

**MAÍCES CRIOLLOS DE TABASCO: DIVERSIDAD
MORFOLÓGICA Y CALIDAD FISIOLÓGICA EN SEMILLAS
CON DIFERENCIAS ESTRUCTURALES**

PEDRO GUILLÉN DE LA CRUZ

T E S I S

Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
AGRARIAS**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**

Torreón, Coahuila, México.

Diciembre de 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO
GENOTIPOS CRIOLLOS DE MAÍZ: CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y
CALIDAD FISIOLÓGICA EN SEMILLAS CON DIFERENCIAS
ESTRUCTURALES

TESIS POR

PEDRO GUILLÉN DE LA CRUZ

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada como
requisito parcial, para optar al grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

COMITÉ PARTICULAR

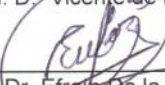
Asesor Principal:


Ph. D. Sergio A. Rodríguez Herrera

Asesor:


Ph. D. Vicente de P. Álvarez Reyna

Asesor:


Dr. Efraín De la Cruz Lázaro

Asesor:


Dr. Mario García Garrillo

Asesor:


Ph. D. Vicente Hernández Hernández

Dr. Fernando Ruiz Zarate

Subdirector de Posgrado


Dr. Pedro Antonio Robles Trillo

Jefe del departamento de Posgrado

Torreón, Coahuila, México. Diciembre, 2012.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna.

Por darme la oportunidad de realizar los estudios de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Por el apoyo económico otorgado durante el transcurso de tres años de estudio del doctorado

A MIS ASESORES:

Los Doctores Sergio A. Rodríguez Herrera, Vicente de Paul Álvarez Reyna, Efraín de la Cruz Lázaro, Mario García Carillo y Vicente Hernández Hernández, profesores investigadores de la UAAAN y UJAT, por compartir sus conocimientos, observaciones, enseñanzas, atinados consejos e innumerables sugerencias, paciencia, confianza y amistad recibida, de quienes he aprendido lo que significa ser un investigador.

A la DIP:

Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, por el apoyo otorgado para la realización del posgrado y de la presente tesis, a través del convenio DACA-04 UJAT-EGRESADO/2010.

A mis maestros.

Ya...

DEDICATORIA

Antes que nada a Dios nuestro Señor por darme la oportunidad de vivir y poder realizar uno de mis sueños. Sé que todavía hay mucho camino por recorrer, pero con su bendición seguiré caminando en el medio de la investigación.

A MIS PADRES: Pedro Guillén Rojas y Guadalupe De la Cruz Martínez

Por todo su apoyo y confianza que siempre me brindaron, por sus consejos y arraigar en mí los valores más profundos que dan consistencia a la vida, con mucho amor para ustedes.

A MIS HERMANOS: El M en C. Jesús Humberto Guillén De la Cruz y María Gabriela Guillén De la Cruz

Por compartir juntos su entusiasmo dedicación y ayuda, por su confianza y apoyo que siempre me brindaron

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
COMPENDIO.....	i
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	5
HIPÓTESIS.....	5
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
1.1 Diversidad de maíz en México.....	6
1.2 Razas de maíz.....	7
1.2.1. Presencia de Razas de maíz en el estado de Tabasco.....	9
1.3 Trabajos relacionados en caracterización morfológica.....	10
1.4 Estructura y composición del grano de maíz.....	14
1.4.1 Pericarpio.....	14
1.4.2 Endospermo.....	15
1.4.3 Germen.....	16
1.5 Tipos de maíces.....	16
1.5.1 Maíz dentado.....	17
1.5.2 Maíz cristalino.....	17
1.5.3 Maíz dulce.....	18

1.5.4 Maíz harinoso.....	18
1.5.5 Maíz palomero o reventador.....	19
1.5.6 Maíz pigmentado.....	19
1.6 Características del grano de maíz.....	20
1.7 Trabajos relacionados en calidad fisiológica y características Estructurales.....	21
CAPITULO 2. ARTÍCULOS.....	26
2.1 Diversidad morfológica de poblaciones de maíces nativos del estado de Tabasco, México.....	26
2.2 Calidad fisiológica en semillas de maíces criollos con diferencias estructurales.....	51
CAPITULO 3. CONCLUSIÓN GENERAL.....	68
CAPÍTULO 4. LITERATURA CITADA.....	69
CAPÍTULO 5. ANEXOS.....	76

COMPENDIO

**MAÍCES CRIOLLOS DE TABASCO: DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y
CALIDAD FISIOLÓGICA EN SEMILLAS CON DIFERENCIAS
ESTRUCTURALES**

POR

PEDRO GUILLÉN DE LA CRUZ

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

TORREÓN, COAHUILA. DICIEMBRE DE 2012

Dr. Sergio A. Rodríguez Herrera-Asesor-

Palabras clave: *Maíz, diversidad morfológica, calidad fisiológica, determinación estructural.*

Debido a la escasa información existente en el estado de Tabasco, como es conocer la diversidad morfológica en los maíces criollos producidos por los agricultores; así como también conocer la calidad fisiológica en semillas con sus diferencias estructurales. En la presente tesis se plantearon dos objetivos, y por ende se dividió en dos apartados esta investigación. En el apartado 2.1 trata de conocer la diversidad morfológica de maíces nativos o criollos, por tal motivo se caracterizo y clasifíco la variabilidad morfológica de 71 poblaciones de maíces nativos del estado de Tabasco, México. Las poblaciones se sembraron en el ciclo primavera-verano 2011, en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron 17 variables morfológicas de planta, mazorca, olote y grano; el análisis de varianza encontró diferencias significativas en 14 de las 17 variables; mientras que el análisis de componentes principales determinó que con los tres primeros componentes se explica el 92.3% de la variación total, aportando los mayores valores a la diversidad las variables peso de mazorca, peso de olote y días a floración femenina. Con base en el análisis de conglomerados, se puede inferir que existe diversidad genética en las colectas de maíces nativos, lo que permitió clasificarla en cuatro grupos a una distancia de 1.15 unidades. Según las características morfológicas de las poblaciones el 85.9% están relacionadas con la raza Tuxpeño.

En el apartado 2.2, se evaluaron 35 genotipos de maíces criollos para establecer la relación entre la calidad fisiológica y las características estructurales de semillas. El experimento se dividió en dos fases; en la primera se determinaron las variables de peso de grano, endospermo harinoso, endospermo vítreo, pericarpio y germen; y en la segunda fase se realizaron las pruebas de porcentaje de germinación, longitud de plántula, número de semillas muertas, plantas normales y plantas anormales. Se encontraron diferencias ($p < 0.01$) entre genotipos de maíz criollo en las características estructurales y de calidad fisiológica. La comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) detectó diferencias entre los maíces criollos evaluados en las variables estructurales y de calidad fisiológica. Los coeficientes de correlación detectaron diferencias significancia ($p < 0.05$) entre la variable estructural peso de grano y las de calidad fisiológica de vigor y germinación. Mientras que el tipo de endospermo vítreo presentó significancia ($p < 0.05$) con las variables plantas anormales, plantas normales, semilla muerta y vigor. El análisis de correlación canónica, detectó que en la variable canónica estructural 1, las variables originales con mayor influencia fueron pericarpio, germen y peso de grano. Mientras que la variable fisiológica 1 estuvo asociada con las variables originales de número de plantas normales, germinación y vigor. El número de plantas anormales, plantas normales y germinación, fueron las que influyeron más en la correlación. De acuerdo al valor de $r=0.7048$, las características estructurales están directamente relacionadas con la calidad fisiológica de la semilla.

