico consistió en los mejores 18 criollos de maíz identificados con la raza Zapalote chico, perteneciente a la región del Istmo de Tehuantepec, estado de Oaxaca, distinguida como el área geográfica de distribución de dicha raza. En la Figura 2.1, se señala el lugar de origen de los 18 maíces criollos sobresalientes.

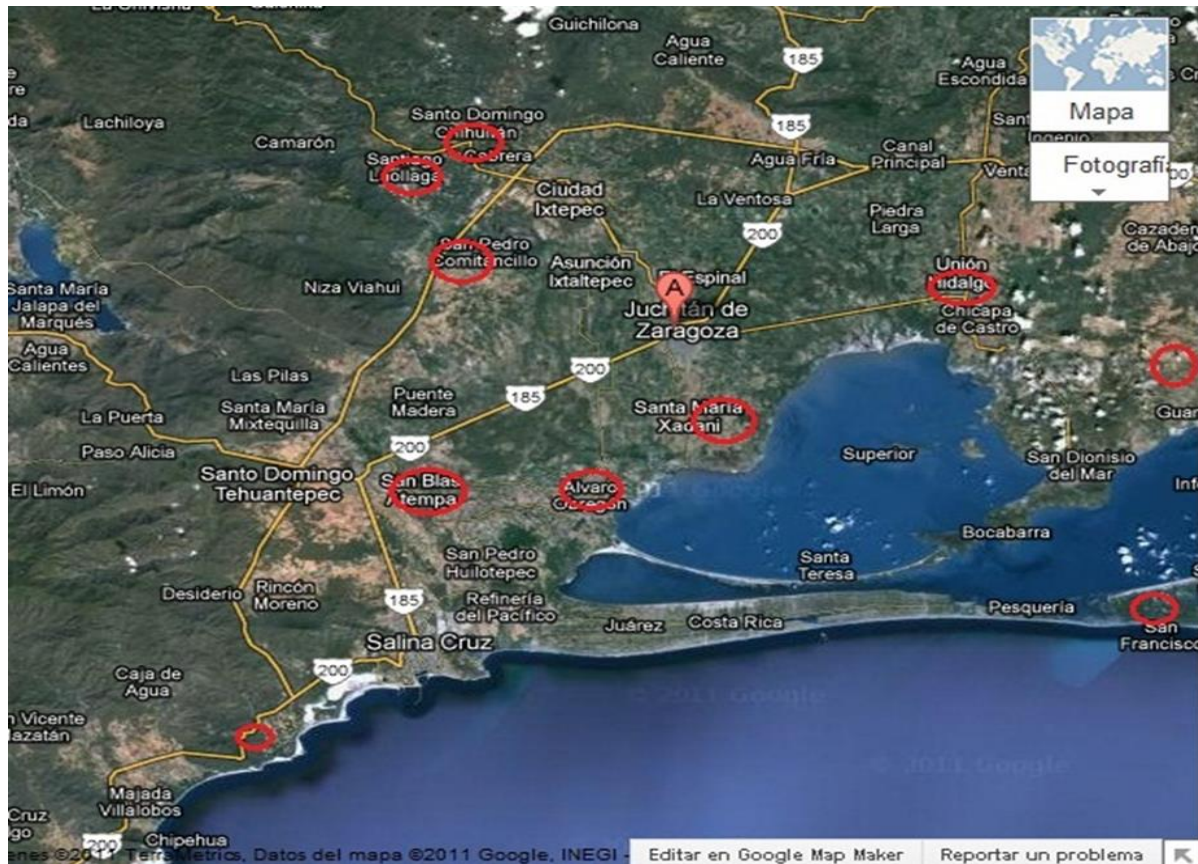


Figura 2.1 Sitios de origen de los materiales genéticos en estudio.

Los materiales utilizados se derivaron de una colección regional realizada por investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y del Instituto Tecnológico de Comitancillo (ITC) en el año de 1997. La depuración de las accesiones se realizó considerando aspectos de identificación de la raza de interés, así como valores agronómicos y de preferencia de productores. En el Cuadro 2.1, se señalan los lugares de colecta y denominación de los materiales en estudio.

Las evaluaciones de campo se desarrollaron en los terrenos experimentales del Instituto Tecnológico de Comitancillo, ubicado en la población de San Pedro Comitancillo, Oax., misma que se identifica con clima Awo (w)ig, cálido subhúmedo, el más seco de los subhúmedos, con

régimen de lluvias en verano (García, 1981), temperatura media anual de 27 °C y precipitación media anual de 600 mm.

Cuadro 2.1 Sitios de colecta y denominación de 18 maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.

	Variedad	Comunidad	Nombre local	Color	Altitud(msnm)
1	OAX-823	San Pedro Comitancillo	Hoja morada	Blanco	76
2	OAX-826	San Pedro Comitancillo	Zapalote chico	Blanco	72
3	OAX-827	San Pedro Comitancillo	Zapalote	Blanco	70
4	OAX-830	Sto. Dgo Chihuitán	Zapalote blanco	Blanco	96
5	OAX-832	Sto. Dgo Chihuitán	Cuarentena	Blanco	99
6	OAX-834	Stgo. Laollaga	Zapalote	Blanco	127
7	OAX-838	Stgo. Laollaga	Zapalote	Blanco	130
8	COL-29	Sn Fco. Ixhuatán	Zapalote	Blanco	16
9	COL-31	Montecillo Sta. Cruz	Zapalote	Blanco	15
10	COL-32	Montecillo Sta. Cruz	Zap. enredado	Blanco	10
11	COL-34	Unión Hidalgo	Zapalote morado	Blanco	15
12	COL-36	Unión Hidalgo	Zapalote chico	Blanco	17
13	COL-45	Sta. Ma. Xadani	Maíz chiquito	Blanco	10
14	COL-51	Álvaro Obregón	Olote colorado	Blanco	25
15	COL-58	San Blas Atempa	Maíz chico	Blanco	35
16	COL-62	El Morro Mazatán	Criollo	Blanco	19
17	COL-64	El Morro Mazatán	Chiquito morado	Blanco	5
18	ZAP MOR	San Pedro Comitancillo	Zapalote morado	Blanco	70

2.2.2. Manejo agronómico

El establecimiento de las evaluaciones realizadas fue similar en los cuatros años en que se realizaron. El diseño experimental fue completamente al azar con dos repeticiones. La unidad experimental fue dos surcos (5.0 m de longitud y 0.55 m de ancho). Se sembraron tres semillas cada 0.5 m y al aporque, se aclaró a dos plantas, para obtener una densidad de población de 72 800 plantas ha⁻¹. La dosis de fertilización fue 92-46-00 (200 kg de urea y 100 kg de

superfosfato de calcio triple); aplicando en la siembra la mitad del nitrógeno y todo el fósforo; el resto del nitrógeno se suministró en el aporque.

2.2.3. Variables agronómicas

Se registraron las siguientes variables: días a floración masculina (DFM), transcurridos desde la siembra hasta que 50 % de las plantas de cada parcela se encontraran en antesis; días a floración femenina (DFF), desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas de cada parcela presentaran estigmas expuestos; altura de la planta (ALP), se midió en centímetros desde la superficie del suelo al pie de la planta hasta la lígula de la hoja bandera; altura de la mazorca (ALM), se midió en centímetros desde la superficie del suelo al pie de la planta hasta el nudo de inserción de la mazorca superior.

2.2.4. Variables de mazorca y grano

Se registraron las variables: longitud de mazorca (LM), se midió en centímetros en una muestra de cinco mazorcas; diámetro de la mazorca (DM), tomado en la parte central de una muestra de cinco mazorcas, se midió en centímetros; número de hileras de grano de la mazorca (NHM) contados en una muestra de cinco mazorcas; largo de grano (LG) y ancho de grano (AG), se obtuvieron a partir de diez granos, tomados del centro de la mazorca, los cuales se midieron (mm) con un vernier digital Mitutoyo modelo CD-6 (Mitutoyo Corp, Japón); y, rendimiento de grano (RG), expresado en toneladas por hectárea, como el peso total de la mazorca por parcela x factor de desgrane x factor de humedad ajustado al nivel de humedad comercial de 14 % x el factor de conversión de la superficie cosechada respecto a una hectárea.

2.2.5. Análisis estadístico

Se hicieron análisis de varianza individuales para las variables en estudio y análisis combinado; para los datos con cuadrados medios significativos se usó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0.05$).

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias altamente significativas para variedades (VAR), año agrícola (AÑO) y para la interacción VAR x AÑO para las variables rendimiento de grano, días a floración masculina, días a floración femenina, altura de planta, altura de mazorca y ancho de grano (Cuadro 2.2). La alta significancia de las diferencias entre variedades refleja la variabilidad y diversidad genética que existe entre los materiales evaluados de la raza Zapalote chico de maíz, reflejando sustento suficiente para seleccionar materiales con los que se puede iniciar o complementar un programa de mejoramiento genético con miras de uso y aprovechamiento de colectas sobresalientes en su área de adaptación.

No se presentó significancia estadística para la interacción VAR x AÑO en las variables largo de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras de la mazorca y largo de grano; igual comportamiento fue para el número de hileras de la mazorca en el factor AÑO. Una mayor varianza debida al factor VAR, se presentó en rendimiento de grano, altura de planta y altura de mazorca, lo que indica que se comportaron en forma diferente en cuanto a las condiciones climáticas y del manejo agronómico practicado en cada uno de los años. Los coeficientes de

variación para las variables estudiadas fueron relativamente bajos; valores que sugieren que la conducción de los ensayos y los resultados obtenidos son confiables (Reyes, 1990).

Cuadro 2.2 Cuadrados medios de los análisis de varianza combinado para las variables estudio, durante cuatro años de evaluación en San Pedro Comitancillo, Oax.

F.V.	gl	REN (t ha ⁻¹)	DFM (días)	DFF (días)	ALP (cm)	ALM (cm)	LM (cm)	DM (cm)	NHM	LG (mm)	AG (mm)
Año agrícola (Año)	3	17.41**	241.66**	365.08**	6334.74**	3564.02**	27.75**	1.02**	2.99 ^{ns}	27.38**	13.35**
Variedad (Var)	17	0.69**	18.13**	18.41**	944.82**	287.69**	9.08**	0.59**	12.48**	1.96 ^{ns}	2.21**
Año x Variedad	51	0.93**	14.66**	17.77**	833.86**	251.57**	2.36 ^{ns}	0.233 ^{ns}	1.85 ^{ns}	2.42 ^{ns}	2.06**
Error	68	0.26	4.11	3.95	276.24	116.31	1.94	0.163	3.31	146	0.94
Total	143										
C.V. (%)		21.27	4.23	3.95	12.84	16.06	13.29	10.2	16.73	14.92	10.56
Media		2.41	47.86	50.22	129.44	67.14	10.47	3.95	10.87	10.14	9.19

F.V.= fuentes de variación; gl = grados de libertad; ** = altamente significativo; ns = no significativo; RG = Rendimiento de grano; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; ALP = Altura de planta; ALM = Altura de inserción de la mazorca; LM = Longitud de la mazorca; DM = Diámetro de la mazorca; NHM = Numero de hileras de la mazorca; LG = Largo del grano; AG = Ancho del grano.

El análisis combinado favorece la decisión de hacer la comparación durante los cuatro años de evaluación en cada una de los variables de estudio (Cuadro 2.3). Se observa que el año agrícola 2004 es donde se presentan las mejores condiciones para que las variedades expresen sus características sobresalientes, tales como rendimiento de grano, días a floración masculina, días a floración femenina, diámetro de mazorca, largo de grano y ancho de grano. Para el año 2005, se distinguieron caracteres como altura de planta, altura de mazorca y largo de grano. Días a floración masculina, largo de mazorca, diámetro de mazorca y rendimiento de grano se identificaron en 2008. El año 2010, fue el de menor desempeño de las colectas estudiadas.

2.3.1. Rendimiento de grano

La factibilidad del cultivo se define mediante este carácter, para obtener mayores beneficios. Los rendimientos medios (t ha⁻¹) que se obtuvieron en los 4 años de prueba fueron muy diferentes:

2.95 en 2004; 2.36 en 2005; 2.89 en 2008; 1.45 en 2010 (Cuadro 2.3). Los años en los que el rendimiento de grano fue mayor son 2004 y 2008, con 2.95 y 2.89 t ha⁻¹ en forma respectiva.; los valores más bajos de ambos factores ocurrieron en 2005 y 2010.

Cuadro 2.3 Promedios en los caracteres agronómicos de 18 maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico, durante cuatro años de evaluación en San Pedro Comitancillo, Oax.

AÑO	CARACTERES AGRONÓMICOS									
	RG (t ha ⁻¹)	DFM (días)	DFF (días)	ALP (cm)	ALM (cm)	LM (cm)	DM (cm)	NHM (No.)	LG (mm)	AG (mm)
2004	2.95 a	50.61 a	53.97 a	114.16 c	56.58 c	10.23 bc	4.14 a	11.00 a	11.22 a	10.02 a
2005	2.36 b	45.11 b	46.66 d	145.94 a	78.66 a	10.51 b	3.89 ab	10.66 a	10.47 a	9.14 b
2008	2.89 a	49.44 a	51.5 b	125.55 b	71.77 b	11.63 a	4.03 a	11.22 a	9.38 b	8.56 b
2010	1.45 c	46.27 b	48.77 c	132.11 b	61.55 c	9.52 c	3.75 b	10.61 a	9.48 b	9.04 b
C.V. (%)	21.27	4.23	3.95	12.84	16.06	13.29	10.2	16.73	14.92	10.56
Media	2.41	47.86	50.22	129.44	67.14	10.47	3.95	10.87	10.14	9.19
DMSH	0.32	1.26	1.23	10.32	6.69	0.86	0.25	1.13	0.94	0.61

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey 0.05); RG = Rendimiento de grano; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; ALP = Altura de planta; ALM = Altura de inserción de la mazorca; LM = Longitud de la mazorca; DM = Diámetro de la mazorca; NHM = Numero de hileras de la mazorca; LG = Largo del grano; AG = Ancho del grano.

Las variedades con los rendimientos medios más altos fueron COL -36 con 2.97 t ha⁻¹ y OAX-838 con 2.82 t ha⁻¹, que pertenecen a las poblaciones de Unión Hidalgo y Santiago Laollaga respectivamente; identificados con la raza Zapalote chico, perteneciente a la región del Istmo de Tehuantepec, estado de Oaxaca, distinguida como el área geográfica de distribución de dicha raza (Wellhausen, *et al.*, 1957; López *et al.*, 2005).

Por otra parte, a pesar de no considerar en la evaluación materiales mejorados usados como testigos, López *et al.* (2005) y Taba *et al.* (2006) concuerdan que en el Istmo de Tehuantepec, donde los vientos fuertes pueden provocar acame de tallo y de raíz, la raza Zapalote chico, que es de madurez temprana, ofrece rendimientos más confiables, a través de años, que las variedades de mayor rendimiento, que se identifican por tener maduración tardía. Al respecto, se ha demostrado

que con frecuencia los maíces criollos superan o igualan en rendimiento a las variedades mejoradas, y por ello pueden ser aprovechados por otros productores y en programas de mejoramiento genético.

En 2004 y 2008 se presentó cierta coincidencia entre las variedades de mayor rendimiento, así como entre las de menor rendimiento, lo cual no ocurrió en 2005 y 2010. Es decir, varios de los materiales evaluados con alto rendimiento en 2004 y 2008 fueron los de menor rendimiento en 2005 y 2010. Sin embargo, en el Cuadro 2.4 se observan variedades que tuvieron un buen nivel de rendimiento, y que mostraron posiciones semejantes en los cuatro años de evaluación, como fue el caso de las colectas: OAX-838, COL-36, COL-45 y ZAP MOR (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4 Rendimiento de grano (t ha⁻¹) de 18 criollos sobresalientes de maíz, durante 4 años de prueba en San Pedro Comitancillo, Oax. (Tukey 0.05).

Combinado		2004		2005		2008		2010	
Var	Ren	Var	Ren	Var	Ren	Var	Ren	Var	Ren
12	COL-36	2.97 a	1 4.26 a	12	4.11 a	13	3.94 a	14	2.44 a
7	OAX-838	2.82 a	3 3.69 ab	5	3.69 ab	7	3.67 ab	12	2.10 ab
13	COL-45	2.81 a	16 3.45 ab	11	3.42 abc	3	3.48 ab	16	1.97 abc
11	COL-34	2.58 ab	7 3.23 ab	8	3.29 abc	1	3.33 ab	15	1.85 abc
3	OAX-827	2.55 ab	14 3.23 ab	10	2.98 abc	16	3.26 ab	11	1.71 abc
1	OAX-823	2.55 ab	8 3.21 ab	13	2.84 abc	15	3.26 ab	7	1.62 abc
5	OAX-832	2.51 ab	18 3.15 ab	7	2.76 abc	6	3.15 ab	13	1.49 abc
16	COL-62	2.47 ab	10 3.09 ab	6	2.58 abc	2	3.13 ab	18	1.42 abc
10	COL-32	2.43 ab	13 3.05 ab	9	2.49 abc	17	3.12 ab	17	1.42 abc
14	COL-51	2.43 ab	5 2.91 ab	18	1.92 abc	18	3.09 ab	10	1.41 abc
18	ZAP MOR	2.40 ab	12 2.83 ab	17	1.86 abc	9	2.89 ab	3	1.40 abc
15	COL-58	2.32 ab	2 2.67 ab	15	1.76 bc	12	2.85 ab	2	1.38 abc
9	COL-31	2.26 ab	11 2.66 ab	4	1.66 bc	5	2.79 ab	4	1.30 abc
17	COL-64	2.23 ab	9 2.58 ab	3	1.64 bc	14	2.54 ab	9	1.1 abc
8	COL-29	2.15 ab	15 2.53 ab	1	1.61 bc	11	2.52 ab	1	0.99 abc
6	OAX-834	2.14 ab	17 2.51 ab	14	1.51 bc	10	2.25 ab	6	0.96 bc
2	OAX-826	2.13 ab	4 2.33 b	2	1.33 c	4	1.64 ab	8	0.93 bc
4	OAX-830	1.73 b	6 1.87 b	16	1.2 c	8	1.16 b	5	0.63 c
	C.V.	21.27	15.22	23.82	22.09	24.72			
	Media	2.41	2.95	2.364	2.89	1.45			
	DMSH	0.93	1.82	2.28	2.59	1.45			

Se observa que las 18 colectas estudiadas tuvieron rendimiento promedio alto, con respecto a lo que reporta INEGI (2002) que es de 1.25 t ha^{-1} , lo que sugiere continuar los estudios de forma específica sobre ellos, para detectar otros atributos que permitan recomendarlos para siembras comerciales o ser considerados en un programa de mejoramiento genético. La recomendación se refiere a la caracterización física del grano, pruebas de nixtamalización y elaboración de tortilla, así como el estudio físico de totopos, que es el uso que identifica el germoplasma de Zapalote chico.