ABSTRACT

**TABASCO'S LANDRACES MAIZE: MORPHOLOGICAL DIVERSITY AND
PHYSIOLOGICAL QUALITY IN SEEDS WITH STRUCTURAL DIFFERENCES**

BY

PEDRO GUILLÉN DE LA CRUZ

DOCTOR'S DEGREE IN AGRARIAN SCIENCE

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

TORREÓN, COAHUILA. DICIEMBRE DE 2012

Dr. Sergio A. Rodríguez Herrera -Advisor-

Key words: *Maize, morphological diversity, physiological quality, structural determination.*

Due to the limited existing information in the state of Tabasco, like known morphological diversity in landraces maize produced by farmers; as well as meet too the physiological quality in seeds with their structural differences. In this thesis two objectives were raised, and therefore split into two paragraphs this research. In paragraph 2.1 tries to know the morphological diversity about native maize or landraces, for that reason was characterized and classifies the morphological variability of 71 populations of native maize in the state of Tabasco, Mexico. The populations were planted in the cycle spring-summer 2011 cycle, in the Agricultural Experiment Station from Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, under a randomized complete block design with four replications. Were evaluated 17 morphological variables of plants, corncob, maize stalk and grain; analysis of variance founded significant differences in 14 of the 17 variables; while the principal component analysis determined that with the first three components was explained the 92.3% of the total variation, variables like corncob weight, maize stalk weight and female flowering days provide the highest values to the diversity. Based on cluster analysis, may infer that there is genetic diversity in native maize collections, allowing classify into four groups at a distance of 1.15 units. According to the morphological characteristics of the populations the 85.9% are related to race Tuxpeño.

In the paragraph 2.2 was testing 35 genotypes of maize landraces to establish the relationship between the physiological quality and structural characteristics of seeds. The experiment was divided into two phases, in the first

it was determined variables of grain weight, floury endosperm, vitreous endosperm, pericarp and germ, and in the second phase of testing was performed test of germination percentage, seedling length, number of dead seeds, normal and plant abnormal plants. Differences ($p < 0.01$) between genotypes were found in the structural characteristics and physiological quality and the comparison of means (Tukey, $p < 0.05$) detected differences between maize landraces testing in structural variables and physiological quality. The Pearson's correlation coefficients found significant differences ($p < 0.05$) between the grain weight structural variable and vigor and germination physiological qualities. While the vitreous endosperm type showed significant ($p < 0.05$) with abnormal plant, normal plants, dead seed and vigor variables. The canonical correlation analysis, detected that in structural canonical variable 1, the original variables most influential were pericarp, germ and grain weight. While the physiological variable 1 was associated with the number of normal plants, germination and vigor original variables. The abnormal plants, normal plants and germination variables, which were considered the more influential in the correlation. According to the value $r=0.7048$, structural characteristics are directly related to physiological quality seed.

INTRODUCCIÓN

La diversidad genética poblacional de maíz en México es muy dinámica y depende de factores biológicos, agroecológicos y socio-económicos, y necesidades familiares (Diego-Flores *et al.*, 2012). El germoplasma contenido en estas poblaciones nativas o criollas y en los parientes silvestres del maíz, constituye un recurso genético de suma importancia para el futuro de la producción de maíz (Nadal, 2000). Para el ordenamiento de la diversidad, se han realizado caracterizaciones basadas en atributos agronómicos, morfológicos, fisiológicos y moleculares. Mientras que para su clasificación se han aplicado varios métodos estadísticos, entre los que destacan las técnicas multivariadas que permiten una interpretación más completa del fenómeno (Caraballoso *et al.*, 2000). Uno de los primeros trabajos que aplicó el análisis multivariado para estudiar la diversidad del maíz fue el de Goodman (1967); posteriormente se han utilizado diversas técnicas multivariadas para clasificar la diversidad del maíz, como el análisis de conglomerados (Herrera-Cabrera *et al.*, 2004; Espinosa-Trujillo *et al.*, 2006; Hortelano *et al.*, 2008; González *et al.*, 2011 y Hortelano *et al.*, 2012) y el análisis de componentes principales (López *et al.*, 2005; Mijangos-Cortes *et al.*, 2007; Hortelano *et al.*, 2008; Diego-Flores *et al.*, 2012 y Hortelano *et al.*, 2012).

Se estima que en los estados de Tabasco, Chiapas, Yucatán y Oaxaca, se siguen cultivando 35 de las 59 razas de maíz presentes en México. En particular, en el estado de Tabasco se reportan las razas Theua, Zapalote grande, Olotillo, Tuxpeño y Vandeño (Perales y Hernández-Castillas 2005). El estudio de la diversidad fenotípica y el tipo de raza a la que pertenecen los maíces nativos del estado de Tabasco está poco documentada, debido a que no se ha estudiado, recolectado y caracterizado de forma extensiva la diversidad morfológica del maíz que siembran los agricultores tradicionales (Sierra *et al.*, 2010).

La calidad de la semilla es un estándar de excelencia o atributo que puede determinar el funcionamiento de ésta al momento de la siembra o almacenamiento. Los componentes de calidad de la semilla se pueden agregar en categorías, donde se menciona la descripción, higiene y potencial de funcionamiento; en este último, se toma en cuenta el vigor y la germinación (Hampton, 2002). La germinación de las semillas puede ser definida como una serie de procesos metabólicos y morfogenéticos, que resultan en la transformación del embrión en una plántula capaz de convertirse en una planta adulta (Méndez-Natera *et al.* 2008). El vigor en las semillas se define como la sumatoria total de aquellas propiedades de las semillas que determinan el nivel de actividad y la respuesta de las semillas o de un lote de semillas durante la germinación y emergencia de las plántulas (ISTA 1995). Es por ello que las pruebas de germinación y vigor se recomienda implementarlas paralelamente, para emitir veredictos integrales sobre la calidad fisiológica, debido a que estas

dos pruebas infieren y ayudan a definir la calidad física y fisiológica de la semilla.

En el cultivo de maíz existe gran diversidad en tamaño, forma y composición de la semilla debido a factores genéticos, ambientales y a la ubicación de ésta en la mazorca (Boyer & Hannah 2001). El grano de maíz constituye aproximadamente el 42% del peso seco de la planta. Existen varios tipos de grano, que se distinguen por las diferencias de los compuestos químicos depositados o almacenados en el endospermo (FAO 1993). Las diferencias estructurales de mayor importancia en la semilla son: tamaño, forma y tipo de endospermo, el cual es el mayor componente de la semilla con aproximadamente el 82 %, seguido del germen con el 12 %, pericarpio con el 5 %, y pedicelo con el 1 % (FAO 1993). El grano está compuesto entre el 70 y 75 % de almidón, del 8 al 10 % de proteína y del 4 al 5 % de aceite, contenidos en las estructuras del germen, endospermo y el pericarpio, respectivamente. El germen contiene el 83 % de los lípidos y el 26 % de la proteína del grano. El endospermo contiene el 98 % del almidón y el 74 % de las proteínas del grano. El pericarpio incluye todos los tejidos de cobertura exterior, con un 100 % de fibras (Álvarez, 2006).

Estudios realizados en campo y laboratorio para determinar el efecto de factores favorables y desfavorables sobre la germinación y la emergencia de cinco genotipos con diferente textura de endospermo encontraron diferencias genotípicas en la capacidad de germinación de la semilla (Pajic *et al.*, 1998). Mientras que Pérez-De la Cerda (2007) al evaluar la calidad fisiológica en

semillas de maíces con diferencias estructurales, encontró respuesta diferencial en la calidad fisiológica de los genotipos evaluados. En la actualidad es escasa la literatura que aborda la relación que existe entre los tipos de endospermo y la calidad física y fisiológica de la semilla (Pérez-De la Cerda *et al.* 2007).

OBJETIVOS

- 1.- Caracterizar la diversidad morfológica del maíz nativo que se siembra en los campos de cultivo de los agricultores tradicionales del estado de Tabasco, México.
- 2.- Estudiar la relación que existe entre la calidad fisiológica y las características estructurales en semillas de 35 genotipos maíces criollos del estado de Tabasco.

HIPÓTESIS

- 1.- Entre los genotipos de maíces criollos sembrados en campos de cultivos de los agricultores en el estado de Tabasco, no existe variabilidad genética.
- 2.- Las variables de calidad fisiológica y de determinación estructural en semillas de genotipos criollos del estado de Tabasco no están relacionadas.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Diversidad de maíz en México

El maíz es el cultivo que predomina en la mayor parte del sur de México, donde se concentran los mayores índices de pobreza extrema y superficies donde se practica la agricultura de subsistencia. Los productores suelen sembrar numerosas variedades con distintos nombres, características definidas y colores de grano (King, 2007). En México, la diversidad del maíz está representada por 59 razas de maíz catalogadas, que representan aproximadamente el 23% de la diversidad genética presente en el continente americano (Goodman y Brown, 1988). Mientras que Castillo *et al.* (2000) mencionan que la mayor parte de la diversidad del maíz aún está en los campos de los agricultores debido a que, en México, las semillas mejoradas se siembran sólo en aproximadamente el 15% del área cultivada; estos autores afirman que en los estados del sur de México, se cultivan principalmente materiales criollos. Al respecto se ha reportado que en el sureste de México, se tiene la mayor diversidad de razas de maíz, con la presencia de 35 razas. Por eso no sorprende observar que el empleo de variedades híbridas en el sur de México se reduce aproximadamente a un 25% de la superficie cultivada con maíz (Nadal, 2000).

Con base en colectas de maíz, que se realizaron en varios estados del país en diferentes períodos, se encontró que el estado de Chiapas, es uno de los estados con mayor diversidad de maíz entre 1946 y 1971 incremento el número de colectas. Pero entre 1971 y 1991 la tendencia fue a la baja, particularmente en áreas tropicales donde dos razas de maíz habían prácticamente desaparecido (Ortega, 1973). Mientras que en los estados de Oaxaca y Yucatán, dos estados caracterizados por la importancia que mantiene la población indígena, se encontró que entre 1987 y 1998 se habían perdido algunos tipos de maíz de las razas Comiteco, Oloton, Olotillo y Tepecintle. En general, los resultados indican una clara tendencia a la pérdida de diversidad de maíces, en diferentes regiones del país. Por otra parte Nadal (2003), menciona que los materiales que siembran los agricultores de las áreas rurales del país y en especial los del sureste, en su mayor parte son variedades criollas o locales conservadas por las familias de generación en generación.

1.2. Razas de maíz

Anderson y Cutler (1942) introdujeron el concepto de razas de maíz; cada raza representa un grupo de individuos relacionados con suficientes características en común para permitir su reconocimiento al grupo, teniendo un alto número de genes comunes. La información sobre las razas de maíz recolectadas en varios países o regiones ha sido publicada bajo la forma de boletines por los diversos autores; la información incluye la descripción de las medias de la raza para la planta, la panoja, la mazorca, el grano y, en algunos casos, características fisiológicas y datos de los nudos cromosómicos. Se han

descrito las razas de maíz a nivel universal e indicando los centros primarios y secundarios de diferenciación de las razas (Brandolini 1970). Para su estudio se dividió todas las razas de maíz de América Latina en seis grupos de linajes, cada grupo derivado de una raza silvestre. Estos grupos son:

- ❖ Palomero toluqueño, maíz mexicano reventón puntiagudo.
- ❖ Complejo Chapalote - Nal - Tel de maíces de México.
- ❖ Pira Naranja de Colombia, progenitor de los maíces tropicales duros con endospermo de color naranja.
- ❖ Confite Morocho de Perú, progenitor de los maíces de ocho filas.
- ❖ Chullpi de Perú, progenitor del maíz dulce y relacionado a las formas almidonosas con mazorcas globosas.
- ❖ Kculli, maíz tintóreo peruano, progenitor de razas con complejos de aleurona y pericarpio coloreados.

Se ha estimado que cerca del 40% de las razas de maíz en América tienen endospermo harinoso, 30% son duros, 20% son dentados y 3% tienen tipos de granos dulces. 50% de ellas están adaptadas a los ambientes de las tierras bajas, 40% a las tierras altas y 10% a los ambientes intermedios. Mientras que Pandey y Gardner (1992) mencionaron que en el hemisferio occidental se han descrito 285 razas de maíz, de las cuales 265 están presentes en América Latina. A nivel mundial cerca de 300 razas involucran a miles de cultivares diferentes que han sido descritas e identificadas en todo el mundo y que esas colecciones representan del 90 al 95% de la diversidad genética del maíz.

Casi todos los cultivares que se usan hoy día en los trópicos pueden ser reconducidos a una raza que todavía se puede encontrar en el campo y/o está depositada en un banco de germoplasma. Algunas razas muestran una amplia adaptabilidad y han proporcionado germoplasma que se encuentra en casi todos los ambientes tropicales. Una de ellas es el Tuxpeño; varios cultivares mejorados que se originan directamente en esta raza o en una combinación con otros materiales, están siendo cultivados desde México a China. Esta raza ha sido usada como germoplasma para importantes caracteres agronómicos como fuente de resistencia a las enfermedades foliares, especialmente al marchitamiento de la hoja, buena calidad del tallo, resistencia a la sequía, tolerancia a la toxicidad de aluminio, como fuente para un tipo de planta más bajo con un mejor índice de cosecha, para variedades que pueden tolerar un cierto grado de inundación y también para el trasplante. El germoplasma Tuxpeño muestra una alta habilidad combinatoria con la raza Tuscón y con los maíces duros de la costa y Cuba. El híbrido Tuxpeño x ETO está probablemente presente en los parentales de un gran número de híbridos en los trópicos. Muchas otras razas también son fuentes útiles de germoplasma.