El análisis estadístico realizado, posibilita presentar las interacciones en el carácter rendimiento de grano, entre las 18 variedades x los 4 años de evaluación (Cuadro 2.5). Las variedades OAX-838, COL 31, COL 32 y COL 51, muestran mantener en buen nivel y constante su producción de maíz a lo largo de los cuatro años, por lo que constituyen las variedades para considerarse como prospectos en este carácter.

El rendimiento de grano de los maíces estudiados se considera bajo si se compara con el de otras razas nativas mexicanas. Al respecto Martín *et al.* (2008) al caracterizar los maíces nativos del noroccidente del país, encontraron un rendimiento promedio de 2.5 t ha^{-1} . Vázquez *et al.* (2003) puntualizan que en un proceso de selección y mejoramiento del maíz para elevar la calidad de los alimentos que se obtienen de este cultivo básico, esta característica debería estar por arriba del criterio de rendimiento. El color de grano de los materiales evaluados es blanco (Cuadro 2.1) y presentan mayor dureza y adhesividad de la masa, mayor reflectancia, tiempo de extensión y tiempo de cocción de la tortilla (Rangel *et al.*, 2004). El peso de los granos de esta raza es bajo, debido a su textura harinosa (Vásquez *et al.*, 2003); por lo que generalmente la comercialización lo realizan los productores de la región, mediante medidas tradicionales o autóctonas, tales como canasto, litro, cuartillo, fanega.

Cuadro 2.5 Interacción variedades x años para rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$) en 18 criollos sobresalientes de maíz. Raza Zapalote chico.

Variedades	Años			
	2004	2005	2008	2010
1 OAX-823	4.26	1.61	3.33	0.99
2 OAX-826	2.67	1.33	3.13	1.38
3 OAX-827	3.69	1.64	3.48	1.40
4 OAX-830	2.33	1.66	1.64	1.30
5 OAX-832	2.91	3.69	2.79	0.63
6 OAX-834	1.87	2.58	3.15	0.96
7 OAX-838	3.23	2.76	3.67	1.62
8 COL-29	3.21	3.29	1.16	0.93
9 COL-31	2.58	2.49	2.89	1.10
10 COL-32	3.09	2.98	2.25	1.41
11 COL-34	2.66	3.42	2.52	1.71
12 COL-36	2.83	4.11	2.85	2.10
13 COL-45	3.05	2.84	3.94	1.49
14 COL-51	3.23	1.51	2.54	2.44
15 COL-58	2.53	1.67	3.26	1.85
16 COL-62	3.45	1.2	3.26	1.97
17 COL-64	2.51	1.86	3.12	1.42
18 ZAP MOR	3.15	1.92	3.09	1.42

2.3.2. Características agronómicas

2.3.2.1. Floración

El análisis de varianza reportó significancia estadística para las variables días a floración masculina y femenina; características que definen la precocidad de los cultivos. La importancia de esta raza radica en su precocidad (López *et al.*, 2005), lo que permite obtener al menos dos cosechas en el mismo terreno por año; de aquí que para un criterio de selección se definen como deseables los materiales que se ubican con valores menores. El periodo que requirieron las colectas para llegar a la floración masculina fue de 45.5 a 51.5 días después de la siembra

(Cuadro 2.6) destacándose la COL-34 como el de menor número de días en tanto que la COL-31 fue la que requirió más días a la floración masculina. Sobre este particular cabe señalar que Taba *et al.* (2006) reportan 76 días, en promedio para los días de antesis.

Cuadro 2.6 Días a floración masculina y días a floración femenina en promedio de 18 criollos sobresalientes durante 4 años de prueba en San Pedro Comitancillo, Oax. (Tukey 0.05).

Var	DFM	Var	DFF
9 COL-31	51.50 a	9 COL-31	53.5 a
16 COL-62	50.75 ab	16 COL-62	53.25 ab
8 COL-29	49.5 abc	8 COL-29	52.5 abc
4 OAX-830	48.75 abc	5 OAX-832	50.75 abcd
3 OAX-827	48.13 abc	3 OAX-827	50.50 abcd
5 OAX-832	47.75 bcd	2 OAX-826	50.50 abcd
17 COL-64	47.75 bcd	4 OAX-830	50.25 abcd
10 COL-32	47.75 bcd	12 COL-36	50.25 abcd
2 OAX-826	47.63 bcd	7 OAX-838	50.00 abcd
15 COL-58	47.50 bcd	6 OAX-834	50.00 abcd
6 OAX-834	47.50 bcd	10 COL-32	49.75 bcd
18 ZAP MOR	47.50 bcd	1 OAX-823	49.50 cd
1 OAX-823	47.38 bcd	17 COL-64	49.50 cd
7 OAX-838	47.26 bcd	18 ZAP MOR	49.38 cd
12 COL-36	47.00 cd	15 COL-58	49.25 cd
14 COL-51	46.63 cd	14 COL-51	49.00 cd
13 COL-45	45.75 d	13 COL-45	48.50 d
11 COL-34	45.50 d	11 COL-34	47.75 d
CV %	4.23		3.95
Media	47.86		50.22
DMSH	3.67		3.6

Para la floración femenina el periodo fue de 47.75 a 53.5 días, destacando los mismos materiales en la floración masculina; respectivamente COL-34 y COL 31; con valores que confirman lo señalado por López *et al* (2005), al clasificar como precoz, intermedio y tardío materiales de esta raza, que presentan un periodo de 48.6, 51.6 y 55.5 días después de la siembra, respectivamente;

esta condición de precocidad permite a Zapalote chico tener la habilidad de adaptarse a condiciones ambientales limitantes y con ello establecen superioridad respecto a los híbridos.

2.3.2.2. Altura de planta y mazorca

Las fuentes de variación del análisis de varianza (Cuadro 2.2) muestran diferencia estadística para las variables altura de planta y de mazorca. Esta característica es de importancia, sobre todo porque en la zona de adaptación (Figura 2.1 y Cuadro 2.1), se identifica como de afluencia de vientos fuertes, que alcanzan una velocidad media de 90 km·h de octubre a marzo.

Cuadro 2.7. Promedio de altura de planta (cm) y altura de inserción de la mazorca (cm) de 18 criollos sobresalientes durante 4 años de prueba en San Pedro Comitancillo, Oax. (Tukey 0.05).

Var	ALP	Var	ALM
13 COL-45	150.13 a	8 COL-29	79.63 a
12 COL-36	141.5 ab	6 OAX-834	72.25 ab
9 COL-31	140.00 abc	12 COL-36	75.13 ab
6 OAX-834	139.38 abc	9 COL-31	71.00 ab
11 COL-34	137.88 abc	13 COL-45	70.38 ab
8 COL-29	135.50 abc	18 ZAP MOR	69.88 ab
18 ZAP MOR	135.13 abc	14 COL-51	69.00 ab
14 COL-51	134.25 abc	16 COL-62	68.75 ab
16 COL-62	132.88 abc	11 COL-34	68.38 ab
15 COL-58	130.38 abc	10 COL-32	68.25 ab
17 COL-64	127.25 abc	4 OAX-830	64.75 ab
10 COL-32	124.38 abc	2 OAX-826	64.38 ab
5 OAX-832	121.88 abc	15 COL-58	63.50 ab
4 OAX-830	118.38 bc	5 OAX-832	62.25 ab
2 OAX-826	118.38 bc	3 OAX-827	60.50 ab
3 OAX-827	116.88 bc	17 COL-64	60.00 b
7 OAX-838	115.50 bc	7 OAX-838	58.88 b
1 OAX-823	110.38 c	1 OAX-823	58.75 b
CV (%)	12.84		16.06
Media	129.44		67.14
DSH	30.13		19.55

En las condiciones señaladas, esta raza de maíz responde de forma ventajosa, debido a su porte bajo y a su tolerancia al acame. La altura de planta fue de 110.38 cm para la variedad OAX-823, hasta 150.13 cm donde se ubicó la variedad COL-45 (Cuadro 2.7). Para la altura de inserción de la mazorca, se ubicó la variedad OAX-823 con el valor más bajo (58.75 cm), en tanto que el valor alto fue para la COL-29 con 79.63 cm (Cuadro 2.7). Los valores mencionados concuerdan con lo reportado por Wellhausen *et al* (1951), al señalar que la altura de planta en esta raza de maíz es de 1 a 2 m, y con Taba *et al* (2006) quienes encontraron valores de 156 cm en altura de planta y 82 cm para la altura de mazorca.

2.3.3. Características de mazorca

Los datos de longitud de mazorca, diámetro de mazorca y número de hileras de grano, muestran significancia estadística entre variedades; mientras que en la fuente de variación año, la significancia fue para longitud y diámetro de mazorca; y no hay significancia en la interacción VAR x AÑO en estas tres variables (Cuadro 2.2).

La longitud de mazorca registró valores de 9.09 cm (COL-34) a 12.63 cm (COL-62), ofreciendo reducida variación en este carácter, debido tal vez a que las colectas evaluadas son de poca heterogeneidad al respecto, a pesar de la separación de los grupos estadísticos del Cuadro 2.8. El diámetro de mazorca señala cifras de 3.53 cm (OAX-823) a 4.7 cm (ZAP MOR) entre los materiales genéticos. El número de hileras de grano por mazorca en el germoplasma estudiado se caracterizó de 9.5 (OAX-823) a 15 (ZAP MOR). Wellhausen *et al.*, (1951) consideran que la raza Zapalote chico puede presentar de 10 a 12 hileras y un diámetro de mazorca de 4 a 4.4 cm. Con los valores encontrados y con los reportados en estas variables, el rendimiento de grano que identifica a esta raza de maíz puede considerarse como reducido.

El largo de la mazorca se puede comparar con el de los criollos identificados como intermedios y tardíos por López *et al.*, (2005). Taba *et al.*, (2006) reportaron una media en longitud de mazorca de 12 cm, diámetro de mazorca de 4.4 cm y 11 hileras de grano en la mazorca.

Cuadro 2.8. Datos promedios en características de mazorca, en 18 criollos sobresalientes durante 4 años de prueba en San Pedro Comitancillo, Oax. (Tukey 0.05).

Var	LM	Var	DM	Var	NHM
16 COL-62	12.63 a	18 ZAP MOR	4.70 a	18 ZAP MOR	15.00 a
13 COL-45	12.19 ab	8 COL-29	4.24 ab	9 COL-31	12.50 ab
14 COL-51	11.63 abc	11 COL-34	4.13 ab	13 COL-45	11.50 b
3 OAX-827	11.60 abcd	7 OAX-838	4.13 ab	16 COL-62	11.50 b
12 COL-36	11.06 abcd	12 COL-36	4.11 ab	2 OAX-826	11.50 b
17 COL-64	10.70 abcd	17 COL-64	4.09 ab	3 OAX-827	10.50 b
5 OAX-832	10.69 abcd	9 COL-31	4.03 ab	7 OAX-838	10.50 b
9 COL-31	10.69 abcd	14 COL-51	3.98 ab	4 OAX-830	10.50 b
2 OAX-826	10.60 abcd	3 OAX-827	3.96 b	17 COL-64	10.50 b
7 OAX-838	10.31 abcd	15 COL-58	3.96 b	14 COL-51	10.50 b
4 OAX-830	10.30 abcd	6 OAX-834	3.90 b	11 COL-34	10.50 b
15 COL-58	10.22 abcd	16 COL-62	3.90 b	10 COL-32	10.50 b
10 COL-32	10.06 bcd	5 OAX-832	3.80 b	5 OAX-832	10.50 b
18 ZAP MOR	9.26 cd	10 COL-32	3.79 b	8 COL-29	10.25 b
1 OAX-823	9.24 cd	4 OAX-830	3.79 b	15 COL-58	10.00 b
6 OAX-834	9.18 cd	13 COL-45	3.65 b	12 COL-36	10.00 b
8 COL-29	9.15 cd	2 OAX-826	5.55 b	6 OAX-834	10.00 b
11 COL-34	9.09 d	1 OAX-823	3.53 b	1 OAX-823	9.50 b
CV %	13.29		10.2		16.73
Media	10.47		3.95		10.87
DMSH	2.52		0.73		3.29

2.3.4. Características de grano

El análisis estadístico combinado reportó significancia para largo de grano en año, no siendo así en variedades y en la interacción año x variedad. Para ancho de grano hubo significancia en las tres fuentes de variación (Cuadro 2.2). La separación de medias (Tukey 0.05) para estas dos características de grano, demostró uniformidad estadística; por lo que puede mencionarse

(Cuadro 2.3) que en largo de grano los valores fueron de 9.38 mm (2008) a 11.22 mm (2004), y en ancho de grano fue de 8.56 (2008) a 10.02 mm (2004).

2.4. CONCLUSIONES

1. En la región del Istmo Oaxaqueño existe una amplia variación genética entre y dentro de poblaciones de la raza de maíz Zapalote chico.
2. El rendimiento de grano para las variedades y años de evaluación fluctuó entre 1.73 a 2.97 t ha⁻¹.
3. El rendimiento de grano fue mejor expresado en los años 2004 y 2008. Durante cuatro años de evaluación; las variedades con rendimientos medios más altos fueron COL-36 y la OAX-838.
4. Las variedades OAX-838, COL-31, COL-32 y COL-51 presentaron mayor estabilidad en rendimiento de grano durante cuatro años de prueba.
5. La floración masculina presentó una variación de 45.5 a 51.5 días después de la siembra, mientras que en la floración femenina el rango fue de 47.75 a 53.5 días después de la siembra. La altura de planta fluctuó de 110.38 a 150.13 cm, en tanto la altura de posición de la mazorca fue de 58.75 a 79.63 cm.
6. Las variaciones detectadas están asociadas con la capacidad de tolerar la resequedad del ambiente y la disponibilidad de humedad.
7. El maíz Zapalote chico, cuyo ambiente de producción es la región Istmeña de Oaxaca; ha sido y sigue siendo el más apropiado, por su adaptación y sus características de producción y consumo.

2.5. LITERATURA CITADA

- Antuna, G. O.; Rodríguez, S. A.; Arámbula, V. G.; Palomo, G. A.; Gutiérrez, A. E.; Espinoza, B. A.; Navarro, O. E. F. y Andrio, E. E. 2008. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 3: 23-27.
- Bellon, R. M. and Berthaud, J. 2006. Traditional Mexican agricultural systems and the potential impacts of transgenic varieties on maize diversity. *Agriculture and Human Values* 23: 3-14
- Coutiño, E. B.; Vázquez, C. G.; Torres, M. B. y Salinas, M. Y. 2008. Calidad de grano, tortillas y botanas de dos variedades de maíz de la raza comiteco. *Revista Fitotecnia Mexicana* 3: 9-14
- García E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3ª. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México D.F. México. 252 p
- Hernández, C. J. M.; Esquivel, E. G. 2004. Rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27 Núm. Esp. 1: 27-31.
- Hortelano, S. R. R.; Muñoz, G. A.; Santacruz, V. A.; Miranda, C. S. y Córdova, T. L. 2008. Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. *Agricultura Técnica en México*. Vol 34 No. 2: 189-200
- INEGI. 2002. Anuario estadístico del Estado de Oaxaca. Vol. I. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática. Aguascalientes, México. 935 pp.
- López, R. G.; Santacruz, V. A.; Muñoz, O. A.; Castillo, G. F.; Córdova, T. L. y Vaquera, H. H. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 5: 284-290
- Márquez, S. F. 2008. De las variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) a los híbridos transgénicos. I: recolección de germoplasma y variedades mejoradas. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 2: 151-166.
- Martín, L. J. G.; Ron, P. J.; Sánchez, G. J. J.; De la Cruz, L. L.; Morales, R. M. M.; Carrera, V. J. A.; Ortega, C. A.; Vidal, M. V. A. y Guerrero, H. M. J. 2008. Caracterización agronómica y morfológica de maíces nativos del noroccidente de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 331-340.
- Nájera, C. L. A.; Rincón, S. F.; Ruiz, T. N.A.; Castillo, G. F.; Castillo, G. F. 2010. Potencial de rendimiento de poblaciones criollas de maíz de Coahuila, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 4: 31-36.
- Rangel, M. E.; Muñoz, O. A.; Vázquez, C. G.; Cuevas, S. M. J. y Miranda, C. S. 2004. Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Acatlán, Puebla, México. *Agrociencia* 38: 53-61.
- Reyes C.P. 1990. Diseño de experimentos aplicados. Editorial. Trillas 3ª. Ed. 348 p

- Taba, S.; Díaz, J.; Aragón, C. F.; Rincón, S. F.; Hernández, C. J. M. y Krakowsky, M. 2006. Evaluation of Zapalote Chico accessions for conservation and enhancement. *Maydica* 51: 209-218.
- Vásquez, C. M.G.; Guzmán, B. L.; Andrés, G. J. L.; Márquez, S. F. y Castillo, M. J. 2003. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 3: 231-238.
- Vázquez, C. M. G.; Pérez, C. J. P.; Hernández, C. J. M.; Marrufo, D. M. L. y Martínez, R. E. 2010. Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del Altiplano y valle del Mezquital, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*: 4(31): 49-56.
- Wellhausen, E.J.; Roberts. L.M.; Hernández, X.E. y Mangelsdorf, P.C. (1951) Razas de maíz en México. Folleto Técnico 5. Oficina de Estudios Especiales. S.A.G., México. 239 pp.