1.2.1. Presencia de Razas de maíz en el estado de Tabasco

Para el Estado de Tabasco se tiene reportada la presencia de las razas de maíz: Theua, Zapalote Grande, Olotillo, Tuxpeño y Vandeyño; estas colectas de maíz criollo fueron realizadas en 1978 y 1991 (Mariaca, 1993; Mariaca, 1996).

En lo referente al número de colectas para el estado de Tabasco, el INIA antecesor del INIFAP sólo reportaba nueve colectas (Reyes, 1990). Esta diversidad de maíz está siendo amenazada por un conjunto de procesos tan diversos como el comercio internacional, la emigración rural, el cambio en los patrones culturales y el desarrollo de modernas tecnologías de producción. Por otra parte, desde la perspectiva del fitomejoramiento, la gran diversidad de maíces que hay, representan un amplio “pool de genes” en el cual se pueden buscar las características adecuadas para el desarrollo de nuevas y mejores semillas. Por ejemplo, en el estado de Tabasco todavía se puede observar parcelas sembradas con maíz criollo “mejen” precoz (Gliessman, 2002) que pueden servir como base para el mejoramiento genético de maíces precoces.

1.3. Trabajos relacionados en caracterización morfológica

Diego-Flores *et al.*, (2012), en su trabajo variabilidad en poblaciones de maíz nativo de la Mixteca Baja Oaxaqueña, México. Describió y clasificó la variabilidad morfológica de una colección de 60 muestras poblacionales de maíz, colectadas en 44 municipios de la Mixteca Baja Oaxaqueña (846 msnm a 1842 msnm). En el cual detectaron diferencias significativas en caracteres morfológicos de planta, espiga (panoja), mazorca y grano entre poblacionales de maíz de la Mixteca Baja Oaxaqueña. La variación de las poblaciones se asocia con patrones altitudinales y geográficos. Finalmente determinaron seis grupos fenotípicos significativamente diferentes con características de mazorca,

grano y planta, semejantes a las descritas para las razas Celaya, Bolita, Pepitilla, Ancho, y ciertos complejos raciales entre Ancho, Mixteco, Celaya y Bolita.

Hortelano et al., (2012), evaluaron la diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México. Para ello colectaron 134 poblaciones, se evaluaron mediante 22 variables. Detectaron cierta similitud de las poblaciones nativas con la raza Chalqueño y su variante Chalqueño Crema, pero no con los demás testigos raciales. Esto sugiere que una fracción de las poblaciones nativas está diferenciándose morfológicamente de las razas reportadas para la región. También se observaron que la selección que los agricultores están imponiendo sobre características como precocidad, porte de planta y componentes del rendimiento del grano, está conduciendo al desarrollo de distintos grupos de poblaciones.

Chávez-Servia *et al.*, (2011) colectaron y caracterizaron 100 muestras poblacionales de maíz de 14 municipios del distrito de Tlaxiaco, Oaxaca. La descripción morfológica se realizó con base en 18 caracteres más el rendimiento de grano. El análisis de componentes principales mostró que la variación morfológica evaluada presentó un patrón altitudinal de acuerdo con el origen de colecta. En base a los resultados obtenidos determinaron nueve grupos fenotípicos mediante el análisis de conglomerados, denominados como raza Mixteco, raza Chalqueño y siete complejos raciales integrados por expresiones fenotípicas de las razas Chalqueño, Cónico, Mixteco y Pepitilla. Las colectas mostraron una alta variación morfológica y en rendimiento, y se

diferenciaron las razas Chalqueño y Mixteco, y siete complejos raciales. Durante la evaluación se observaron poblaciones con características de mazorca semejantes a las descritas para las razas Bolita, Serrano Mixe y Ancho.

Hortelano *et al.*, (2008), evaluaron 58 muestras provenientes de 35 comunidades ubicadas en las microrregiones de La Malinche, Iztaccíhuatl-Popocatepetl y valle, así como siete testigos de las razas Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño y Cacahuacintle. Las evidencias disponibles indican que los maíces nativos del Valle de Puebla presentan divergencia de los materiales Cónicos, y cierto grado de similitud hacia los de tipo Chalqueño, particularmente con la variante Chalco Crema. La similitud fue más evidente en los materiales de grano blanco, pues los pigmentados se apartaron notablemente de los chalqueños. También detectaron la presencia, aunque escasa, de poblaciones afines a la raza Cacahuacintle.

Martín *et al.*, (2008), caracterizó 90 materiales mediante 36 variables morfológicas y gráficas “biplot” y dendrogramas. Encontrando la colecta M05023 de grano amarillo podría utilizarse como típica representativa de la raza Tabloncillo, y como una segunda opción las colectas M04001, M05001 y M05034 de grano blanco, y M05006 y M05011 de grano amarillo. Los maíces Tampiqueños de los municipios de Guachinango y San Sebastián del Oeste, Jalisco y los Chinos del Municipio de Ruiz, Nayarit se relacionaron a los maíces de la raza Tuxpeño, y los criollos provenientes de generaciones avanzadas de

híbridos comerciales con las colectas de la raza Celaya y Tuxpeño, principalmente.

López *et al.*, (2005) evaluaron 132 poblaciones nativas del istmo de Tehuantepec, mediante 18 variables cuantitativas, principalmente sobre estructuras reproductivas. Con el auxilio de un análisis de componentes principales observaron seis grupos, tres de ellos integraron poblaciones conocidas regionalmente como maíz chico, correspondientes a la raza zapalote chico; y los otros tres grupos agregaron a poblaciones denominadas regionalmente como maíz grande y corresponden a una amplia base de la raza zapalote chico, con introgresión de las razas Vandeño, Tepecintle y Tuxpeño.

Herrera-Cabrera *et al.*, (2004) evaluaron la diversidad genética de poblaciones de maíz de la raza Chalqueño que se cultivan en el oriente del Estado de México, con base en caracteres morfológicos y agronómicos. Evaluaron 104 poblaciones con 11 caracteres morfológicos. Los resultados de un análisis de componentes principales, y otro de conglomerados, indicaron que las poblaciones presentaron traslapes en características entre los grupos taxonómicos Palomero Toluqueño, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño-Cónico, Chalqueño cremoso, Elotes Chalqueños, Palomo, Chalqueño-Ancho, Cacahuacintle y Ancho, dentro del complejo de mazorca piramidal. Las poblaciones de la Sierra Norte de Puebla, semejantes en mazorca a Chalqueño y Mushito en Oaxaca y Michoacán, fueron diferentes del resto. Con esto concluyen que la diversidad del maíz es dinámica porque, aunque predomina el Chalqueño, el Cacahuacintle se encuentra en baja frecuencia, el Ancho se

distribuyó de una altitud intermedia al Altiplano, y el chalqueño amarillo presentó una fuerte reducción en su frecuencia.

1.4. Estructura y composición del grano de maíz

En el maíz existe una gran diversidad en tamaño, forma y composición del grano debido a factores genéticos, ambientales y a la ubicación de éste en la mazorca. El grano constituye aproximadamente el 42% del peso seco de la planta. Hay varios tipos de grano, que se distinguen por las diferencias de los compuestos químicos depositados o almacenados en el endospermo (FAO, 1993).

1.4.1. Pericarpio

El pericarpio, es la parte estructural más externa del grano, es una película cuyo espesor normalmente varía de 60 a 80 μm , está formado por un tejido denso y correoso, cuya composición es 77.7% fibra, 9.1% proteína, 7.3% almidón, 1% grasa y 4.4% otras sustancias, y representa del 5 al 6% de peso seco del grano (Watson y Ramstad, 1987). Empezando desde la región exterior, las partes del pericarpio son la cutícula (con grosor de 0.7 a 1 μm), la epidermis (con grosor de 4 a 6 μm), el mesocarpio, las celdas cruzadas y las celdas tubulares (Bartolo-Pérez *et al.*, 1999). El pericarpio es la pared del ovario maduro y comprende todas las capas exteriores de la célula hasta el

recubrimiento de la semilla. A lo largo de su superficie interior se adhiere a la cubierta de la semilla o testa.

1.4.2. Endospermo

A nivel genético existen diferentes factores y unidades de transcripción que influyen directamente en la composición del almidón en el endospermo, en el aspecto ambiental, el nitrógeno en el suelo y la densidad de población pueden influir en la relación de endospermo vitro y harinoso (Pérez-De la Cerda *et al.*, 2007). El endospermo del grano de maíz es la zona más importante de almacenamiento de carbohidratos y proteínas sintetizadas en la fotosíntesis, constituye del 82 al 84% del peso seco del grano, está compuesto de paquetes de células elongadas con gránulos de almidón de 5 a 30 μ embebidos en una unión continua de proteínas (Watson y Ramstad, 1987); además, está formado por una capa celular llamada aleurona, lugar donde residen enzimas hidrolíticas. El endospermo harinoso rodea la hendidura central y es ligeramente opaco y blando, mientras que el endospermo vítreo es duro y traslucido; las proporciones de cada uno varían con el tipo de maíz y con la variedad (Gómez, 1993).

1.4.3. Germen

El germen está compuesto por el embrión y el escutelo. El escutelo funciona como un órgano nutritivo del embrión, constituye del 10 al 12% del peso seco del grano. Es el depósito de lípidos, el cual contiene un 83% del total de los lípidos del grano, además del 70% del azúcar y el 26% de la proteína del grano (Watson y Ramstad, 1987). La proteína que contiene el germen del grano del maíz (gluteína y globulina) es de buena calidad y su contribución a la proteína del grano entero es en promedio del 15% (Betanzos, 1977).

1.5. Tipos de maíces

Los distintos tipos de maíz presentan una multiplicidad de formas, tamaños, colores, texturas, composición, apariencia y adaptación a diferentes ambientes, constituyendo numerosas variedades primitivas o tradicionales que son cultivadas actualmente (Gaer, 2006). El maíz puede ser clasificado en distintos tipos los cuales pueden ser: a) por la constitución del endospermo y del grano; b) por el color del grano; c) por el ambiente en que es cultivado; d) por la madurez, y e) por su uso (Paliwal, 2003). Puede dividirse en varios grupos que difieren en el tipo de semilla o grano, estos tipos son: dentado, cristalino, dulce, harinoso, reventador, ceroso y tunicado (Jugenheimer, 1981).

1.5.1. Maíz dentado

El dentado es el tipo de maíz cuya siembra está más generalizada a nivel mundial. Se caracteriza por una depresión o diente en la corona de la semilla. A los lados tiene almidón corneo, en tanto que el almidón suave o harinoso se extiende hacia el ápice o corona de la semilla. Al secarse y contraerse el almidón suave, se tiene como resultado el carácter dentado. Los maíces dentados de la faja maicera de los Estados Unidos se originaron de la mezcla de maíces cristalinos del Norte y dentados del Sur (Jugenheimer, 1981). Los maíces dentados son preferidos para alimento animal y para usos industriales; principalmente en la industria de la molienda húmeda para la obtención de alcohol, almidones y fructosa, entre otros ingredientes empleados en la industria alimentaria (Paliwal, 2003; Gaer, 2006).

1.5.2. Maíz cristalino

Se siembra ampliamente en Europa, Asia, Centroamérica y Sudamérica. En general, estos granos son duros, lisos y contienen poco almidón harinoso. Sin embargo, las cantidades relativas de almidón harinoso y corneo varían de acuerdo con la variedad. El maíz cristalino, que tiene un endospermo duro y vítreo, se usa básicamente para papillas o para un tipo de platillo preparado que reemplaza al arroz en varios países de África. Por lo general se prefiere el maíz cristalino al dentado porque son menores las pérdidas con los métodos

tradicionales de almacenamiento y procesamiento (Jugenheimer, 1981; Paliwal, 2003).

1.5.3. Maíz dulce

Se caracteriza por su apariencia translúcida y córnea cuando está inmaduro y por una condición vítrea cuando está seco. Se siembra principalmente en Estados Unidos. El maíz dulce difiere del duro sólo por el gen recesivo (*Su*), el cual impide la conversión de una parte del azúcar en almidón (López, 1991).

1.5. 4. Maíz harinoso

El endospermo de los maíces harinosos está compuesto casi exclusivamente de almidón blando o harinoso, que se raya fácilmente con la uña. Es el maíz predominante en las zonas altas de México. Los tipos de maíces harinosos muestran gran variabilidad en color de grano y textura, estos maíces son usados como alimento humano y algunas razas se utilizan para la preparación de platos especiales y bebidas (FAO, 2001). A causa de la naturaleza blanda del almidón del endospermo estos maíces son altamente susceptibles a la pudrición, al gorgojo del grano y otros insectos que atacan al grano en el campo y en almacenamiento (Paliwal, 2003).

1.5.5. Maíz palomero o reventador

Es una forma extrema del cristalino con endospermo que contiene sólo una pequeña proporción de almidón harinoso en el centro. El grano se usa principalmente para consumo humano como palomitas o rosetas de maíz y es la base para la elaboración de confituras de maíz. La capacidad de reventar está condicionada por la proporción relativa de endospermo corneo, donde los granos de almidón están embebidos en un material coloidal tenaz y elástico de proteína que restringe y resiste la presión del vapor generada dentro del gránulo bajo calentamiento hasta que alcanza una fuerza explosiva (Romero, 2006).

1.5.6. Maíz pigmentado

Para hablar de pigmentos de maíz, es necesario mencionar los compuestos fenólicos, que comprenden un amplio grupo de sustancias que tienen en común la presencia de un anillo aromático al que se halla ligada uno o más sustituyentes hidróxilo. Entre sus características destacan la solubilidad que presentan en medio acuoso y el hecho de que se hallan combinados a azúcares. Las antocianinas son los pigmentos más importantes en el grano de maíces rojos y azules, se concentran principalmente en la capa de aleurona, aunque en algunos maíces la pigmentación se localiza también en el pericarpio, los pigmentos color púrpura presentes en la capa de aleurona del grano de maíz corresponden a glucósidos de cianidina. En tanto que la pigmentación roja se atribuye a glucósidos de pelargonidina (Wellhausen *et al.*, 1951).