III. CARACTERIZACIÓN DE POBLACIONES SOBRESALIENTES DE MAÍZ DE LA RAZA ZAPALOTE CHICO

RESUMEN

Oaxaca posee una alta variación genética en el cultivo del maíz. En la región del Istmo de Tehuantepec, predomina un común interés entre los agricultores locales e investigadores en preservar, fomentar y difundir el uso de la variedad nativa conocida como Zapalote chico. Se realizó la caracterización morfológica de 18 maíces criollos sobresalientes de esta raza, para determinar el grado de variabilidad existente. Se registraron variables vegetativas, de espiga y de mazorcas. En trece variables hubo diferencia estadística significativa y en dos la diferencia fue significativa. En el análisis de componentes principales se eligieron tres componentes que explicaron el 59.06 % de la varianza acumulada; las características con mayor valor descriptivo de la variabilidad fenotípica entre las poblaciones evaluadas fueron: relación entre la altura de la mazorca superior y altura de planta, altura de planta, altura de mazorca, número de hileras de la mazorca, diámetro de mazorca, longitud de espiga y longitud del eje central de la espiga. Las variedades que más contribuyeron son: ZAP-MOR, OAX-827, OAX-832 y COL-51. La similitud fue más evidente en las poblaciones de mayor y menor altitud, ya que los de altura intermedia se apartaron notablemente.

Palabras clave: variación genética, raza de maíz Zapalote chico, variabilidad morfológica, similitud.

3.1. INTRODUCCIÓN

La superficie cosechada de maíz durante el año 2011 en el estado de Oaxaca, fue de 568,951.12 ha, con un rendimiento de 694,553.65 t y un rendimiento promedio de 1.22 t ha⁻¹. En ese mismo año, en la región del Istmo de Tehuantepec, se lograron cosechar 81,453 ha, con una producción de 101,640.87 t y un rendimiento promedio de 1.25 t ha⁻¹ (SIAP, 2011). Esta zona reproduce la tendencia que existe a nivel estatal, en donde el cultivo se practica principalmente bajo condiciones de temporal y con el uso de semilla criolla.

Oaxaca posee una alta variación genética en el cultivo del maíz, debido a su situación geográfica, abundante variación climática, topografía variada, diferentes tipos de suelos, facilidad de entrecruzamiento en esta especie, y principalmente por el gran número de grupos étnicos que han formado diferentes variedades criollas mediante selección a través de miles de años (Aragón *et al.*, 2006).

En la actualidad predomina en la región un común interés entre los agricultores locales e investigadores en preservar, fomentar y difundir el uso de las variedades nativas de Zapalote chico, que a lo largo de su historia han sido cultivadas y aprovechadas en las comunidades de la región Istmeña de Oaxaca.

No obstante los cambios en las formas de consumo (comida rápida) que en estos días experimentan los habitantes de la zona, en los últimos años se han agudizado la sensibilidad de preferencia de sectores de la población urbana y rural por productos alimenticios preparados en forma autóctona o tradicional con maíces nativos. Tal es el caso de las tortillas y los “totopos” que se elaboran de Zapalote chico, que se distingue por su mejor calidad comparado con la harina de maíz híbrido nixtamalizado.

Investigaciones realizadas en la región del Istmo de Tehuantepec y concentrados por Wellhausen *et al.* (1951), Muñoz (2006), (López *et al.* (2005) y Taba *et al.* (2006) han evidenciado la existencia de una considerable variabilidad en los caracteres agronómicos, entre las poblaciones nativas de esta raza en estudio.

Debido a la importancia de este grano básico en la región y en el estado, así como por las evidencias de la diversidad genética existente y los escasos estudios particulares en la caracterización racial; se llevó la presente investigación, cuyo objetivo fue determinar el grado de variabilidad morfológica que existe en el maíz nativo de la raza Zapalote chico del Istmo de Tehuantepec.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Germoplasma. El material biológico consistió de los mejores 18 criollos de maíz identificados en la raza Zapalote chico, perteneciente a la región del Istmo de Tehuantepec, estado de Oaxaca, distinguida como el área geográfica de distribución de dicha raza.

Estos materiales se derivaron de una colección regional realizada en el año de 1997. La depuración de las accesiones se realizó considerando aspectos de identificación de la raza de interés, así como valores agronómicos y de preferencia de productores. En el Cuadro 3.1 se señalan los lugares de colecta y denominación de los materiales en estudio. Durante el ciclo agrícola PV/2012, en los terrenos del Instituto Tecnológico de Comitancillo, se estableció un ensayo experimental para el incremento y caracterización de 18 poblaciones sobresalientes.

3.2.2. Manejo agronómico. Se usaron parcelas de 19 surcos de 7.5 m de largo y separados a 0.55 m, con un arreglo de 2 semillas por mata, cuya distancia fue de 0.5 m, con una densidad de población aproximada de 72 700 plantas por hectárea. La siembra se realizó el 13 de julio de

2012. Se usó la dosis de fertilización 92-46-00 (200 kg de urea y 100 kg de superfosfato de calcio triple); aplicando en la siembra la mitad del nitrógeno y todo el fósforo; el resto del nitrógeno se suministró en el aporque. En cada parcela/variedad, se marcaron al azar 20 plantas para el registro de las variables vegetativas y de espiga. Las características de mazorca se determinaron una vez realizada la cosecha, seleccionando 20 mazorcas de cada variedad (Cuadro 3.2).

3.2.3. Variables. Las variables de estudio se relacionan en el Cuadro 3.2. La metodología para el registro de las variables evaluadas se basó en el manual gráfico para la descripción varietal de maíz (Carballo y Ramírez, 2010).

Cuadro 3.1 Sitios de colecta y denominación de 18 maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.

	Variedad	Comunidad	Nombre local	Color	Altitud(msnm)
1	OAX-823	San Pedro Comitancillo	Hoja morada	Blanco	76
2	OAX-826	San Pedro Comitancillo	Zapalote chico	Blanco	72
3	OAX-827	San Pedro Comitancillo	Zapalote	Blanco	70
4	OAX-830	Sto. Dgo Chihuitán	Zapalote blanco	Blanco	96
5	OAX-832	Sto. Dgo Chihuitán	Cuarentena	Blanco	99
6	OAX-834	Stgo. Laollaga	Zapalote	Blanco	127
7	OAX-838	Stgo. Laollaga	Zapalote	Blanco	130
8	COL-29	Sn Fco. Ixhuatán	Zapalote	Blanco	16
9	COL-31	Montecillo Sta. Cruz	Zapalote	Blanco	15
10	COL-32	Montecillo Sta. Cruz	Zap. enredado	Blanco	10
11	COL-34	Unión Hidalgo	Zapalote morado	Blanco	15
12	COL-36	Unión Hidalgo	Zapalote chico	Blanco	17
13	COL-45	Sta. Ma. Xadani	Maíz chiquito	Blanco	10
14	COL-51	Álvaro Obregón	Olote colorado	Blanco	25
15	COL-58	San Blas Atempa	Maíz chico	Blanco	35
16	COL-62	El Morro Mazatán	Criollo	Blanco	19
17	COL-64	El Morro Mazatán	Chiquito morado	Blanco	5
18	ZAP MOR	San Pedro Comitancillo	Zapalote morado	Blanco	70

3.2.4. Análisis estadísticos. Con los datos de las 16 variables cuantitativas de los 18 materiales se realizó el análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar empleando el programa Statistical Analysis utilizando las medias estandarizadas de los 16 caracteres cuantitativos. Para

conocer la interrelación de los materiales se hizo un análisis de agrupamiento al utilizar como medida de similitud la matriz de covarianza. System (SAS) versión 9.0 para Windows (SAS Institute, 2002). Los promedios por población de estas variables fueron estandarizados; con esta información se procedió a practicar el análisis de componentes principales. Además, se efectuó un análisis de conglomerados con el paquete estadístico Minitab 16,

Cuadro 3.2 Variables registradas en los 18 criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico. San Pedro Comitancillo. Oax. PV/2012.

Tipo de Variable	Denominación	Abreviatura	Unidad de medida	Tamaño de Muestra
Variables cuantitativas				
Vegetativa	Días a floración masculina	DFM	días	20 plantas
	Días a floración femenina	DFF	días	20 plantas
	Altura de planta	ALP	cm	20 plantas
	Altura de mazorca	ALM	cm	20 plantas
	Relación entre ALM superior y ALP	RAM/P	adimensional	20 plantas
	Ancho de lamina	ANL	cm	20 plantas
	Longitud de pedúnculo	LOP	cm	20 plantas
Espiga	Longitud de la espiga	LOE	cm	20 plantas
	Longitud del eje central de la espiga	LEEP	cm	20 plantas
	Numero de ramas laterales primarias de la espiga	NRELP	número	20 plantas
	Ramas secundarias de la espiga	RES	número	20 plantas
	Longitud de ramas laterales de la espiga	LERL	cm	20 plantas
	Mazorca	Largo de mazorca	LAM	cm
Diámetro de mazorca		DIA	cm	20 mazorcas
Numero de hileras de grano		NHG	número	20 mazorcas
Numero de granos por hilera		NGH	número	20 mazorcas
Variables cualitativas*				
	Forma de mazorca	FMA		20 mazorcas
	Arreglo de hileras	AHI		20 mazorcas
	Tipo de grano	TGR		20 mazorcas
	Forma de la corona de grano	FCG		20 mazorcas
	Color de grano	CGR		20 mazorcas
	Color dorsal del grano	CDG		20 mazorcas
	Color del endospermo del grano	CEG		20 mazorcas
	Coloración por antocianina en las glumas	CAG		20 mazorcas
	Intensidad de coloración por antocianina en las glumas	ICAG		20 mazorcas

*A las 9 variables cualitativas únicamente se les practicó el porcentaje de homogeneidad.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza indicó que entre los 18 criollos sobresalientes, hubo diferencias altamente significativas en 13 variables y significativas en dos: longitud del eje central de la espiga y ramas secundarias de la espiga. En la variable longitud de pedúnculo no hubo variación estadísticamente significativa (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3 Estadísticos de 16 variables cuantitativas, evaluadas en 18 criollos sobresalientes de maíz de la raza Zapalote chico. San Pedro Comitancillo, Oax. PV/2012.

Variable	Cuadrados medios		Media	CV (%)
	Variedades	Error		
Días a floración masculina	17.88**	3.46	47.43	3.92
Longitud del pedúnculo	22.77 ns	23.55	9.41	51.55
Longitud de espiga	59.16**	17.78	33.15	12.72
Longitud del eje central de la espiga	22.29*	13.15	23.59	15.37
Numero de ramas laterales primarias de la espiga	38.30**	11.39	10.9	30.97
Ramas secundarias de la espiga	2.71*	1.51	1.84	66.84
Días a floración femenina	17.19**	4.99	49.18	4.54
Longitud de ramas laterales de la espiga	64.53**	15.02	20.28	19.11
Altura de planta	1414.25**	389.93	196.97	10.03
Altura de la mazorca	1240.47**	197.41	79.64	17.64
Relación entre ALM superior y ALP	0.022**	0.004	0.4	15.36
Ancho de lamina	2.67**	0.914	6.42	14.89
Largo de mazorca	25.97**	1.62	11.32	11.25
Diámetro de mazorca	0.518**	0.079	3.99	7.05
Numero de hileras de grano	43.61**	2.12	11.15	13.06
Numero de granos por hilera	54.68**	11.7	25.61	13.36

* = significancia al 5 %; ** = significancia al 1 %; ns = no significativo; CV = coeficiente de variación.

Las diferencias estadísticas en las variables cuantitativas, entre los maíces nativos evaluados, demuestran la evidencia de la diversidad genética que predomina en la raza Zapalote chico, así también del grado de variación de los caracteres agronómicos determinados en esta evaluación. Esta variación se atribuye a las prácticas de selección que el productor ha hecho para tipo de grano, forma y tamaño de mazorca, numero de hileras, grosor de olote y precocidad, entre otros

criterios. Los datos de las variables estudiadas concuerdan con los estudios realizados por López (2005), Muñoz (2006) y Taba *et al* (2006), quienes describen que en la región del Istmo de Tehuantepec, Oax., se presenta variación entre razas y dentro de las poblaciones de la raza Zapalote chico en varias características.

3.3.1. Características agronómicas. En forma específica, la variación de los caracteres agronómicos evaluados (vegetativo, espiga y mazorca) de los 18 criollos sobresalientes se muestra en el Cuadro 3.4. En las variables vegetativas resaltan los caracteres de floración. La variedad OAX-834 registró la menor precocidad en floración masculina con 45.65 días después de la siembra; presentó el mejor coeficiente en la relación de la altura de la mazorca superior y altura de planta (0.48), tuvo el mejor ancho de lámina con 7.03 cm, sin embargo, en el número de hilera de grano fue de los que arrojaron valores bajos.

La variedad ZAP-MOR fue superior al presentar las cifras más altas en floración masculina y floración femenina con 49.5 y 51.15 días, respectivamente; en altura de mazorca fue la de mayor valor (95.25 cm). Este último aspecto constituye una desventaja para la región de interés, que se caracteriza por los fuertes vientos durante los meses de octubre a marzo, y cuando la mazorca se inserta a una mayor altura en la planta constituye un factor de riesgo para el acame.

En las características de espiga, sobresale la variedad OAX-827, cuyos valores en longitud de espiga y longitud de ramas laterales de la espiga fueron las más altas con 36 y 23.85 cm, respectivamente. Estas características pueden ser ventajosas, al tener una mayor amplitud para la producción de polen.

Las mejores características de mazorca se vieron en la variedad OAX-838 al presentar 13.3 cm en longitud, siendo además uno de los materiales con menor precocidad en floración femenina

(47.7 días). La variedad ZAP-MOR presentó los mejores valores en diámetro de mazorca (4.37 cm) y número de hileras de grano (16.45 hileras), y en longitud de mazorca presentó el menor valor (9.37 cm); estos caracteres ubican a esta variedad, por sus características de mazorcas, como semejantes a los de la raza Pepitilla. El número de hileras de grano que presentó el ZAP-MOR fue superior a lo encontrado por Martin *et al* (2008) en colectas de la raza Pepitilla. ZAP-MOR es un genotipo que en la región del Istmo de Tehuantepec, está teniendo aceptación por los productores, ya que produce gran volumen de granos; y por su abundante número de hileras de granos. Además, la coloración del tallo, espiga, totomoxtle y el olote se presenta en diferentes intensidades de color morado (Cuadro 3.5); lo cual obedece a los diferentes tipos de infiltración germoplásmica y a la selección de los productores.

Lo anterior, confirma que el cultivo de maíz es un sistema continuo y dinámico, su polinización es abierta y los agricultores nativos en forma constante realizan un movimiento o flujo de semilla que mantienen, intercambian y experimentan. La frecuencia de recombinación genética es tan dinámica que son posibles muchísimas combinaciones, lo que permite a los campesinos contar con nuevas características y bondades de este cultivo por medio de la selección de semillas (Marielle *et al.*, 2013).

3.3.2. Análisis de componentes principales. Para una mejor interpretación de la información obtenida, se hace necesario reducir la dimensionalidad de los datos, para lo cual se utilizó la técnica de análisis multivariado de componentes principales (ACP), aplicado a los promedios por material para las 16 variables en estudio. Este análisis es muy útil para discriminar variables, así como seleccionar los genotipos con mejores atributos, considerando el conjunto de variables en su totalidad (Johnson y Wichern, 1992).

Cuadro 3.4 Separación de medias de variables cuantitativas en 18 criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico. San Pedro Comitancillo, Oax.PV/2012.

Variedad	Vegetativas						Espiga						Mazorca			
	DDM	DFE	ALP	ALM	RAM/P	ANL	LOP	LOE	LEEP	NRELP	RES	LERL	LAM	DIA	NHG	NGH
OAX-823	46.45 cd	47.90 c	199.50 abc	80.50 abcde	0.41 abcd	6.95 a	9.90 a	32.40 abcd	22.45 a	11.25 abc	1.25 a	19.35 bc	9.82 fgh	3.74 d	9.90 d	25.35 abcde
OAX-826	47.40 bcd	40.80 abc	192.00 bc	66.50 ef	0.35 d	6.59 abc	8.50 a	34.70 abc	25.90 a	9.50 bc	1.10 a	21.95 ab	12.18 abcd	3.84 cd	10.30 d	25.50 abcde
OAX-827	48.70 ab	50.45 ab	191.25 bc	70.75 def	0.37 cd	6.62 abc	9.08 a	36.00 a	24.90 a	10.55 abc	2.10 a	23.85 a	12.76 ab	4.24 ab	11.30 bcd	26.96 abcd
OAX-830	46.70 bcd	47.95 c	201.75 abc	80.00 abcde	0.39 cd	6.28 abc	9.75 a	33.10 abcd	23.38 a	12.35 ab	1.40 a	19.88 abc	12.00 abcd	4.07 abc	11.5 bcd	28.50 a
OAX-832	47.70 abcd	49.25 abc	214.25 a	92.50 ab	0.43 abc	6.81 ab	10.43 a	35.35 ab	24.05 a	11.15 abc	2.40 a	21.35 ab	10.36 efgh	3.91 cd	10.00 d	24.55 bcde
OAX-834	45.65 d	48.50 bc	191.00 bc	89.00 abc	0.48 a	7.03 a	9.03 a	33.30 abcd	23.75 a	11.30 abc	2.05 a	20.35 abc	10.97 cdefg	3.94 bcd	10.20 d	26.45 abcde
OAX-838	46.20 cd	47.70 c	199.75 abc	79.25 bcdef	0.39 cd	6.26 abc	10.43 a	34.00 abcd	24.05 a	12.20 ab	2.20 a	22.20 ab	13.30 a	4.13 abc	11.40 bcd	28.20 ab
COL-29	48.20 abc	49.85 abc	202.5 abc	84.00 abcd	0.41 abcd	6.56 abc	7.73 a	35.55 ab	24.05 a	12.15 ab	1.60 a	21.05 ab	10.82 defg	4.13 abc	10.60 bcd	26.70 abcde
COL-31	46.70 bcd	48.35 bc	186.75 c	76.25 cdef	0.41 abcd	5.71 c	11.10 a	31.20 bcd	22.35 a	11.50 abc	1.90 a	19.95 bc	9.68 gh	3.84 cd	10.80 bcd	24.55 bcde
COL-32	47.35 bcd	49.20 abc	191.25 bc	81.50 abcde	0.42 abc	6.47 abc	7.77 a	32.95 abcd	24.25 a	13.50 a	2.20 a	19.95 bc	10.05 fgh	3.96 bcd	10.50 cd	23.00 d
COL-34	46.75 bcd	48.60 bc	192.75 abc	75.25 cdef	0.39 cd	6.40 abc	8.80 a	33.40 abcd	23.30 a	10.70 abc	2.25 a	20.60 ab	10.91 cdefg	3.90 cd	10.40 cd	26.35 abcde
COL-36	47.00 bcd	48.95 abc	192.50 abc	78.50 bcdef	0.41 abcd	6.25 abc	10.53 a	32.90 abcd	23.00 a	9.45 bc	1.50 a	20.55 ab	12.24 abc	3.91 cd	10.50 cd	25.25 abcde
COL-45	47.75 abc	49.50 abc	187.00 c	79.00 bcdef	0.42 abc	6.56 abc	8.55 a	30.55 cd	22.65 a	10.00 abc	2.00 a	19.55 abc	11.72 bcde	4.14 abc	12.20 b	27.20 abc
COL-51	48.00 abc	49.80 abc	204.00 abc	78.25 bcdef	0.38 cd	6.39 abc	9.85 a	33.63 abcd	25.13 a	9.70 bc	1.80 a	21.95 ab	12.00 abcd	3.96 bcd	11.30 bcd	24.95 abcde
COL-58	48.15 abc	50 abc	209.5 ab	83.00 abcd	0.40 bcd	5.80 bc	9.78 a	33.30 abcd	23.90 a	9.00 bc	2.00 a	21.25 ab	12.31 abc	3.89 cd	10.40 cd	26.90 abcd
COL-62	47.45 abcd	49.35 abc	203.75 abc	79.75 abcdef	0.39 cd	6.16 abc	9.33 a	30.90 bcd	22.95 a	8.30 c	1.50 a	20.08 abc	12.07 abcd	4.03 bcd	12.00 bc	23.20 ed
COL-64	48.00 abc	49.85 abc	184.25 c	64.25 f	0.35 d	6.00 abc	7.90 a	33.65 abcd	22.70 a	10.95 abc	1.95 a	19.40 bc	11.21 cdef	3.84 cd	11.00 bcd	24.00 cde
ZAP																
MOR	49.50 a	51.15 a	204.75 abc	95.25 a	0.46 ab	6.80 ab	10.99 a	29.75 d	21.88 a	12.60 ab	1.90 a	16.08 c	9.37 h	4.37 a	16.45 a	23.40 cde
CV (%)	3.92	4.54	10.03	17.64	15.36	14.89	51.55	12.72	15.37	30.97	66.84	19.11	11.25	7.05	13.06	13.36
Media	47.43	49.18	196.97	79.64	0.40	6.42	9.41	33.15	23.59	10.9	1.84	20.28	11.32	3.99	11.15	25.61
DMSH	2.07	2.48	21.95	15.62	0.069	1.06	7.4	4.69	4.032	3.75	1.37	4.31	1.42	0.31	1.62	3.8