1.6. Características del grano de maíz

El grano de maíz está constituido fundamentalmente por tres tejidos, el endospermo, el embrión y el pericarpio. Del 10 al 11% del grano está representado por el embrión, que es donde el aceite y las proteínas con mayor valor biológico se encuentran depositados. El grano es una excelente fuente de energía, y es por esto que es un ingrediente mayor en la nutrición animal. Pero, además de aportar energía, el maíz es fuente de proteínas, lípidos, pigmentos, vitaminas y minerales. La energía es el principal valor nutricional dentro del grano de maíz y tiene dos principales orígenes: el almidón y el aceite. El almidón tiene alta digestibilidad en aves (90 a 95%) y representa el 90% de la energía del maíz, mientras que el aceite contribuye con el restante 10% (Moraes y Vartorelli, 2006).

El grano está compuesto por un 70 a 75% de almidón, 8 a 10% de proteína y 4 a 5% de aceite, contenidos en tres estructuras: el germen (embrión), el endospermo y el pericarpio. El germen constituye del 10 al 12% del peso seco y contiene el 83% de los lípidos y el 26% de la proteína del grano. El endospermo constituye el 80% del peso seco y contiene el 98% del almidón y el 74% de las proteínas del grano. El pericarpio constituye del 5 al 6% del peso seco e incluye todos los tejidos de cobertura exterior, con un 100 % de fibras (Álvarez, 2006).

1.7. Trabajos relacionados en calidad fisiológica y características estructurales

Martínez-Solis *et al.*, (2010) con el objetivo de establecer una clasificación sobre el vigor de semillas mediante los índices de velocidad de emergencia y germinación en líneas de maíz, utilizando cuatro tamaños de muestra. Efectuaron pruebas de emergencia en arena, germinación estándar y envejecimiento acelerado con 25, 50, 75 y 100 semillas. En cada prueba evaluaron el índice de velocidad de germinación y emergencia, longitud, peso seco de la parte aérea y radícula, porcentaje de germinación y emergencia. En base a sus resultados obtenidos concluyen que para la identificación de líneas de maíz con alto vigor, con los tamaños de muestra estimados, en la prueba de arena proponen como índices de velocidad de emergencia valores superiores a 3, 6, 10 y 13; en la prueba de germinación estándar y de envejecimiento acelerado, proponen valores superiores a 7, 14, 21 y 28, y como índices de velocidad de germinación valores de 9, 18, 31 y 42.

Salinas-Moreno *et al.*, (2010) determinaron la calidad de maíces comerciales y precomerciales, para la elaboración de harinas nixtamalizadas, masa y tortilla, producidos en entidades ubicadas en el trópico húmedo y sub-húmedo de México. La calidad la evaluaron en términos de características físicas de grano y variables de nixtamalización; en tortilla se determinó textura y color. Todas las muestras fueron de grano blanco. La mayoría de los maíces analizados posee características de calidad adecuadas para la industria de la masa y la tortilla. Particularmente, los maíces de Veracruz destacaron por su buen rendimiento

en los productos que comercializa esta industria. El maíz V-454-C10 del estado de Tamaulipas, cumplió todos los requerimientos de calidad de la industria de harinas nixtamalizadas; el maíz H-561 de Chiapas, aunque no cumplió con el porcentaje de endospermo vítreo, se aproximó mucho al valor requerido por lo que también puede ser considerado como adecuado para este fin.

Méndez-Natera *et al.*, (2008) determinaron la relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) tratadas y no tratadas con vitavax (carboxin), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Mill.). lo cual se sometieron a diferentes periodos de imbibición (1, 4, 8, 12 y 14 horas). Obteniendo que la germinación de las semillas de maíz sin tratar disminuyó con incrementos de los tiempos de imbibición, similar tendencia tuvieron las semillas de quinchoncho, mientras que para las semillas de caraota disminuyó hasta las 8 horas para luego incrementarse, la germinación de las semillas de maíz tratado fue muy baja (< 12%). Por ende No encontraron una relación entre la tasa imbibición y los porcentajes de germinación en ninguno de los cultivos estudiados.

Gutiérrez-Hernández *et al.*, (2007) Para detectar y cuantificar los daños causados por el envejecimiento natural sobre algunos eventos iniciales de la germinación seminal y del crecimiento inicial de las plántula, efectuaron el análisis de componentes físicos y fisiológicos de semillas de dos edades (19 y seis años), de dos cruza simples de maíz y de sus líneas progenitoras. Las semillas estuvieron almacenadas sin control de temperatura ni humedad. En base a esto el envejecimiento de las semillas no repercutió en su contenido de

humedad ni sobre la integridad del pericarpio, pero sí menoscabó su potencial metabólico, en términos de viabilidad y de protrusión radicular. Los valores de correlación evidenciaron que el potencial metabólico de las semillas (viabilidad) repercutió directamente sobre su germinación; en tanto que la pérdida de metabolitos celulares (lixiviación), incidió de manera adversa en su germinabilidad. La lixiviación de solutos de las semillas de mayor edad fue significativamente más cuantiosa, con respecto a las más jóvenes, por lo que es posible considerarla como signo de deterioro.

Pérez-De la Cerda *et al.*, (2007), evaluaron 56 cruzas simples de maíz (*Zea mays* L.) con diferente tipo de endospermo, desde harinoso hasta cristalino, para establecer la relación entre características estructurales y calidad fisiológica de la semilla. Realizaron pruebas de calidad industrial: textura por disección, para obtener los porcentajes de pedicelo, pericarpio, germen, almidón harinoso y almidón córneo; y calidad fisiológica: prueba estándar de germinación, de frío y de vigor en microtúnel en semillas con y sin envejecimiento acelerado. Los resultados mostraron respuesta diferencial entre genotipos, mayor vigor y calidad fisiológica conforme aumentó la proporción de endospermo córneo. Finalmente con el análisis de correlación canónica de las pruebas de germinación estándar y de frío confirmó la conclusión principal de este estudio, en el sentido de que la mayor expresión de vigor corresponde a los genotipos con endospermo córneo.

Pérez-Mendoza *et al.*, (2006) evaluaron el tamaño de semilla y su relación con la calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje, mediante dos

fases: en la primera evaluaron la calidad física de la semilla a través de su caracterización por forma y tamaño (plano grande y medio); en la segunda analizaron la calidad fisiológica, mediante pruebas de germinación estándar en laboratorio y de vigor en microtúnel y en campo. Los parámetros que más determinaron la calidad física en variedades de maíz con potencial forrajero fueron el peso de mil semillas y la longitud de la misma. Para la calidad fisiológica en laboratorio, los pesos secos de la plántula y de raíz fueron los de mayor relevancia y en microtúnel el peso seco de la parte aérea y la velocidad de emergencia.