DFM = días a floración masculina; DFE = días a floración femenina; ALP = altura de planta; ALM = altura de mazorca; RAM/P = relación entre altura de la mazorca superior /altura de planta; ANL = ancho de la lámina; LOP = longitud de pedúnculo; LOE = longitud de la espiga; LEEP = longitud del eje central de la espiga; NRELP = número de ramas laterales primarias de la espiga; RES = ramas secundarias de la espiga; LERL = longitud de ramas laterales de la espiga; LAM = largo de mazorca; DIA = diámetro de mazorca; NHG = número de hileras de grano; NGH = número de granos por hilera.

Cuadro 3.5 Porcentaje de homogeneidad de variables cualitativas de 18 criollos sobresalientes de la Raza Zapalote chico.

Variedad	FM	AH	TG	FCG	CG	CDG	CEG	CAGO	ICAGO
OAX-823	Cilíndrica: 100	Recta: 100	Intermedio: 100	Hendida: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 50 Presente: 50	Ausente: 100
OAX-826	Cilíndrica: 80 Cónica cilíndrica: 20	Recta: 100	Intermedio: 100	Hendida: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 95 Presente: 5	Ausente: 100
OAX-827	Cilíndrica: 85 Cónica cilíndrica: 15	Recta: 100	Intermedio: 100	Hendida: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 85 Presente: 15	Ausente: 100
OAX-830	Cilíndrica: 90. Cónica cilíndrica: 10	Recta: 100	Intermedio: 100	Hendida: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 100	Ausente: 100
OAX-832	Cilíndrica: 90 Cónica cilíndrica: 10	Recta: 100	Intermedio: 100	Hendida: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 90 Presente: 10	Ausente: 90 Media: 10
OAX-834	Cilíndrica: 100	Recta: 100	Intermedio: 100	Hendida: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 100	Ausente: 100
OAX-838	Cilíndrica: 75 Cónica cilíndrica: 25	Recta: 100	Intermedio: 100	Hendida: 95 Convexa: 5	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 95	Ausente: 100
COL-29	Cilíndrica: 90 Cónica cilíndrica: 10	Recta: 100	Intermedio: 100	Hendida: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 85 Presente: 15	Ausente: 85 Débil: 10 Media: 5
COL-31	Cilíndrica: 90 Cónica cilíndrica: 10	Recta: 100	Intermedio: 100	Hendida: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 95	Ausente: 10
COL-32	Cilíndrica 100	Recta: 100	Intermedio: 100	Hendida: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 60 Presente: 40	Ausente: 70 Media: 30
COL-34	Cilíndrica: 90 Cónica cilíndrica: 10	Recta: 100	Intermedio: 100	Hendida: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 65 Presente: 35	Ausente: 100
COL-36	Cilíndrica: 90 Cónica cilíndrica: 10	Recta: 100	Intermedio: 100	Hendida: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 100	Ausente: 100
COL-45	Cilíndrica: 95 Cónica cilíndrica: 5	Recta: 100	Intermedio: 95	Hendida: 95 Convexa: 5	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 85 Presente: 15	Ausente: 100
COL-51	Cilíndrica: 100	Recta: 100	Intermedio: 95	Hendida: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 100	Ausente: 100
COL-58	Cilíndrica: 90 Cónica cilíndrica: 10	Recta: 100	Intermedio: 100	Hendida: 90 Convexa: 10	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 90 Presente: 10	Ausente: 100
COL-62	Cónica cilíndrica: 15 Cilíndrica: 85	Recta: 100	Intermedio: 100	Hendida: 90 Convexa: 10	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 90 Presente: 10	Ausente: 100
COL-64	Cilíndrica: 100	Recta: 100	Intermedio: 100	Hendida: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 80 Presente: 20	Ausente: 100
ZAP-MOR	Cilíndrica 85	Recta: 85	Intermedio:	Hendida: 100	Blanco cremoso:	Blanco cremoso: 100	Blanco: 100	Ausente: 15	Ausente: 85

FM = forma de mazorca; AH = arreglo de hileras; TG = tipo de grano; FCG = forma de la corona del grano; CG = color del grano; CDG = color dorsal del grano; – CEG = color del endospermo del grano; CAGO = coloración por antocianina en las glumas del olote; ICAGO = intensidad de coloración por antocianina en las glumas del olote.

Los valores de la varianza que explican cada componente, como porcentaje de la varianza total, se presentan en el Cuadro 3.6. Se analizaron 16 variables cuantitativas que arrojaron igual número de componentes principales, de los cuales se eligieron tres para el análisis, con autovalores de 4.96, 2.40 y 2.07 y varianza explicada de 31.06, 15.02 y 12.98 en forma respectiva, resultando un total de 59.06 % de varianza explicada por considerarlo suficiente para explicar el propósito del estudio.

Cuadro 3.6 Análisis de componentes principales entre variables en 18 criollos sobresalientes de maíz de la raza Zapalote chico. San Pedro Comitancillo, Oax., PV/2012.

Componente	Autovalor	Varianza total (%)	Autovalor acumulado	Acumulado (%)
1	4.9694	31.06	4.9694	31.06
2	2.4038	15.02	7.3732	46.08
3	2.0767	12.98	9.4499	59.06

Las variables más importantes para definir el primer componente principal con base a la posición de los vectores (Cuadro 3.7) fueron: relación entre ALM superior y ALP (RAM/P), altura de mazorca (ALM) y número de hileras de grano (NHG) con valores de 0.3363, 0.3362 y 0.3202, respectivamente; las más importantes con valores negativos fueron: longitud de ramas laterales de la espiga (LERL), longitud del eje central de la espiga (LEEP) y longitud de espiga (LE) con valores de -0.3712, -0.3207 y -0.3047, respectivamente. Las variables más importantes en la definición del segundo componente principal fueron con valores positivos: diámetro de mazorca (DM), altura de planta (ALP), longitud de espiga (LE) y longitud del eje central de la espiga (LEEP) con valores de 0.3943, 0.3453 y 0.3080, respectivamente; Hortelano *et al.* (2008) al estudiar los maíces nativos del Valle de Puebla, señalan que también en el segundo componente entre las variables de mayor valor discriminativo fue el diámetro de mazorca.

Cuadro 3.7 Contribución relativa de cada variable en 3 componentes principales en 18 criollos sobresalientes de maíz de la raza Zapalote chico. San Pedro Comitancillo, Oax., PV/2012.

Variable	Componentes principales		
	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3
DFM	0.1270	0.2209	-0.4617*
LP	0.1764	0.0151	-0.0281
LE	-0.3047	0.3409*	0.1750
LEEP	-0.3207	0.3080*	0.0663
NRELP	0.1837	0.1062	0.2912
RES	0.1023	0.2785	0.0752
DFF	0.2578	0.1993	-0.1749
LERL	-0.3712	0.2891	0.0257
APL	0.1061	0.3453*	0.0204
ALM	0.3363*	0.2651	0.2504
RAMP	0.3364*	0.1060	0.3455
ANL	0.1051	0.2224	0.3610*
LM	-0.2983	0.2139	-0.2789
DM	0.1966	0.3943*	-0.3002
NHG	0.3202	0.0841	-0.3797*
NGH	-0.1732	0.2633	0.0666

*vectores propios con mayor contribución de cada componente principal.

Para el componente 3 fueron los días a floración masculina (DFM) y el número de hilera de grano (NHG), las características de mayor contribución con signo negativo -0.4617 y -0.3797, respectivamente y con signo positivo el ancho de lámina (ANL), con valor de 0.3610; por lo que este componente debe llamarse “componente de disminución de área foliar” condicionado por la precocidad que identifica a los materiales genéticos de la raza en cuestión. No obstante de presentar valores negativos, entre estas variables existe una correlación positiva. Al respecto existe coincidencia con lo encontrado por Martin *et al.*, (2008), cuando caracterizaron los maíces nativos del Noroccidente, en donde la variable días a floración masculina fue de las más importantes para el segundo componente (-0.6370).

En la contribución relativa de cada variedad para los componentes principales en estudio, sobresalen 4 variedades: ZAP-MOR, OAX-827, OAX-832 y COL-51 (Cuadro 3.8). Al ubicar los materiales en un plano determinado por los primeros componentes principales (Figura 3.1) y tomando en cuenta la matriz de sus correlaciones, los cuatro materiales procedentes de la población de San Pedro Comitancillo, Oax (OAX-823, OAX-826, OAX-827 y ZAP-MOR) se encuentran representados en los cuatro cuadrantes, dos que se separan hacia los extremos de la figura (Grupo 3 y 4) y los otros dos incluidos en los agrupamientos centrales (Grupo 1 y 2). Lo anterior puede obedecer a que este sitio se encuentra a una altitud alrededor de los 70 msnm, la cual es una altura intermedia de acuerdo al rango de adaptación de los materiales en estudio (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.8 Contribución de las variedades a los dos componentes principales.

	Variedades	Componente	
		Comp. 1	Comp. 2
1	OAX-823	0.6112	-1.9480
2	OAX-826	-4.4908	-1.1676
3	OAX-827	-2.2451	2.7407
4	OAX-830	-0.2562	0.2285
5	OAX-832	0.8949	2.1306
6	OAX-834	0.7580	0.3624
7	OAX-838	-1.2565	1.7009
8	COL-29	-0.2029	1.7382
9	COL-31	0.9534	-2.758
10	COL-32	0.8000	-0.3388
11	COL-34	-0.7240	-0.5129
12	COL-36	-0.4499	-1.0803
13	COL-45	1.0779	-0.3253
14	COL-51	-1.1123	1.0119
15	COL-58	-0.7842	0.8480
16	COL-62	0.4811	-1.1345
17	COL-64	-1.0672	-2.1888
18	ZAP MOR	7.0126	0.6932

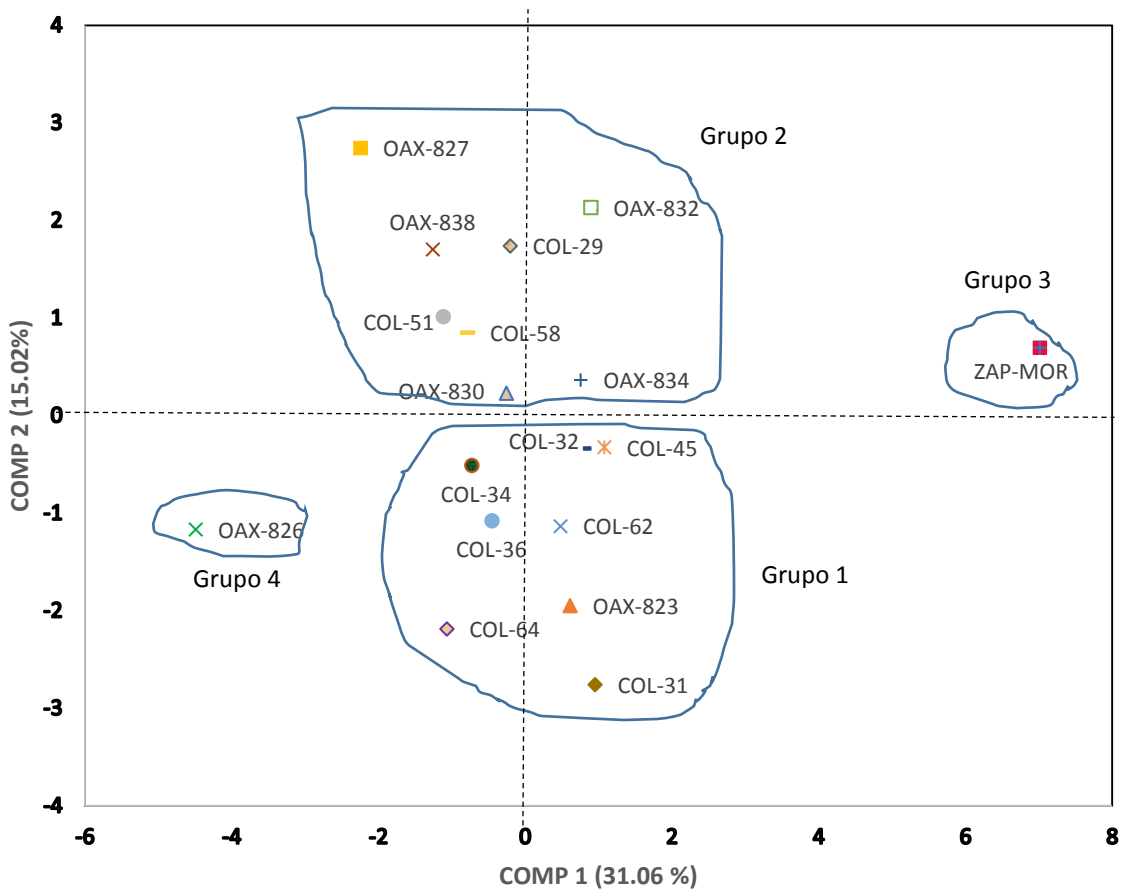


Figura 3.1 Distribución de 18 criollos sobresalientes sobre los dos primeros componentes principales

Los materiales de los Grupos 3 y 4 se destacan en características vegetativas: floración tardía, mayor porte de planta y mazorca, superiores en ancho de lámina; en mazorca presentan diferencias muy marcadas en longitud, diámetro y número de hileras de granos. Con valores menores y signo positivo o negativo en los dos componentes principales (Grupo 1), se ubicaron preferentemente materiales que se colectaron en localidades de baja altitud. Las variedades de este agrupamiento se distinguieron en menor altura de planta, altura de mazorca y ancho de lámina, en las características de mazorca mostraron valores de comportamiento medio a bajo.

Se distingue la integración de otro grupo, donde predominaron las variedades cuya procedencia son de localidades de mayor altura, los cuales presentaron cifras bajas de signo positivo en el componente uno, y en el componente dos, cifras altas positivas (Grupo 2). Los materiales de éste mostraron las siguientes características vegetativas: precocidad en floración, superiores en altura de planta, ancho de lámina, largo de mazorca y número de granos por hilera; en mazorca se identificaron con menor número de hileras de grano.

Adicionalmente a esta agrupación y al tomar en cuenta a los 10 sitios de procedencia de las 18 poblaciones genéticas en estudio (Figura 3.2), presenta cierta semejanza con la distribución que se señala en los componentes principales, por lo que se identificaron los grupos: Zapalote de altura, de planicie e intermedios.

3.3.3. Análisis de agrupamiento. Con la [matriz de covarianza de los dos componentes principales \(Figura 3.3\)](#), las variedades estudiadas se ~~La asignación de las variedades estudiadas con la matriz de covarianza se muestra en la Figura~~ integraron en tres [conjuntos grupos](#), mismos que se identificaron en la Figura 3.4 en el dendrograma de similitud (distancia euclidiana cuadrada). [Con la formación de estos grupos, se promediaron los valores respectivos en base a las 16 variables cuantitativas.](#)

[Las variedades del grupo 1, ubicado en el centro de la Figura 3.3, sobresalieron en longitud de espiga \(33.91 cm\), longitud del eje central de la espiga \(23.71 cm\) y ramas secundarias de la espiga \(1.9\). En el grupo 2 \(más numeroso\) las características superiores fueron: longitud de ramas laterales de la espiga \(20.93\), longitud de mazorca \(11.87 cm\) y número de granos por hilera \(25.96\).](#)



Figura 3.2 Sitios de origen de los materiales genéticos en estudio y asignación de grupos.

- a = Zapalote de altura (OAX-827, OAX-830, OAX-832, OAX-834, OAX-838, COL-29, COL-51 y COL-58)
- b = Zapalote de planicie (OAX-823, COL-31, COL-32, COL-34, COL-36, COL-45, COL-62 y COL-64)
- c = Zapalote intermedio (ZAP-MOR y OAX-826)

El Grupo 3 representado por una sola variedad (18), presentó mayores valores en días a floración masculina (49.5 días), longitud del pedúnculo (10.99 cm), número de ramas laterales primarias de la espiga (12.6), ramas secundarias de la espiga (1.9), días a floración femenina (51.15 días), altura de planta (204.75 cm), altura de mazorca (95.25 cm), relación entre altura de la mazorca superior y altura de planta (0.46), ancho de lámina (6.8), diámetro de mazorca (4.37) y número de hileras de granos (16).

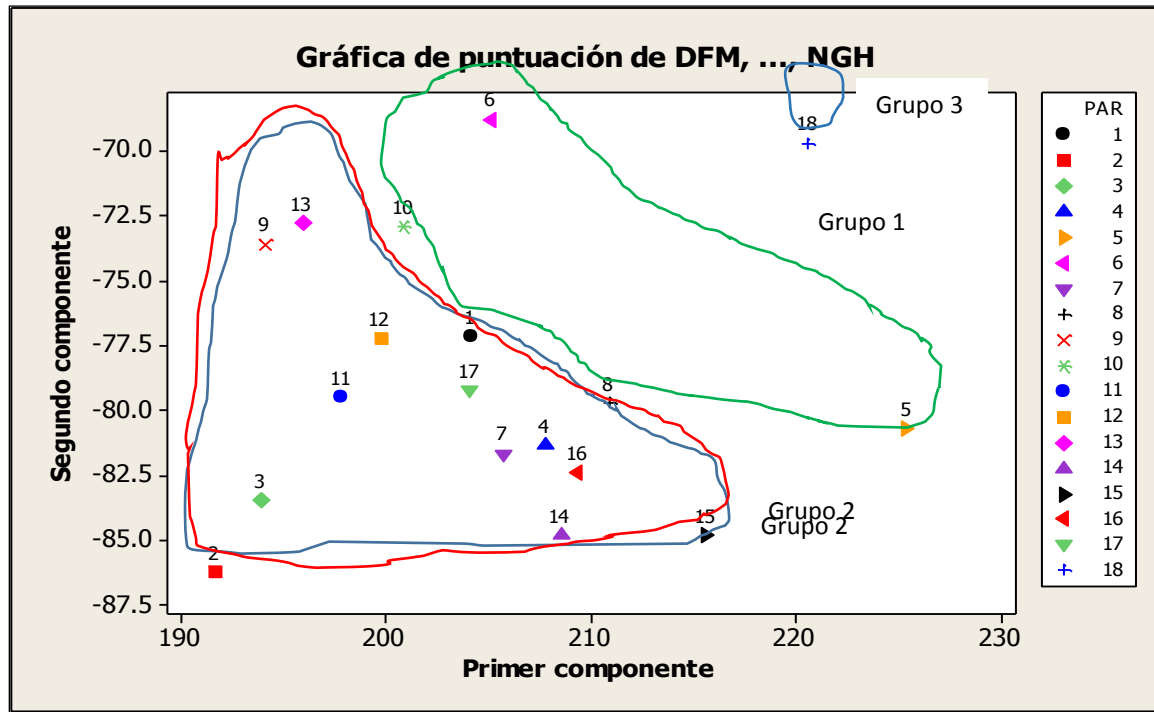


Figura 3.3 Puntuación de las variables de estudio en 18 criollos sobresalientes sobre los dos primeros componentes principales.

Para definir relaciones de similitud más precisa entre los 18 maíces criollos sobresalientes se generó un dendrograma (Figura 3.4) con base a las 16 variables estudiadas. A una distancia de corte de 55.7 se identificaron 3 grupos; uno de tamaño medio (Grupo 1) representado por los

materiales 1, 6, 5, 8 y 10; otro de grande contenido (Grupo 2) que incluyó los materiales 2, 3, 4, 7, 9, 11, 13, 17, 12, 13, 16, 14 y 15; y un grupo muy reducido (Grupo 3) representado únicamente por el material 18.

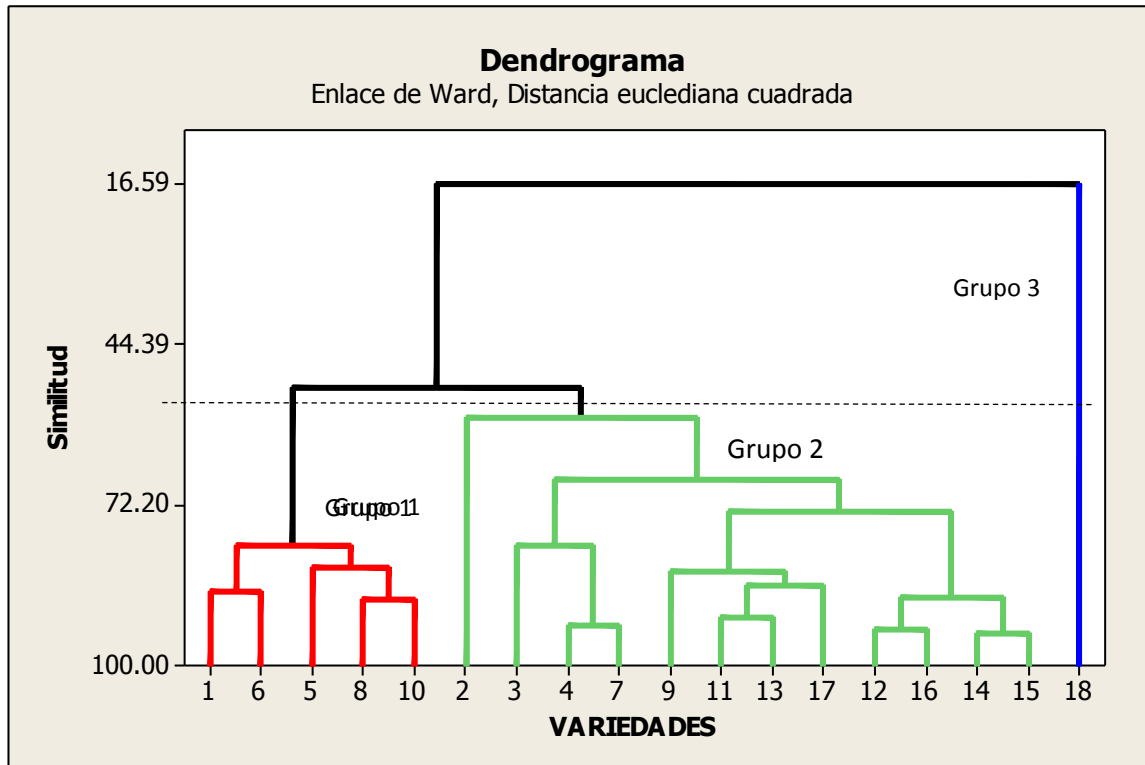


Figura 3.4 Dendrograma de 18 criollos sobresalientes con 16 variables que forman 3 grupos.

3.4. CONCLUSIONES

1. Existe una alta variabilidad en las características agronómicas entre los 18 maíces criollos sobresalientes de la región Istmeña de Oaxaca, observando la presencia de un continuo en el nivel de expresión de características vegetativas, de espiga y de mazorca, lo cual

obedece a la selección practicada por el agricultor, y al movimiento e intercambio de semillas.

2. La similitud fue más evidente en las poblaciones de mayor y menor altitud, ya que los de altura intermedia se apartaron notablemente.
3. De acuerdo a los componentes principales, las características con mayor valor descriptivo de la variabilidad fenotípica entre las poblaciones evaluadas fueron: relación entre la altura de mazorca superior y altura de planta, altura de planta, altura de mazorca y número de hileras de grano, diámetro de mazorca, longitud de espiga y longitud del eje central de la espiga.

3.5. LITERATURA CITADA

- Aragón, C. F., Taba S., Hernández C. J.M., Figueroa C. J de D. y Serrano A. V. 2006. Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CS002 México D. F.
- Carballo, C.A. y Ramírez M.E. 2010. Descripción gráfico para la descripción varietal en maíz (*Zea mays* L.). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. CP-SNICS. 2ª. Edición. Texcoco Mex.
- Hortelano, S. R. R.; Muñoz, G. A.; Santacruz, V. A.; Miranda, C. S. y Córdova, T L. 2008. Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. Agricultura Técnica en México. Vol 34 No. 2: 189-200.
- Johnson R A, and D W Wichern. 1992. Applied Multivariate Statistical Analysis. Third edition. Prentice-Hall, Inc., New Jersey. 642 p.
- López, R. G.; Santacruz, V. A.; Muñoz, O. A.; Castillo, G. F.; Córdova, T. L. y Vaquera, H. H. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del istmo de Tehuantepec, México. Interciencia 5: 284-290.
- López, R.G. 2005. Caracterización de la diversidad del maíz del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. Mex. 266 p.
- Marielle, C.; Turrent F.A.; Díaz L.; Astier M.; Barrera B.N.; Ávila B.C.H. y Dolores F.A.C. 2013. Alternativas tecnológicas no transgénicas para el mejoramiento y la producción sustentable de maíz en México. In: El maíz en peligro ante los transgénicos. Un análisis integral sobre el caso. Colección debate y reflexión. México. 567 p.
- Martin, L.J.G.; Sánchez G.J.J.; De la Cruz L.L.; Morales R.M.M.; Carrera V.J.A.; Ortega C.A.; Vidal M.V.A. y Guerrero H. M.J. 2008. Caracterización agronómica y morfológica de maíces nativos del Noroccidente de México. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol 31 (4): 331-340.
- Muñoz, O.A. 2006. Centli-Maíz. Prehistoria e historia, diversidad, potencial, origen genético y geográfico, glosario centli-maíz. Colegio de Postgraduados-SINAREFI. Montecillo, Estado de México. p. 143
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2010. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2010. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en:http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350 (mayo/2014).
- Statistical Analysis System Institute. 2002. The SAS System for Windows (Ver 9.0) SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Taba, S.; Díaz, J.; Aragón, C. F.; Rincón, S. F.; Hernández, C. J. M. and Krakowsky, M. 2006. Evaluation of Zapalote Chico accessions for conservation and enhancement. *Maydica* 51: 209-218

Wellhausen, E.J.; Roberts. L.M.; Hernández, X.E. y Mangelsdorf, P.C. 1951. Razas de maíz en México. Folleto Técnico 5. Oficina de Estudios Especiales. S.A.G., México. 239 pp

IV. CALIDAD DE GRANO DE LOS MAÍCES CRIOLLOS SOBRESALIENTES DE LA RAZA ZAPALOTE CHICO

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) es originario de México, país donde se encuentra su mayor diversidad genética. El uso y calidad de su grano se encuentran determinados principalmente por sus características físicas y composición estructural y química. En el presente trabajo, se caracterizó físicamente el grano de 18 maíces criollos superiores de la raza Zapalote chico pertenecientes a la región del Istmo de Tehuantepec, estado de Oaxaca. Se compararon las propiedades físicas del grano para determinar la calidad de nixtamal, masa, tortilla y totopo. En la mayoría de las características estudiadas, se observaron diferencias estadísticas significativas entre los 18 criollos. El largo de grano varió de 9.48 a 11.66 mm; su dureza se identificó como suave a intermedia. En el peso hectolítrico y porcentaje de reflectancia de los 18 maíces se cumplen los requisitos establecidos en la norma de calidad. El 61% de las poblaciones evaluadas presentaron proporción de germen por arriba del porcentaje recomendado por el laboratorio de maíz; el 39 % de ellos si cumplieron con este requisito. Todos los maíces reportaron valores superiores de endospermo harinoso, por arriba de lo establecido por la norma. La humedad de grano, nixtamal, masa, tortilla y totopo fluctuaron entre 11.07 a 12.8 %, 41.31 a 46.8 %, 54.53 a 57.36 %, 40.58 a 45.54 % y 6.49 a 9.45 %, respectivamente. Los granos fueron de menor peso, pero tienen muchos atributos que se pueden aprovechar en la producción de alimentos.

Palabras clave: diversidad genética, *Zea mays*, nixtamalización, grano, tortilla, totopo.

4.1. INTRODUCCIÓN

En México predomina un fuerte arraigo en el consumo de maíz, que lo distingue al tener una gran tradición en este cultivo, constituyéndose en uno de los países más importantes en su cultivo, uso y aprovechamiento. En este contexto, sus razas nativas cumplen una función relevante al formar la materia prima para la elaboración de los diferentes preparados para el consumo humano.

La mayor diversidad genética de maíz se localiza en México, misma que se manifiesta en los diversos caracteres morfológicos, vegetativos, de espiga, mazorcas, grano y uso de estos últimos en preparaciones culinarias tradicionales (Vázquez *et al.*, 2003; Turrent *et al.*, 2010).

Los maíces nativos, además de ser parte del patrimonio biocultural que México ha regalado al mundo, son el sustento de miles de familias en zonas rurales. Los usos especiales de las razas nativas de maíz en la alimentación, están relacionadas con características únicas que las hacen insustituibles para preparar una gran variedad de platillos tradicionales (Fernández *et al.*, 2013).

Predomina en México una gran diversidad de productos nixtamalizados, que forman parte de la alimentación de los pobladores, como tortilla, pinole, atole, tostada, totopo, tamal y elote; de estos, la tortilla constituye el principal producto, cuyo consumo diario *per cápita* es de 155.4 g en zonas urbanas y 217.9 g en las zonas rurales, constituyendo de esa manera el segundo producto más importante en la canasta básica (SE.DGIB, 2012). Las razas nativas de maíz en México siguen siendo procesadas mediante la nixtamalización, lo cual conlleva a numerosos efectos positivos en la liberación de componentes nutraceuticos, pero también a la degradación y modificación química de otros compuestos nutraceuticos (Serna *et al.*, 2013).

La composición química y la estructura del grano de maíz influyen sobre el proceso de nixtamalización, calidad de tortilla y de la harina nixtamalizada (Zepeda *et al.*, 2009). El nivel y la uniformidad de la calidad de grano de maíz empleado como materia prima para la nixtamalización, son importantes en la calidad del producto final. Las características de calidad del grano son determinadas por factores genéticos y por las condiciones de producción y de manejo (Vázquez *et al.*, 2003).

Entre los factores más importantes para que una tortilla sea aceptada por los consumidores esta la textura, ya que entre más blanda y suave sea una tortilla, el trabajo necesario para su masticación será menor (Gasga y Casas, 2007). Al respecto Antuna *et al.* (2008) citan que los atributos de una tortilla de buena calidad puede considerarse los siguientes: fácil enrollado, suavidad al tacto, olor, sabor, textura y plasticidad; tales atributos se obtienen mediante un procesamiento que considera concentraciones adecuadas de cal y tiempos apropiados de cocimiento. En la elaboración de tortillas se requiere un grano que produzca masa con alta humedad, buena extensibilidad y resistencia, entre otras características (Arámbula *et al.*, 2001).

Según Mauricio *et al.* (2004), entre las propiedades importantes para la clasificación del uso alimentario del maíz en México están el tamaño del grano, su gravedad específica y su dureza, así como su capacidad de absorción de agua y rendimiento de masa, rendimiento de tortilla, la pérdida de peso durante la cocción de la tortilla y la resistencia al corte de la tortilla. El color del grano de maíz varía ampliamente entre genotipos, y aunque no se considera una propiedad importante para su uso alimentario, influye considerablemente en la preferencia del consumidor (Mauricio *et al.*, 2004; Aragón *et al.*, 2012).

La dureza del grano está relacionada con el peso hectolítrico e índice de flotación. Ambas se correlacionan de manera inversa, mientras mayor peso hectolítrico tenga un maíz, más duro será

y su índice de flotación será menor (Salinas *et al.*, 2010). Figueroa *et al.* (2013) puntualizan que el endospermo es el componente principal del grano que contribuye de manera importante en la dureza del grano.

Los rendimientos de masa y tortilla dependen de la capacidad del grano para absorber agua y retenerla durante las etapas del proceso; particularmente la tortilla pierde una cantidad importante de agua durante la formación de la “ampolla”, que es la etapa final del cocimiento (Salinas y Aguilar, 2010).

El estado de Oaxaca posee una alta variación genética en el cultivo del maíz, por su situación geográfica, abundante variación climática, topografía variada, diferentes tipos de suelos, facilidad de entrecruzamiento de esta especie y principalmente al gran número de grupos étnicos que han formado diferentes variedades criollas mediante selección a través de miles de años (Aragón *et al.*, 2006). El maíz Zapalote chico que cubre una extensa área de la planicie costera del Istmo de Tehuantepec, es de las razas que mejor definida tienen su área geográfica de distribución.

En el presente trabajo se compararon las propiedades físicas del grano de maíz de la raza Zapalote chico y la calidad de nixtamal, masa, tortilla y totopo de 18 criollos, bajo el supuesto que entre ellos existen diferencias en las propiedades evaluadas.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1. Germoplasma

Las muestras en estudio (Cuadro 4.1) se produjeron en el ciclo de cultivo primavera-verano 2012, en los terrenos experimentales del Instituto Tecnológico de Comitancillo Oax. En parcelas de 19 surcos de 7.5 m de largo y separados a 0.55 m, con un arreglo de 2 semillas por mata, cuya

distancia fue de 0.5 m, con una densidad de población aproximada de 72 700 plantas por hectárea. La siembra se realizó el 13 de julio de 2012. La fertilización fue 92N-46P-00K (200 kg de urea y 100 kg de superfosfato de calcio triple); aplicando en la siembra la mitad del nitrógeno y todo el fósforo; el resto del nitrógeno se suministró en el aporque. El clima de este sitio es cálido sub-húmedo, el más seco de los sub-húmedos, temperatura media anual de 27 °C, precipitación media anual de 600 mm.

4.2.2. Toma de datos y variables

Las determinaciones y análisis de las características de calidad del grano y totopos se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Texcoco, Estado de México.

Cuadro 4.1 Sitios de colecta y denominación de 18 maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.