Mendoza *et al.*, (2004) estudiaron los cambios en el desarrollo y maduración de la semilla en la germinación, vigor de plántula, peso volumétrico y peso de 1000 semillas. Con ello encontraron el máximo porcentaje de germinación y vigor cuando la humedad de la semilla se redujo de 40 a 20%. La respuesta de los muestreos de 106 a 121 días después de la siembra fue pobre para determinar la calidad de la semilla. También encontraron mayor vigor y germinación en la semilla ubicada en la parte basal y media de la mazorca. Estos resultados revelan que la madurez fisiológica no es el mejor indicador de la máxima calidad de la semilla sino la acumulación de materia seca.

Molina-Moreno *et al.*, (2003) estudiaron los cambios en la germinación y vigor de la semilla de maíz durante su desarrollo para determinar la fase en que las semillas alcanzan la madurez y máxima calidad fisiológica. Ellos concluyen que es posible asociar los cambios fenológicos de las semillas de maíz con los niveles de calidad fisiológica de las mismas. Y que la máxima

calidad fisiológica (germinación y vigor) de las semillas de maíz no siempre coincidió con la máxima acumulación de materia seca, pero se asoció mejor con la aparición de la capa negra.

CAPÍTULO 2. ARTÍCULOS

2.1 Diversidad morfológica de poblaciones de maíces nativos del estado de Tabasco, México

Titulo abreviado: Diversidad morfológica de maíz

Diversidad morfológica de poblaciones de maíces nativos del estado de Tabasco, México

Morphological diversity of native maize populations in the state of Tabasco, Mexico

Pedro Guillén-de la Cruz¹, Efraín de la Cruz-Lázaro², Sergio Alfredo Rodríguez-Herrera¹, Guillermo Castañón-Nájera³, Armando Gómez-Vázquez¹, Alejandro Javier Lozano-del Río⁴

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Unidad Laguna. Programa de Postgrado en Ciencias Agrarias. Periférico y Carretera a Santa Fe S/N, Ejido San Antonio de los Bravos. C.P. 27000. Torreón, Coahuila, México.

²División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, km 25+2 Carretera Villahermosa-Teapa. Ranchería la Huasteca 2da. Secc., C.P. 86280. Centro, Tabasco, México. efrain.delacruz@ujat.mx

³División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Cárdenas, km 0.5 s/n, entronque a Bosques de Saloya. C.P. 86150. Villahermosa, Tabasco, México.

⁴Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Programa de Cereales. Buenavista, C.P. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

RESUMEN

En muchas regiones de México, los agricultores tradicionales conservan poblaciones de maíces nativos o criollos. En este estudio se caracteriza y clasifica la variabilidad morfológica de 71 poblaciones de maíces nativos del estado de Tabasco, México. Las poblaciones se sembraron en el ciclo primavera-verano 2011, en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron 17 variables morfológicas de planta, mazorca, olote y grano; el análisis de varianza encontró diferencias significativas en 14 de las 17 variables; mientras que el análisis de componentes principales determinó que con los tres primeros componentes se explica el 92,3% de la variación total, aportando los mayores valores a la diversidad las variables peso de mazorca, peso de olote y días a floración femenina. Con base en el análisis de conglomerados, se puede inferir

que existe diversidad genética en las colectas de maíces nativos, lo que permitió clasificarla en cuatro grupos a una distancia de 1,15 unidades. Según las características morfológicas de las poblaciones el 85,9% están relacionadas con la raza Tuxpeño.

Palabras clave: *Zea mays* L., Variación fenotípica, conservación *in situ*, recursos genéticos.

ABSTRACT

Traditional farmers keep native or criollo maize populations in many regions of Mexico. This study describes and characterization of the morphological variability of 71 populations of native maize of the state of Tabasco, Mexico. Populations were planted in the 2011 spring-summer cycle in the Campo Agrícola Experimental of the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, in a completely randomized block design with four repetitions. Seventeen morphological characters were evaluated for plant, ear, cob and grain. Significant differences were found in 14 of the 17 characters with a variance analysis. A principal components analysis established that 92,3% of the total variation was explained by the first three principal components, with the characters ear weight, cob weight and days to female flowering providing the greatest values for diversity. A cluster analysis showed genetic diversity among the native maize samples, with four groups at a distance of 1,15 units, following the morphological characteristics of Tuxpeño race was in the 85,9% of the evaluated populations.

Key words: *Zea mays* L., phenotypic variation, *in situ* conservation, genetic resources

INTRODUCCIÓN

En México, el maíz tiene gran importancia económica y social. Se cultiva en una gran variedad de agroecosistemas, desde el nivel del mar hasta los 3,000 msnm, en climas tan diversos que van desde los tropicales húmedos hasta los templados fríos de montaña (22), lo que es posible por la gran cantidad de poblaciones nativas que cultivan los agricultores tradicionales, las cuales se agrupan en alrededor de 59 razas (21). El germoplasma contenido en estas poblaciones nativas o criollas y en los parientes silvestres del maíz, constituye un recurso genético de suma importancia para el futuro de la producción de maíz (17).

La variabilidad genética del maíz, se debe a los mecanismos que operan en los procesos evolutivos de los organismos, tanto de forma espontánea como bajo domesticación. En gran medida, la diversidad del maíz se puede atribuir a la selección practicada por el hombre desde su domesticación, así como a los numerosos nichos ecológicos y a los efectos ambientales que cada condición climática ejerce sobre las poblaciones para determinar su adaptación (2). Dicha diversidad ha sido objeto de estudio con diversos propósitos, siendo uno de éstos conocer la variabilidad y plantear su clasificación en razas (14).

Para el ordenamiento de la diversidad, se han realizado caracterizaciones basadas en atributos agronómicos, morfológicos, fisiológicos y moleculares.

Mientras que para su clasificación se han aplicado varios métodos estadísticos, entre los que destacan las técnicas multivariadas que permiten una interpretación más completa del fenómeno (2). Uno de los primeros trabajos que aplicó el análisis multivariado para estudiar la diversidad del maíz fue el de Goodman (7); posteriormente se han utilizado diversas técnicas multivariadas para clasificar la diversidad del maíz, como el análisis de conglomerados (4, 6, 8, 9, 10) y el análisis de componentes principales (3, 9, 10, 14, 16).

En muchas regiones de México, los agricultores tradicionales mantienen miles de poblaciones criollas o variedades nativas, al reproducirlas de generación en generación; son ellos quienes contribuyen a su diversidad y conservación (8). Al respecto, Ramírez *et al.* (20) reportan que en el estado de Tabasco el uso de semilla mejorada es menor al 30%, por lo que los agricultores dependen de sus recursos genéticos regionales o locales, así como del conocimiento acumulado y plasmado en sus sistemas tradicionales de producción. De la superficie sembrada con maíz en el estado de Tabasco, el 80% se siembra en el ciclo primavera-verano en condiciones de temporal y el 20% restante se siembra en el ciclo otoño-invierno en condiciones de tonalmil, que se logra con la humedad residual del temporal y las lluvias ocasionadas por los vientos del norte (23).