	Variedad	Comunidad	Nombre local	Color	Altitud(msnm)
1	OAX-823	San Pedro Comitancillo	Hoja morada	Blanco	76
2	OAX-826	San Pedro Comitancillo	Zapalote chico	Blanco	72
3	OAX-827	San Pedro Comitancillo	Zapalote	Blanco	70
4	OAX-830	Sto. Dgo Chihuitán	Zapalote blanco	Blanco	96
5	OAX-832	Sto. Dgo Chihuitán	Cuarentena	Blanco	99
6	OAX-834	Stgo. Laollaga	Zapalote	Blanco	127
7	OAX-838	Stgo. Laollaga	Zapalote	Blanco	130
8	COL-29	Sn Fco. Ixhuatán	Zapalote	Blanco	16
9	COL-31	Montecillo Sta. Cruz	Zapalote	Blanco	15
10	COL-32	Montecillo Sta. Cruz	Zap. enredado	Blanco	10
11	COL-34	Unión Hidalgo	Zapalote morado	Blanco	15
12	COL-36	Unión Hidalgo	Zapalote chico	Blanco	17
13	COL-45	Sta. Ma. Xadani	Maíz chiquito	Blanco	10
14	COL-51	Álvaro Obregón	Olote colorado	Blanco	25
15	COL-58	San Blas Atempa	Maíz chico	Blanco	35
16	COL-62	El Morro Mazatán	Criollo	Blanco	19
17	COL-64	El Morro Mazatán	Chiquito morado	Blanco	5
18	ZAP MOR	San Pedro Comitancillo	Zapalote morado	Blanco	70

4.2.3. Caracterización física del grano

4.2.3.1. Índice de Flotación (IF). Número de granos flotantes de un total de 100, colocados en una solución de nitrato de sodio ($IF=Nf/100$) a una densidad de 1.25 g ml⁻¹ (Salinas *et al.*, 1992).

4.2.3.2. Peso hectolítrico (densidad aparente). La prueba se desarrolló de acuerdo al método 84 -10 AACC (1976), empleando una balanza para peso hectolítrico. El resultado se expresa en kg hL⁻¹.

4.2.3.3. Tamaño de grano. La prueba se desarrolló de acuerdo al método descrito por Salinas y Vázquez (2006). De cada colecta se eligieron 10 granos al azar de una muestra homogenizada a los cuales se les midió el largo, ancho y espesor con la ayuda de un vernier milimétrico. Los resultados se expresaron en mm.

4.2.3.4. Color de grano, color de masa, color de tortilla y color de totopo. Se midió usando el colorímetro Mini Scan XE plus (Hunter Lab, modelo 45/0-L), que descompone el color en tres variables: L* que representa la luminosidad y cuyos valores van del 100, que corresponde al blanco, hasta cero para el negro; la escala a* que registra valores positivos cuando están presentes los tonos rojos y adquiere valores negativos cuando registra tonos verdes. La variable b* califica los colores amarillos (+) a azul (-). Con las variables a* y b* se calculó el ángulo del tono hue o tinte ($hue = \arctan a/b$), que es un valor angular, el cual indica el cuadrante correspondiente al color de la muestra en un sistema cartesiano, donde el eje X corresponde a los valores de a y el eje Y a los de b, donde 0° = color rojo-púrpura; 90° = amarillo; 180° = verde; y 270° = azul (Mc Guire 1992).

4.2.4. Componentes estructurales del grano. Se llevó a cabo de acuerdo a lo descrito por Salinas y Vázquez (2006). Se eligieron 25 granos al azar para cada una de la colectas, los cuales

se remojaron en agua (70-80° C) durante 15 minutos y con la ayuda de un bisturí se separaron cada uno de los componentes del grano (pedicelo, pericarpio, germen y endospermo), las cuales se colocaron en cajas de aluminio previamente llevadas a peso constante. Se tomó el peso de cada una de las fracciones y se registró. Las muestras se colocaron en una estufa a 130° C por una hora para determinar la humedad. Posteriormente se calcularon las fracciones, los resultados se expresan en porcentaje.

4.2.5. Proceso de nixtamalización. La nixtamalización consistió en la cocción de 100 g de maíz con 0.7 g de Ca (OH)₂ y 200 mL de agua. Los granos de maíz y los solventes se mezclaron en un vaso de precipitados de 600 ml, se calentó en una parrilla para nixtamalización hasta alcanzar el punto de ebullición. El tiempo de nixtamalización se asignó de acuerdo con el IF: IF = 0-12 % 45 min, IF = 13-38 % 40 min, IF = 39-62 % 35 min, IF = 63-87 % 30 min, IF=88-100 % 25 min. Al finalizar el cocimiento el grano reposó 16 h, luego se lavó con 200 mL de agua y se molió en un molino de piedra hasta obtener una masa de textura fina (Salinas y Arellano, 1989; Vázquez *et al.*, 2011). La elaboración de las tortillas, la evaluación del porcentaje de sólidos en nejayote (agua de cocción) y el pericarpio retenido en el nixtamal se realizó de acuerdo con los métodos descritos por Salinas y Vázquez (2006).

4.2.6. Caracteres de nixtamalización. Las características asociadas al proceso de nixtamalización aquí determinadas fueron:

4.2.6.1. Humedad del nixtamal (HN). Expresada como porcentaje de agua por 100 g de nixtamal.

4.2.6.2. Pérdida de sólidos (PS). Estimada a partir del peso seco de los residuos de la nixtamalización y lavado, y expresada en porcentaje con respecto al peso total del grano en base seca.

4.2.7. Rendimiento de maíz-tortilla. Se determinó a partir de una muestra de 100 g de grano nixtamalizado, se registró el peso total de las tortillas obtenidas, tanto en tortilla caliente (recién hechas) como en fría (después de que la tortilla alcanza la temperatura ambiente) y los productos correspondientes fueron expresados como porcentajes con respecto a 1 kg de grano.

Las tortillas se moldearon en una prensa manual y se cocieron sobre una plancha metálica. Una vez cocidas, las tortillas se enfriaron a temperatura ambiente durante 30 min., tapadas con una manta de algodón. Después se empacaron en bloques de 20 tortillas por tratamiento, se colocaron en bolsas de polietileno tipo Ziploc, se envolvieron en una manta para evitar pérdidas de humedad y se almacenaron a $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ (ambiente).

4.2.8. Elaboración de totopos. Los totopos fueron hechos de manera artesanal en la población de San Pedro Comitancillo, Oax., por la señora Rosaura Toledo Santiago, edad 50 años, con una experiencia en elaboración y venta de totopos por más de 30 años. Se consideró un kilogramo de grano de cada variedad. Una vez elaborados los totopos se enviaron al laboratorio para su análisis físico. Las determinaciones fueron: rendimiento, peso, diámetro, humedad y color.

4.2.9. Análisis de datos. Las variables se analizaron bajo un diseño completamente al azar. Se realizó el análisis de varianza, pruebas de medias (Tukey 0.05) y con los datos promedio se hizo un análisis de componentes principales.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observaron diferencias estadísticas significativas entre los 18 criollos (Cuadro 4.2) en la mayoría de las características físicas de grano, nixtamalización, masa, tortilla y totopo; es decir, se presentó variabilidad genética entre ellos, por lo que se confirma, que esta variabilidad

intra racial es un aspecto que se debe de valorar en las actividades de conservación *in situ*, con miras de implementar programas de mejoramiento genético para un mejor uso y aprovechamiento de estos recursos fitogenéticos.

Cuadro 4.2 Cuadrados medios y significancia estadística de variables físicas en maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.

	Caracteres	Cuadrados medios		Media general	CV (%)
		Variedades	Error		
Grano	Humedad	1.019**	0.007	11.60	0.740
	Índice de flotación	561.647**	25.777	66.33	7.650
	Peso hectolítrico	6.974**	0.041	75.59	0.270
	Peso de 100 granos	14.512**	0.449	26.83	2.490
	Largo	2.535 ^{ns}	1.631	10.31	12.390
	Ancho	4.22**	1.241	8.88	12.540
	Espesor	2.585*	1.202	4.86	22.560
	Color L [†]	3.756**	1.895	71.73	1.919
	Pedicelo	0.024*	0.007	1.45	5.790
	Pericarpio	0.364**	0.029	4.59	3.720
	Germen	1.201**	0.209	13.52	3.380
	Endospermo	1.149**	0.292	80.43	0.670
Nixtamalización	Porcentaje de solidos	0.416**	0.004	3.01	2.220
Masa	Humedad	6.529*	2.327	44.94	3.390
	Color L [†]	1.875**	0.045	55.79	0.380
Tortilla	Humedad	2.98**	0.310	82.64	0.623
	Color L [†]	10.272**	1.495	43.16	2.830
	Dureza	5.58**	0.501	79.23	0.894
Totopo	Dureza	3876.32**	977.630	205.19	15.240
	Extensibilidad	14.45 ^{ns}	14.681	9.18	41.740
	Peso unitario	15.19**	3.868	58.15	3.380
	Díámetro	0.858 ^{ns}	0.747	23.57	3.670
	Humedad	3.36**	0.862	7.38	12.590
	Color L [†]	1.93**	0.568	78.95	0.950

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01; CV= Coeficiente de variación; † = Medido como porcentaje de reflectancia.

4.3.1. Características físicas del grano

Los granos de las 18 poblaciones en estudio mostraron diferencias ($P \leq 0.05$) en las características físicas (Cuadro 4.3). El contenido de humedad inicial del grano de todos los maíces estuvo entre 11.4 y 12.8 %. El peso y tamaño de grano influyen en el contenido de humedad. Todas las variedades evaluadas cumplieron con el requerimiento mínimo de peso hectolítrico establecido en la norma de calidad (74 kg mL^{-1}) para maíces destinados al proceso de nixtamalización. El índice de flotación que es un dato indirecto de la dureza del grano, determinada por la proporción de endospermo harinoso y córneo (Salinas y Vázquez, 2006), varió en los maíces en estudio desde 46.00 a 85.67 %, arrojando texturas, intermedias (50 %) y suaves (50 %). Estos valores son superiores a lo establecido en la norma NMX-034 (2002). Los granos duros presentan bajos índices de flotación, mientras que los maíces suaves presentan índices altos (Aragón *et al.*, 2012). La dureza como una característica de la textura de los granos de maíz, debe ser considerada como resultado de varias características fisicoquímicas; las características físicas más importantes son densidad (gravedad específica), contenido de germen, porcentaje de endospermo y pericarpio, y tamaño del granulo de almidón (Figuroa *et al.*, 2013).

Los granos de maíces evaluados al reportar porcentajes de reflectancia entre 70.41 y 74.05, se ubican por arriba de la norma de la industria (>55), determinándose como color blanco, tal como se reporta en los datos de origen (Cuadro 4.1). Estos valores ofrecen la tendencia del color que se obtendrá en los productos posteriores (tortilla y totopo). En general, el color del grano tiende a ser más blanco a mayor proporción de endospermo harinoso (Salinas *et al.*, 1992).

El procesamiento industrial del maíz para obtener sus diversos productos, requiere de materia prima con calidad específica de acuerdo con las características físicas y químicas del grano. En la

industria de la molienda seca, la densidad del grano es importante debido a que una mayor densidad repercute en forma positiva en el rendimiento y calidad de las sémolas; la industria refinadora de almidón prefiere granos suaves o de baja densidad por requerir menor tiempo de remojo en la solución de dióxido de azufre, y presentar un mayor contenido de almidón y menor contenido de proteína, comparado con los de grano de textura vítrea (Serna, 1996).

Cuadro 4.3 Características físicas de los maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.

Variedad	HUM	PCG	PH	IF	Dureza [†]	Color	
	(%)	(g)	(kg mL ⁻¹)	(%)		L (%)	
1	OAX-823	12.8a	25.77f	72.65h	83.33a	S	72.25ab
2	OAX-826	12.5b	27.46cde	74.15fg	74.00abc	S	71.97ab
3	OAX-827	12.8a	30.60a	77.20bc	47.33ef	I	70.79ab
4	OAX-830	12.37b	27.25cde	75.20d	70.33abcd	S	71.75ab
5	OAX-832	11.7c	26.38def	77.25bc	46.00f	I	70.39b
6	OAX-834	11.33de	28.01bcd	73.50g	85.67a	S	71.53ab
7	OAX-838	11.33de	27.77cd	76.45cd	58.33def	I	70.41b
8	COL-29	11.13ef	28.54bc	73.70g	81.00a	S	71.24ab
9	COL-31	11.13ef	24.61f	73.65g	82.33a	S	71.85ab
10	COL-32	11.07f	26.65cdef	74.20fg	71.33abcd	S	74.05 ^a
11	COL-34	11.37de	25.46ef	74.85ef	80.33a	S	70.89ab
12	COL-36	11.37de	26.03def	76.05d	62.33bcde	I	71.48ab
13	COL-45	11.17def	27.20cde	76.70bcd	58.67cdef	I	71.7ab
14	COL-51	11.4d	27.23cde	78.65a	49.67ef	I	71.59ab
15	COL-58	11.37de	26.83cde	76.65bcd	61.00bcdef	I	71.94ab
16	COL-62	11.33de	29.91ab	78.65a	46.33f	I	71.18ab
17	COL-64	11.27def	27.78cd	77.40b	60.00cdef	I	72.51ab
18	ZAP MOR	11.37de	20.53g	73.70g	76.00ab	S	73.68ab
DMSH		0.26	2.05	0.81	15.55		3.57
NMX-034(2002) HN			36-40	≥74	≤20		≥57
MyT			30-35	≥74	≤50		>70

DMSH = diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$); NMX = norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (HN = harina nixtamalizada; MyT = masa y tortilla); HUM = humedad; PCG = peso de 100 granos; PH = peso hectolítrico; IF = índice de flotación; [†]S; suave si IF = 63-87%; I; intermedio si IF = 38-62%; L = reflectancia.

4.3.2. Tamaño y componentes estructurales del grano

En las dimensiones de grano de los 18 criollos se detectaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$).

El largo, ancho y espesor presentaron una media general de 10.31, 8.88 y 4.86 mm, respectivamente (Cuadro 4.4). Estos valores no concuerdan con lo reportado por Mauricio *et al.*, (2004) y

Figuroa *et al.*, (2013), quienes reportan cifras de 10, 9.2 y 5.4 mm en forma respectiva para las fracciones referidas del grano.

Cuadro 4.4 Dimensiones y estructuras de grano en 18 criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.

Variedad	Dimensiones (mm)			Fracciones de grano (%)			
	Largo	Ancho	Espesor	PED	PER	GER	END
1 OAX-823	10.11 ^{ab}	8.71 ^{abc}	5.49 ^{ab}	1.3 ^a	4.48 ^{bcde}	13.34 ^{abcde}	80.88 ^a
2 OAX-826	10.55 ^{ab}	9.36 ^{ab}	5.14 ^{ab}	1.6 ^a	4.84 ^{bcd}	13.76 ^{abcde}	79.82 ^{ab}
3 OAX-827	10.84 ^{ab}	9.13 ^{ab}	5.38 ^{ab}	1.4 ^a	5.52 ^a	12.37 ^{de}	80.74 ^{ab}
4 OAX-830	9.74 ^{ab}	9.23 ^{ab}	4.82 ^{ab}	1.6 ^a	4.91 ^{abcd}	12.12 ^e	81.36 ^a
5 OAX-832	10.11 ^{ab}	9.00 ^{ab}	5.07 ^{ab}	1.3 ^a	4.92 ^{abcd}	13.88 ^{abcde}	79.91 ^{ab}
6 OAX-834	10.45 ^{ab}	8.78 ^{ab}	5.13 ^{ab}	1.4 ^a	4.87 ^{abcd}	15.12 ^a	78.64 ^b
7 OAX-838	10.26 ^{ab}	8.93 ^{ab}	5.44 ^{ab}	1.5 ^a	4.53 ^{bcde}	12.91 ^{bcde}	81.11 ^a
8 COL-29	10.51 ^{ab}	9.02 ^{ab}	4.84 ^{ab}	1.5 ^a	5.00 ^{abc}	12.87 ^{bcde}	80.67 ^{ab}
9 COL-31	9.48 ^b	8.17 ^{bc}	5.66 ^a	1.4 ^a	4.43 ^{bcde}	14.59 ^{ab}	79.63 ^{ab}
10 COL-32	10.5 ^{ab}	8.40 ^{bc}	5.06 ^{ab}	1.5 ^a	5.10 ^{ab}	13.51 ^{abcd}	79.89 ^{ab}
11 COL-34	10.37 ^{ab}	8.89 ^{ab}	4.41 ^{ab}	1.5 ^a	4.32 ^{cde}	13.9 ^{abcde}	80.23 ^{ab}
12 COL-36	9.72 ^{ab}	9.10 ^{ab}	5.20 ^{ab}	1.3 ^a	4.00 ^e	13.78 ^{abcde}	80.94 ^{ab}
13 COL-45	10.44 ^{ab}	8.53 ^{abc}	4.42 ^{ab}	1.6 ^a	4.78 ^{bcd}	14.26 ^{abcd}	79.4 ^{ab}
14 COL-51	9.76 ^{ab}	9.07 ^{ab}	4.19 ^{ab}	1.4 ^a	4.31 ^{cde}	13.18 ^{bcde}	81.08 ^a
15 COL-58	10.76 ^{ab}	8.96 ^{ab}	4.40 ^{ab}	1.5 ^a	4.01 ^e	13.51 ^{abcde}	81.00 ^a
16 COL-62	10.35 ^{ab}	10.22 ^a	4.50 ^{ab}	1.5 ^a	4.58 ^{bcde}	12.52 ^{cde}	81.45 ^a
17 COL-64	10.01 ^{ab}	9.44 ^{ab}	4.57 ^{ab}	1.6 ^a	4.06 ^e	13.6 ^{abcde}	80.79 ^{ab}
18 ZAP MOR	11.66 ^a	6.97 ^c	3.80 ^b	1.6 ^a	4.09 ^e	14.14 ^{abcd}	80.17 ^{ab}
DMSH	2.02	1.77	1.74	0.34	0.69	1.83	2.17
NMX-034(2002) HN				≤ 2	4.5-5.5	≤ 12	
MyT				≤ 2	4.5-6	≤ 13	78

PED = Pedicelo; PER = Pericarpio; GER = Germen; END = Endospermo

Las proporciones de pedicelo en los maíces evaluados fueron de 1.3 a 1.6 %, que son inferiores al 2 % establecido como máximo por la industria de harina de maíz nixtamalizado. Vázquez *et al.*, (2003) puntualizan al respecto, que una baja proporción de pedicelo facilita el moldeado de la masa y mejora su textura.

En el pericarpio, el mayor porcentaje se registró en la variedad OAX-827 con un promedio de 5.52, siendo la única que se encontró por arriba de 5.5 %, que es valor establecido por la norma mexicana. El resto de las variedades se encontraron dentro del rango que indica la norma correspondiente.

En 61 % de las poblaciones evaluadas, sus granos presentaron proporción de germen por arriba del porcentaje recomendado por el laboratorio de maíz, el 39 % de ellos cumplieron con este requisito. Todos los maíces reportaron valores superiores de endospermo harinoso, por arriba de lo establecido por la norma. La industria de las harinas instantáneas de maíz nixtamalizado requiere granos con 80 % de endospermo, por lo que todos los maíces incluidos en este estudio cumplen con tal requerimiento.

4.3.3. Calidad de nixtamal, masa y tortilla

El contenido de humedad de la masa del maíz OAX-834 (57 %) fue superior al resto de los maíces que presentaron un comportamiento similar con una media general de 55 %. Al respecto, Arámbula *et al.*, (2000) puntualizan que en una masa de maíz de buena calidad para la elaboración de tortilla, la humedad debe oscilar entre 50 y 58 %, los 18 criollos de la raza Zapalote chico en estudio se sitúan en este rango. La humedad de la tortilla osciló de 40.63 a 45.54 %, que se asemejan con los encontrados en las tortillas hechas con diversos tipos de maíz. La suavización rápida del pericarpio, facilita la penetración del agua, y su eliminación durante el lavado del nixtamal. La pérdida excesiva de pericarpio puede disminuir las propiedades

texturales de la masa y las tortillas debido a la eliminación de las gomas naturales (Martínez *et al.*, 2001).

Los maíces estudiados se recomiendan para la industria tradicional de la masa y la tortilla, debido a que se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma NMX-034 (2002). La menor absorción de agua durante la nixtamalización se asoció con los menores valores de humedad en las tortillas (Cuadro 4.5). La capacidad de absorción de agua está relacionada con la dureza del endospermo, pues cuando es duro, los gránulos de almidón se agrupan en una red proteica que restringe la absorción de agua (Salinas *et al.*, 1992). La pérdida de sólidos en nejayote, osciló entre 2.40 a 3.90 %. Salinas *et al.*, (2007) señalan que un mayor tiempo de cocimiento favorece la desintegración del pericarpio y con ello su liberación durante el enjuague del nixtamal.

En el rendimiento de tortilla en los 18 criollos de la raza Zapalote chico, hubo una variación de 1.23 a 1.46 kg, cifra inferior a lo reportado por Figueroa *et al.*, (2013) y Gaytán *et al.*, (2013). Los maíces con alta capacidad de agua, muestran un alto rendimiento de masa; sin embargo, para obtener un alto rendimiento de tortilla se requiere que el agua absorbida sea retenida durante la cocción (Mauricio *et al.*, 2004).

El color de la tortilla fue diferente entre las variedades, lo cual se debió a diferencias iniciales en el color del grano. La tortilla elaborada con la COL-62 presentó el mayor L (81.74 %), siendo la más cercana al color blanco. Las elaboradas con maíz COL-29, cuyo L fue de 71.05 %, es el más alejado del blanco. Todas las variedades evaluadas tuvieron una reflectancia superior a 70 %, y las tortillas elaboradas con ellas fueron más blancas (81.1 a 84.42 %). Esto obedece a que el color de la tortilla no solo está determinado por el color del grano, sino por factores relacionados con el proceso de nixtamalización, composición química del grano (Salinas *et al.*, 2007) y factores ambientales como la fertilización nitrogenada (Zepeda *et al.*, 2007).

Cuadro 4.5 Propiedades de nixtamal, masa y de tortillas de 18 criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.

Variedad	Humedad (%)			Sólidos %	REN [†] (kg)	Color (L) [§]	
	Nixtamal	Masa	Tortilla			Masa	Tortilla
1 OAX-823	45.23 ^{ab}	56.16 ^{bcd}	43.55 ^{abcde}	3.00 ^{efg}	1.36	80.41 ^e	77.76 ^{fg}
2 OAX-826	42.73 ^{ab}	56.44 ^{bc}	41.11 ^{de}	2.55 ^{hi}	1.3	82.43 ^{abc}	78.85 ^{cdefg}
3 OAX-827	43.35 ^{ab}	56.31 ^{bcd}	40.58 ^e	3.20 ^{cde}	1.28	81.1 ^{ed}	78.91 ^{cdefg}
4 OAX-830	45.09 ^{ab}	56.19 ^{bcd}	42.80 ^{bcd}	3.25 ^{cde}	1.34	84.42 ^{bcd}	79.46 ^{bcd}
5 OAX-832	42.78 ^{ab}	56.20 ^{bcd}	44.48 ^{abc}	3.60 ^b	1.41	83.2 ^{ab}	80.01 ^{abcde}
6 OAX-834	45.34 ^{ab}	57.36 ^a	45.54 ^a	3.05 ^{def}	1.45	83.17 ^{ab}	80.02 ^{abcde}
7 OAX-838	41.31 ^b	54.53 ⁱ	42.98 ^{bcd}	2.75 ^{gh}	1.33	82.85 ^{abc}	78.88 ^{cdefg}
8 COL-29	45.58 ^{ab}	55.89 ^{cdef}	45.25 ^{ab}	2.55 ^{hi}	1.28	82.12 ^{bcd}	77.05 ^g
9 COL-31	46.64 ^a	56.03 ^{cde}	44.70 ^{abc}	2.55 ^{hi}	1.41	82.29 ^{bcd}	77.31 ^{fg}
10 COL-32	45.59 ^{ab}	54.63 ⁱ	43.73 ^{abcde}	2.85 ^{fg}	1.32	82.25 ^{bcd}	78.93 ^{cdefg}
11 COL-34	44.51 ^{ab}	55.48 ^{efg}	44.13 ^{abcd}	2.40 ⁱ	1.46	81.22 ^{cde}	78.15 ^{efg}
12 COL-36	45.21 ^{ab}	56.34 ^{bcd}	45.53 ^a	2.10 ^j	1.41	82.28 ^{bcd}	78.38 ^{defg}
13 COL-45	46.08 ^a	54.84 ^{ghi}	43.09 ^{bcd}	3.30 ^{cd}	1.31	82.87 ^{abc}	80.54 ^{abcd}
14 COL-51	45.85 ^{ab}	55.76 ^{def}	41.59 ^{cde}	3.40 ^{bc}	1.23	83.59 ^{ab}	80.99 ^{abc}
15 COL-58	44.99 ^{ab}	54.69 ^{hi}	41.91 ^{cde}	3.20 ^{cde}	1.24	83.81 ^{ab}	81.62 ^{ab}
16 COL-62	45.85 ^{ab}	55.28 ^{fgh}	40.63 ^e	3.90 ^a	1.24	84.27 ^a	81.74 ^a
17 COL-64	45.98 ^{ab}	55.32 ^{fgh}	42.17 ^{bcde}	3.30 ^{cd}	1.29	83.52 ^{ab}	78.56 ^{defg}
18 ZAP MOR	46.8 ^a	56.80 ^{ab}	43.1 ^{bcd}	3.15 ^{cde}	1.3	83.24 ^{ab}	78.95 ^{cdefg}
DMSH	4.67	0.65	3.17	0.27		1.69	2.17
NMX-034(2002)HN	36-42			< 5.0		> 70	> 70
M-T	42-45		≥43	≤ 5.0	≥1.5		

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey 0.05); [†] kg de tortilla/kg de maíz nixtamalizado; [§] medido como porcentaje de reflectancia

4.3.4. Propiedades de tortilla

Los valores de dureza y extensibilidad de las tortillas producidas con los maíces criollos de la raza Zapalote chico se presentan en la Figura 4.1. La fuerza de tensión de las tortillas, presentaron una rango de 142.67 a 273.33 g para la fuerza extensiva, en donde se ubicaron las

variedades COL-32 y ZAP-MOR, respectivamente. La distancia de extensibilidad fue similar ($P \leq 0.05$) para todas las variedades, no obstante se presentó una variación numérica de 5.65 a 12.24 mm. Investigaciones realizadas por Vázquez *et al.*, (2014) en genotipos de maíz con diferente contenido de aceite y diferente tiempo de almacenamiento de tortilla, mostraron valores de fuerza de ruptura en un rango de 300 a 720 g y distancia de ruptura de 2.5 a 8.4 mm.

En el presente estudio, las tortillas tuvieron menores fuerzas y mayor distancia de ruptura, indicando que son suaves y se extienden un poco más para romperse. Al respecto, Mauricio *et al.*, (2004) apuntan que los maíces que poseen características para tortilla, deben tener valores altos de peso de grano, ancho de grano y rendimiento de tortilla, así como baja resistencia al corte de tortilla.

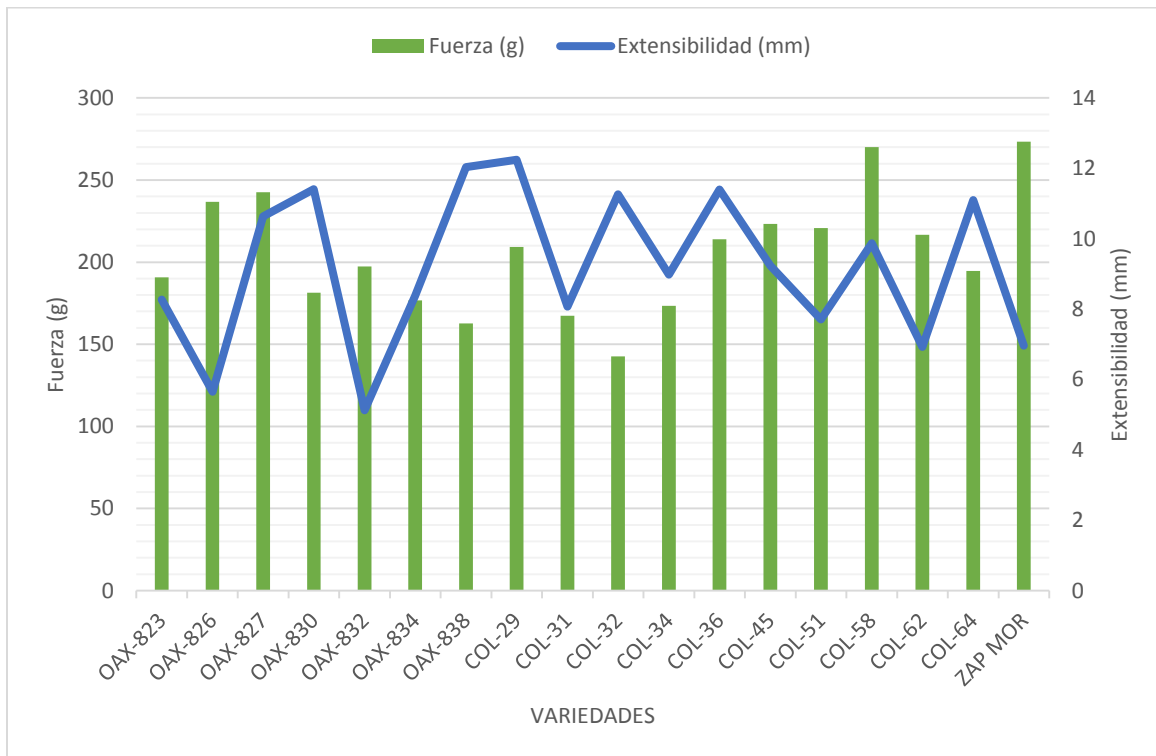


Figura 4.1 Fuerza máxima de rompimiento bajo tensión y su extensibilidad de tortillas.

La fuerza a la tensión y resistencia al corte son propiedades de textura de las tortillas, con que se evalúan la adhesividad y el grado de dureza del producto; la tortilla cuando más suave y blanda sea, requiere menos esfuerzo para su masticación y el producto obtenido será de mejor calidad (Antuna *et al.*, 2008).

4.3.5. Propiedades de totopo

El totopo es el producto principal con que se identifica el maíz de la raza Zapalote chico. El análisis de varianza se realizó para 4 de las variables (Cuadro 4.2). REN y PET no presentaron repeticiones. La producción de totopos osciló de 11 a 14 unidades, con un promedio de 12 a partir de un kg de grano de maíz, el testigo reportó 10 unidades. El PET totopos fue superior en la variedad COL-64 con un valor de 643.3 g y OAX-830 fue el de menor peso con 510.68 g (Cuadro 4.6).

Sin embargo, para la comercialización de este producto, el peso no es un factor determinante, debido a su fabricación artesanal, en donde predomina la ausencia de uniformidad para la producción de este bien alimenticio, siendo relevantes otros factores como el tamaño, textura crujiente, sabor, olor, etc.

Hubo diferencias estadísticas en PUN, HUM y CTO. El diámetro de totopo fue similar para todos los genotipos, esto obedece a que los productos fueron hechos por una sola persona de gran experiencia en la elaboración. Este razonamiento, no es aplicable para el PUN y HUM, en donde se presentaron diferencias ($P \leq 0.05$). Un rango de 53.89 a 61.7 g fue para PUN y para HUM fue 6.28 a 9.45 %. Debido a lo crujiente que debe ser el totopo, con relación a la humedad de la tortilla, esta se reduce en forma general en un 36 %. Estudios realizados por León (1994)

indican valores promedio de 21.6 cm en diámetro, 65.5 g en peso unitario y 5 a 6 % de humedad; datos que no concuerdan con lo reportado en este estudio.

Cuadro 4.6 Características de totopos de los granos de maíz en 18 criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.

Variedad		REN [†]	PET [§] g	PUN g	DIA cm	HUM %	CTO [†] L (%)
1	OAX-823	13	576.76	55.24 ^{bc}	22.93 ^a	9.45 ^a	79.09 ^{abc}
2	OAX-826	11	578.44	58.20 ^{abc}	23.27 ^a	7.42 ^b	79.09 ^{abc}
3	OAX-827	12	602.98	59.67 ^{abc}	23.40 ^a	7.45 ^b	79.56 ^{abc}
4	OAX-830	13	510.68	55.68 ^{bc}	23.27 ^a	7.47 ^b	79.32 ^{abc}
5	OAX-832	13	566.13	56.73 ^{abc}	23.17 ^a	7.55 ^{ab}	79.55 ^{abc}
6	OAX-834	13	596.93	57.76 ^{abc}	23.23 ^a	7.86 ^{ab}	78.00 ^{abc}
7	OAX-838	13	613.5	60.22 ^{ab}	23.53 ^a	7.92 ^{ab}	77.90 ^{bc}
8	COL-29	13	598.59	59.20 ^{abc}	23.90 ^a	8.05 ^{ab}	78.41 ^{abc}
9	COL-31	14	550.1	53.89 ^c	24.07 ^a	7.76 ^{ab}	77.43 ^c
10	COL-32	12	615.5	60.79 ^{abc}	23.90 ^a	6.28 ^b	78.88 ^{abc}
11	COL-34	12	612.0	59.13 ^{abc}	23.57 ^a	7.62 ^{ab}	79.54 ^{abc}
12	COL-36	11	597.16	56.30 ^{abc}	23.67 ^a	7.02 ^b	79.55 ^{abc}
13	COL-45	12	617.5	60.81 ^{ab}	23.53 ^a	6.63 ^b	77.94 ^{abc}
14	COL-51	13	605.7	58.06 ^{abc}	23.80 ^a	6.52 ^b	78.46 ^{abc}
15	COL-58	13	600.0	57.14 ^{abc}	23.00 ^a	7.10 ^b	80.19 ^{ab}
16	COL-62	13	578.5	55.73 ^{bc}	23.00 ^a	6.69 ^b	80.22 ^a
17	COL-64	12	643.3	61.77 ^a	25.23 ^a	6.49 ^b	79.23 ^{abc}
18	ZAP MOR	11	627.2	60.40 ^{ab}	23.73 ^a	7.57 ^{ab}	77.91 ^{abc}
Testigo		10				7.99	77.96
DMSH				6.02	2.65	1.92	2.31

PV = peso volumétrico; REN[†] = número de totopos/kg de grano; PET[§] = peso total, medido en 10 unidades; PUN = peso unitario; DIA = diámetro; HUM = humedad; CTO[†] = Color de totopo, medido como porcentaje de reflectancia. Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey 0.05).

Los totopos presentaron diferencias en los valores de reflectancia, los cuales fueron superiores a 77 %. Resultado del cocimiento que es objeto la masa de maíz en el “comezcal” (olla de barro sin tapa ni fondo), para la fabricación del totopo, así como la duración del proceso (8 a 12 minutos) y la adherencia al comezcal, el porcentaje de reflectancia de la masa es disminuida, por lo que los totopos tienden a ser menos blancos.

4.3.6. Estudio de la diversidad en las características físicas

La caracterización física de grano, nixtamal, masa, tortilla y totopos de los 18 criollos, se analizaron en conjunto mediante el análisis de componentes principales, el cual tiene la función de reducir la dimensionalidad de datos e interpretar con un reducido número de variables la variación total acumulada (Johnson y Wichern, 1992). Los cuatros primeros componentes explican 64.37 % de la variación (Cuadro 4.7). En estos componentes, las características más sobresalientes están relacionadas con índice de flotación, peso hectolítrico, espesor y color de grano, proporción del pedicelo, peso y diámetro de totopos, humedad de grano y en masa su humedad y color.

Cuadro 4.7 Análisis de componentes principales entre variables en 18 criollos sobresalientes de maíz de la raza Zapalote chico.

Componentes	Valores propios	Proporción	Varianza Acumulada
1	6.98178921	0.2493	0.2493
2	5.19467459	0.1855	0.4349
3	3.05919322	0.1093	0.5441
4	2.78675897	0.0995	0.6437

La Figura 4.2 precisa la dispersión de tres grupos de maíces comprendido por los primeros componentes principales, relacionando lo más cercano los valores altitudinales que distingue cada una de las poblaciones evaluadas (Cuadro 4.1). Con esta agrupación, se promedió en forma respectiva el desempeño que registraron las variables en cuestión. El grupo I (maíces de baja altura), integrado por el 17 % de las variedades, presentaron valores altos en: índice de flotación, espesor de grano, color de grano, proporción de embrión, humedad de nixtamal, rendimiento de tortilla y totopo. Los granos de estos materiales fueron menor peso, longitud, proporción de

pedicelo, pericarpio y endospermo; sus tortillas se distinguieron por ser más suaves al rompimiento y sus totopos de menos peso.

Los maíces de altura intermedia (28 %), integraron el grupo II. Estas poblaciones tuvieron características superiores en humedad de grano, peso hectolítrico, longitud y ancho de grano, proporción en pedicelo y endospermo; sus totopos fueron más pesados y más blancos.

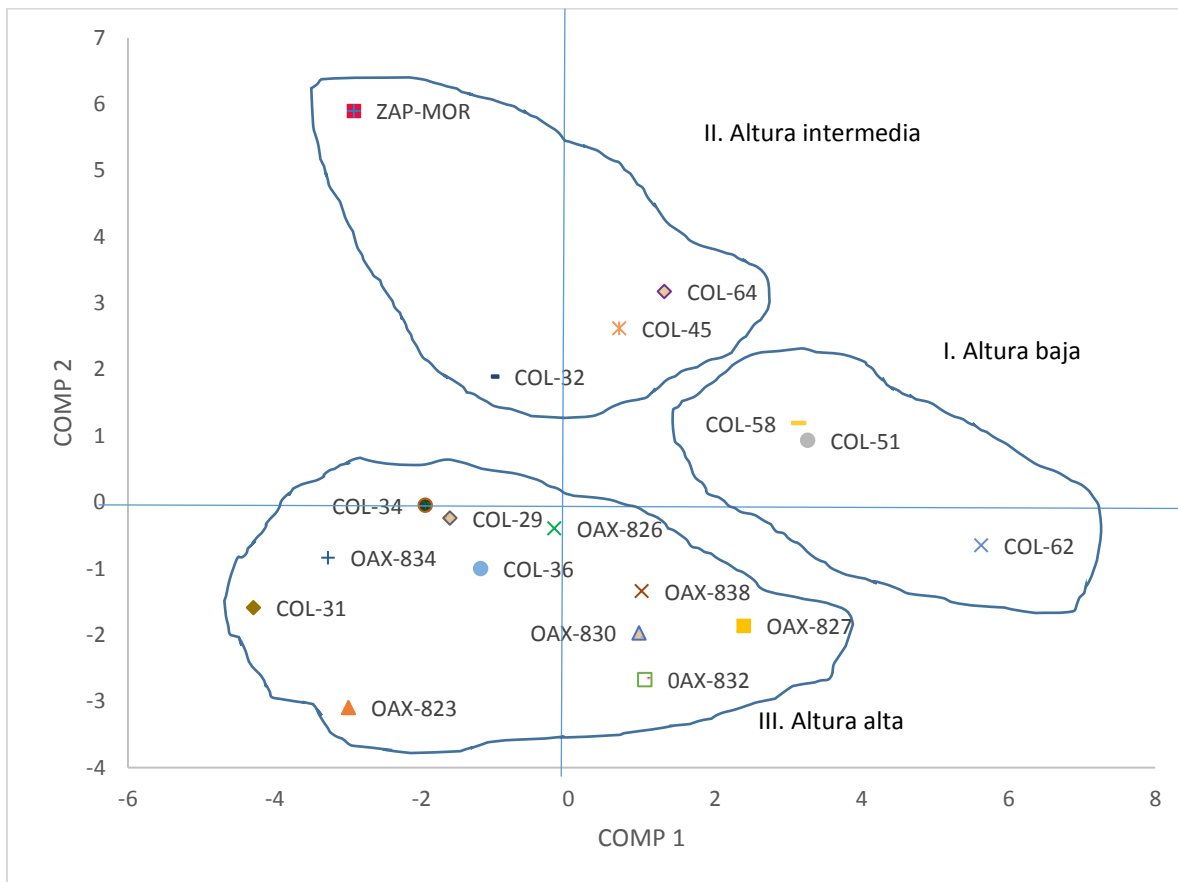


Figura 4.2 Distribución de grupos de maíces de la raza Zapalote chico con base en los dos primeros componentes principales.

Del grupo III identificado como de altura mayor, formado por el 55.5 % de los maíces, sus granos sobresalieron en peso y espesor; proporción de endospermo, porcentaje de sólidos; la

masa y tortilla fueron más blancas, no así en totopos, valores altos de humedad de nixtamal, tortilla y totopos. Rendimiento menor de tortillas y que presentaron mayor distancia de extensibilidad en el rompimiento.

4.4. CONCLUSIONES

1. Existe variación genética intraracial en las características de calidad de grano.
2. La mayoría de los maíces evaluados presentan características de calidad adecuadas para la industria tradicional de la masa tortilla y totopo.
3. No obstante que los granos de esta raza de maíz son de menor peso y por lo consiguiente su rendimiento de tortilla, poseen muchos atributos que se pueden aprovechar, tales como el color, la suavidad de sus tortillas y la producción artesanal de totopos.
4. Las características estudiadas se relacionan con el uso alimenticio al cual se emplean los granos de esta raza de maíz y pueden ser utilizados para definir la calidad industrial del grano.

4.5. LITERATURA CITADA

- American Association of Cereal Chemists. 1976. Approved methods of the AACC. The Association 7th. Edition. St. Paul MN.
- Antuna O., Rodríguez S. Arámbula G., Palomo A., Gutiérrez E., Espinoza A., Navarro E y Andrio E. 2008. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Rev. Fitotecnia Mexicana* 31(3):23-27.
- Aragón C F, J D C Figueroa, M Flores Z, M Gaytán M, M J J Véles. 2012. Calidad Industrial de Maíces Nativos de la Sierra Sur de Oaxaca. Libro Técnico No. 15. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca, México. 249 p.
- Aragón, C. F., Taba S., Hernández C. J.M., Figueroa C. J de D. y Serrano A. V. 2006. Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CS002 México D. F.
- Arámbula G., Mauricio R., Figueroa J.D; González J., Ordorica F.C. 2001. Physico chemical structural and textural properties of tortillas from extruded instant corn flour supplemented with various types of corn lipids. *J. Cereal Sci.* 33:245-252.
- Arámbula V G, M Yáñez L, Y Vorobiev, J González H. 2000. Coeficiente efectivo de difusión de agua en masas de maíz nixtamalizado por extrusión. *Agrociencia* 34:717-727.
- Fernández S. R., Morales C. L.A., y Amanda Gálvez M. A. 2013. Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 36:275-283.
- Figueroa C., J., M. Acero G., N. Vasco M., A. Lozano G., M. Flores A. y J. González H. 2001. Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *Revista Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 51: 329-302.
- Figueroa C.J.D., Narváez G. D.E., Mauricio S. A., Taba S., Gaytán M. M., Véles M. J.J, Rincón S. F. y Aragón C. F. 2013. Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 36: 305–314.
- Gasca M. J. C., y N. B. Casas A. 2007. Adición de harina de maíz nixtamalizado a masa fresca de maíz nixtamalizado. Efecto en las propiedades texturales de masa y tortilla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 6: 317-328.
- Gaytán M. M., Figueroa C. J. D., Reyes V.M L., Morales S. E. y Rincón S. F. 2013. Selección de maíces criollos para su aplicación en la industria con base en su valor agregado. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 36: 339 –346.
- Johnson R A, and D W Wichern. 1992. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Third edition. Prentice-Hall, Inc., New Jersey. 642 p.

- León T. J. E. 1994. Caracterización física, nutricional, sensorial y regional del totopo de la sociedad de solidaridad social "Tona Taati" del Istmo de Tehuantepec, Oax. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 88 p.
- Martínez B. F., Martínez F. H. E., Sanmartín M. E., Sánchez S. F., Chang Y. K., Barrera A., and Ríos. E. 2001. Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalisation process. *J. Sci. Food Agric.* 81: 1455-1462.
- Mauricio R A S, J D C Figueroa, S Taba, M L V Reyes, F S Rincón, A G Mendoza. 2004 Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27:213-222.
- McGuire, G. 1992. Reporting objective color measurements. *Hort. Sci.* (27):1254-1255.
- Norma Mexicana para Maíces Destinados al Proceso de Nixtamalización, NMX-FF-034-2002-SCFI-PARTE-1. 2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereales-maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Especificaciones y métodos de prueba. Especificaciones y Métodos de Prueba. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Dirección General de Normas. México, D. F. 18 p.
- Salinas M. Y. y L. Aguilar M. 2010. Efecto de la dureza del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. *Ing. Agríc. Biosist.* 2:5-11.
- Salinas M. Y., J. L. Arellano V., y F. Martínez B. 1992. Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíces híbridos precoces para Valles Altos. *Revista Archivos Latinoamericanos de Nutrición* Vol. 42: 161-167.
- Salinas M. Y., López R. J.J., González F.G.B. y Vázquez C. G. 2007. Compuestos fenólicos del grano de maíz y su relación con el oscurecimiento de masa y tortilla. *Agrociencia* 41: 295-305.
- Salinas M. Y., y J. L. Arellano V. 1989. Calidad nixtamalera y tortillera de híbridos de maíz con diferente tipo de endospermo. *Revista Fitotecnia Mexicana.* Vol. 12: 129-135.
- Salinas M., Y., N. O. Gómez M., J. E. Cervantes M., M. Sierra M., A. Palafox C., E. Betanzos M., y B. Coutiño E. 2010. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 1: 509-523
- Salinas M., Y., y G. Vázquez C. 2006. Metodologías de análisis de calidad nixtamalera-tortillera en maíz. INIFAP. Campo Experimental Valle de México, Chapingo, México. Folleto Técnico No. 24. 91 p
- SE-DGIB (Secretaría de Economía-Dirección General de Industrias Básicas). 2012. Análisis de la cadena de valor maíz-tortilla: situación actual y factores de competencia local. Secretaría de Economía-Dirección General de Industrias Básicas. http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/20120411_analisis_cadena_valor_maiz-tortilla.pdf. (Consulta: julio, 2014).

- Serna S. S.O., Gutiérrez U. J. A., Mora R. S., y García L. S. 2013. Potencial nutraceutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol. 36: 295-304.
- Serna, S. S. O. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. Departamento tecnología de alimentos. ITESM-Campus Monterrey. AGT Editor S. A. México, D. F. 521 p.
- Turrent-Fernández A, J I Cortés-Flores, A Espinosa-Calderón, H Mejía-Andrade, J A Serratos-Hernández 2010 ¿Es ventajosa para México la tecnología actual de maíz transgénico? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1:631-646.
- Vázquez C M G, L Guzmán B, J L Andrés G, F Márquez S.2003. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 26:231-238.
- Vázquez C. G., García L.S., Salinas M. Y., Bergvinson D.J. and Palacios R.N. 2011. Grain and tortilla quality in landraces and improved maize grown in the highlands of Mexico. *Plant Foods for Human Nutr.* 66: 203-208.
- Zepeda B. R., A. Carballo C., A. Muñoz O., J. A. Mejía C., B. Figueroa S., y F. V. González C. 2007. Fertilización nitrogenada y características físicas, estructurales y calidad del nixtamal-tortilla del grano de híbridos de maíz. *Agricultura Técnica de México*. 33:17-24.
- Zepeda B. R., A. Carballo C. y C. Hernández A. 2009. Interacción genotipo-ambiente en la estructura y calidad del nixtamal-tortilla del grano en híbridos de maíz. *Agrociencia* 43:695-706.

V. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

DISCUSIÓN GENERAL

El reconocimiento notable de la diversidad genética en las poblaciones nativas de maíz de la raza Zapalote chico de la región istmeña del estado de Oaxaca, fue evidenciado con los resultados de la presente investigación. El área de adaptación y distribución de estos maíces se encuentra bien definida. Esta raza Mestiza Prehistórica es reconocida por sus características excepcionales para la elaboración de tortillas y en forma especial los totopos. El totopo de Oaxaca es el producto tradicional representativo del Istmo oaxaqueño y es elaborado de manera exclusiva con maíz Zapalote chico.

La evaluación agromorfológica realizada, demostró la existencia de un excelente potencial productivo en las 18 poblaciones estudiadas, con lo que se reafirma el carácter adaptativo que ofrece la raza Zapalote chico, maíz endémico de la región istmeña de Oaxaca. Este argumento en primer término es sustento suficiente para seleccionar genotipos con los que se puede iniciar o complementar programas de mejoramiento genético con una visión de uso y aprovechamiento de las poblaciones sobresalientes en su área de adaptación. En un segundo término, el rendimiento promedio de grano reportado en cuatro años de evaluación (2.41 t ha^{-1}) es superior al promedio regional de 1.18 t ha^{-1} (SIAP, 2014), con lo que existe suficiente credibilidad sobre los 18 criollos mejorados de poseer bondades en este carácter genético; con esto se podrá asegurar la producción y productividad de este grano básico en la región, buscando la autosuficiencia alimentaria de la población istmeña. Los estudios científicos y el desarrollo de tecnologías que esta ocasión se refiere, deben ser emprendidos con la finalidad de asegurar la producción de alimentos en cantidad y calidad (inocuidad).

Para lo anterior, debe de existir un esquema que considere recomendaciones técnicas efectivas; tal es el caso del mejoramiento de la fertilidad de suelo. Sin una fertilidad adecuada, poco o ningún beneficio se logra con la siembra de semillas mejoradas, y técnicas de producción innovadoras. Se deben de atender aquellas tecnologías que ayuden a reducir los riesgos de pérdida de los cultivos.

El actual fenómeno del cambio climático obliga a revisar las fechas de siembra de este cultivo básico, la genética tradicional y la ingeniería genética deben de proporcionar plantas de mayor precocidad, con sistemas radicales más extendidos, así como introducir resistencia a las plagas y enfermedades que cambian como consecuencia de las alteraciones climáticas. Ante esta situación, los materiales estudiados cumplen con esta condición. La importancia local de la raza Zapalote Chico radica en su precocidad, lo que permite obtener al menos dos cosechas en el mismo terreno por año. Esta precocidad constituye una estrategia en un programa de mejoramiento genético, ya que es una habilidad fisiológica de escape a la sequía y a otras adversidades, tal como lo enmarca el cambio climático. Entre otras características de esta raza se encuentran la resistencia a vientos fuertes y al ataque de gusano cogollero; además, por su excelente cobertura de mazorca se protege de las plagas de granos almacenados.

En las 18 poblaciones caracterizadas en el capítulo III, se aprecia una gran variabilidad genética representada en diferentes características vegetativas, de mazorca y grano. Las variables que permitieron detectar diferencias entre las poblaciones de la raza Zapalote chico fueron en su mayoría atributos morfológicos de las estructuras reproductivas, altura de planta y altura de la mazorca, ancho de lámina, características de la espiga (longitud, ramas primarias y secundarias), mazorca (largo y diámetro) y grano (hilera de grano y granos por hilera). El cultivo de maíz constituye un sistema continuo y dinámico, su polinización es abierta y los agricultores nativos

en forma constante realizan un movimiento o flujo de semilla que mantienen, intercambian y experimentan. Las poblaciones sobresalientes pueden ser aprovechadas en programas de conservación y mejoramiento *in situ* para el desarrollo de variedades regionales.

Las relaciones de similitud más precisa entre los 18 maíces criollos sobresalientes generaron un dendrograma con base a las 16 variables estudiadas (Figura 3.4). Se identificaron 3 grupos; uno de tamaño medio (Grupo 1) representado por los cinco genotipos; otro de grande contenido (Grupo 2) que incluyó trece poblaciones y 16; y un grupo muy reducido (Grupo 3) representado únicamente por el Zapalote morado, de San Pedro Comitancillo, Oax.

Al valorar la diversidad genética de la raza de maíz Zapalote chico de forma integral, como en esta investigación, es posible determinar la dirección de su aprovechamiento para hacer un mejor uso de las poblaciones. En el capítulo IV se demuestra la gran importancia de estos maíces en la calidad de grano, nixtamal, masa, tortilla y totopo. Las poblaciones cumplen con requerimientos de la industria de masa y tortilla, así como con la industria tradicional para la producción de tortilla y totopo. La importancia local de la raza Zapalote Chico radica en sus propiedades vinculadas a la dieta de los habitantes de la cultura Zapoteca, este aprovechamiento inicia con el grano en estado lechoso, en madurez fisiológica y en grano seco, mismos que se utilizan en diversas preparaciones (Cuadro 1.1). Lo anterior, constituye la justificación suficiente para que los actuales programas de fitomejoramiento en este cultivo, no deban centrarse solo en optimizar el rendimiento de grano y resistencia a factores bióticos y abióticos, sino que deben de considerar características agronómicas y de calidad industrial y nutrimental, con lo que se puede asegurar la conservación de maíces nativos a través de su uso y aprovechamiento; toda vez que la diversidad de las variedades de los maíces nativos radica en el gusto culinario popular (colores, textura, sabor, usos, etc).

CONCLUSIONES GENERALES

- En rendimiento de grano, hubo interacción genotipo x año en la evaluación. Esta respuesta de interacción puede ser útil en la identificación de poblaciones con estabilidad específica a las condiciones de la región de estudio.
- La frecuencia de complejos raciales que se demostraron en esta evaluación, propone que las poblaciones cultivadas de maíz no son íntegras, en términos de pertenecer a la raza Zapalote chico, por el contrario, muestran combinaciones de características morfológicas de otras razas.
- La diversidad fenotípica y genética detectada, permiten precisar que estas poblaciones constituyen un amplio reservorio susceptible de aprovecharse a nivel local y regional.
- La diversificación y gran adaptación que posee el maíz Zapalote chico, hace que las poblaciones nativas se conviertan en un reservorio vivo que evoluciona constantemente.
- Las poblaciones estudiadas cumplen con requerimientos de la industria de masa y tortilla, así como para la industria tradicional para la producción de tortilla y totopo

RECOMENDACIONES GENERALES

- Incluir características de calidad de granos en los aspectos de selección utilizados en los programas de mejoramiento genético, en donde generalmente se da mucho énfasis al rendimiento de grano y poco a la calidad.
- Impulsar el desarrollo de una marca colectiva del maíz Zapalote chico, estrategia que ha demostrado ser muy eficiente en la conservación *in situ* y seguridad de los mercados tradicionales, con lo que se logra el mejoramiento participativo.
- Integrar las cadenas de valor de maíz en la región del Istmo de Tehuantepec, lo que permitirá a los productores generar mayor ingreso y conservar *in situ* la variedad Zapalote chico.
- Agregar valor a la producción campesina de la región istmeña de Oaxaca para incentivar la cultura del maíz nativo y su desarrollo.
- Aplicar estrategias de conservación y desarrollo *in situ* para asegurar la conservación y evolución continua de la diversidad genética regional del maíz Zapalote chico.
- Realizar los estudios de calidad nutrimental de las 18 poblaciones sobresalientes, con los que se podrá asegurar los criterios para efectos de registro oficial de los genotipos más selectos.