Se estima que en los estados de Tabasco, Chiapas, Yucatán y Oaxaca, se siguen cultivando 35 de las 59 razas de maíz presentes en México. En particular, en el estado de Tabasco se reportan las razas Theua, Zapalote grande, Olotillo, Tuxpeño y Vandefío (19). El estudio de la diversidad fenotípica y el tipo de raza a la que pertenecen los maíces nativos del estado de Tabasco está poco

documentada, debido a que no se ha estudiado, recolectado y caracterizado de forma extensiva la diversidad morfológica del maíz que siembran los agricultores tradicionales (23). Por lo anterior es recomendable realizar trabajos que permitan generar este tipo de información, como prerequisite para delinear estrategias para su aprovechamiento integral. En el contexto anterior, el objetivo del presente estudio fue caracterizar la diversidad morfológica del maíz nativo que se siembra en los campos de cultivo de los agricultores tradicionales del estado de Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estado de Tabasco se encuentra situado en el sureste de la República Mexicana, entre los 17° 15' y 18° 39' de latitud Norte, y los 91° 00' y 94° 17' de longitud Oeste; sobre la llanura costera del Golfo de México, con clima cálido húmedo (5). Tiene una extensión territorial de 24,661 km², y representa el 1.3% del territorio nacional (1).

Las 71 poblaciones de maíces nativos del estado de Tabasco se colectaron de octubre 2010 a febrero 2011, al explorar comunidades de 14 municipios del estado de Tabasco, México (Figura 1). De cada población considerada como diferente por los agricultores de las comunidades, se colectaron entre 15 y 20 mazorcas. En la siembra, además de las 71 poblaciones de maíces nativos, se sembró la variedad VS-536 del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), y el híbrido A7573 de la compañía Asgrow.



Figura 1. Ubicación de las 71 poblaciones de maíces nativos colectadas en el estado de Tabasco, México.

Figure 1. Location of the 71 native maize populations collected in the state of Tabasco, Mexico.

La siembra de las 71 poblaciones y de los dos maíces mejorados, se efectuó en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, ubicado entre los 92° 57' 15" de longitud Oeste y los 17° 47' 15" de latitud Norte con altura de 22 msnm (5). La siembra, se realizó el 16 de junio de 2011 a "tapa pie", que es la forma de siembra de los agricultores tradicionales del estado. Se depositaron dos semillas por punto para luego realizar un aclareo a una planta. La

fertilización se realizó con la formula 100 – 50 – 30 (N, P, K), aplicando la mitad del N y K, y todo el P al momento de la siembra y la otra mitad del N y K a los 30 días después de la siembra. El experimento se condujo bajo condiciones de temporal durante todo el ciclo del cultivo, en el que se presentaron problemas de exceso de lluvias y la presencia de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) que se controló con una dosis de 0,75 L/ha de Lorsban*480 EM (3,5,6-tricloro-2-piridinil). El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por tres surcos de 4,0 m de largo, con distancias entre planta de 0,30 m y entre surco de 0,70 m.

El registro de la información de las variables se realizó con base en los criterios de los descriptores para maíz del International Board for Plant Genetic Resources (11). En cada unidad experimental se marcaron 20 plantas cuando presentaban 10 hojas liguladas. Posteriormente, en 10 plantas se determinó la altura de planta, altura de mazorca, diámetro de tallo y largo de espiga en cm. También se registro la floración masculina y femenina en días después de la siembra, cuando el 50% de las plantas de la unidad experimental presentaban anteras dehiscentes y emisión de estigmas en la estructura reproductiva femenina (jilote) superior, respetivamente. En cosecha, se tomaron 10 mazorcas con brácteas provenientes de las plantas seleccionadas y en ellas se midió el largo de mazorca y diámetro medio de la mazorca en cm, peso de mazorca en g, número de hileras y número de granos por hilera. De cada mazorca se tomaron 10 granos para medir ancho, largo y grosor en cm y el peso promedio de 100 granos en g. Del olote se midió el

peso en g y el diámetro medio de olote en cm, con el peso de olote y el peso de la mazorca se calculo el porcentaje de olote.

Con los valores de las 17 variables evaluadas en las 71 poblaciones de maíz se realizó un primer análisis de varianza con un modelo lineal de bloques completos al azar, para probar la existencia de diferencias entre poblaciones. Posteriormente se llevó a cabo un primer Análisis de Componentes Principales (ACP) con las 17 variables evaluadas y estandarizadas a $\mu=0$ y $\sigma^2=1$. Este análisis permitió determinar que con los tres primeros componentes principales (CP), se describe el 92,3% de la variación total, y que 10 variables tuvieron mayor importancia en la descripción de la variabilidad de las poblaciones de maíces nativos colectados.

Con los datos promedios normalizados y estandarizados de las variables seleccionadas de las 71 poblaciones de maíces nativos, de la variedad VS-536 y el híbrido A7573; se realizó un análisis de conglomerados jerárquicos mediante el métodos de ligamiento promedio. La medida de disimilitud fue la distancia euclidiana (12). Ambos procedimientos estadísticos se realizaron con el SAS 9.2 (24).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza de las 71 poblaciones de maíces nativos detectó diferencias significativas en 14 de las 17 variables evaluadas (Tabla 2), de las cuales nueve presentaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) y cinco diferencias significativas ($p < 0,05$). Mientras que las variables largo de espiga,

largo de mazorca y número de granos por hilera no tuvieron efectos significativos. La detección de diferencias estadísticas entre las poblaciones, es un indicador de la diversidad genética entre las poblaciones, así como del nivel de variación presente en las variables evaluadas en el estudio. Lo cual coincide con (9, 10, 14, 15) quienes mencionan que las poblaciones de maíces nativos presentan variabilidad en sus características morfológicas. Esta variabilidad también puede ser atribuible a la selección que ha practicado el productor para características de interés particular. En lo referente al coeficiente de variación (CV), se encontraron valores entre 3,9% para días a floración masculina y 35,4% para largo de mazorca; presentando una mayor variación (CV = 20,0%) las variables altura de mazorca, peso de mazorca, largo de mazorca y porcentaje de olote. Al respecto, se conoce que en el cultivo del maíz es muy común tener altos CV, sobre todo en poblaciones de maíces nativos provenientes de semillas de polinización libre (10, 13, 14). Todo esto indica que los agricultores tradicionales del estado de Tabasco manejan una gran variabilidad morfológica en sus poblaciones de maíces nativos.

Tabla 1. Cuadros medios, media y coeficiente de variación de 17 variables evaluadas en 71 poblaciones de maíces nativos del estado de Tabasco, México.

Table 1. Mean squares, averages and variation coefficient of 17 characters evaluated in 71 native maize populations of the state of Tabasco, Mexico.

Variables	Cuadros medios	Media	CV
------------------	-----------------------	--------------	-----------

Altura de planta (cm)	0,2**	2,1	11,4
Altura de mazorca (cm)	0,1**	0,9	20,3
Días a floración masculina (días)	35,1**	65,2	3,9
Días a floración femenina (días)	52,3**	70,3	5,2
Largo de espiga (cm)	47,6	42,8	14,7
Diámetro de tallo (cm)	7,8*	1,4	16,3
Peso de mazorca (g)	756,8*	86,2	25,5
Largo de mazorca (cm)	22,7	15,8	35,4
Diámetro medio de mazorca (cm)	16,5**	3,8	7,6
Número de hileras por mazorca	2,8**	11,0	9,0
Número de granos por hilera	27,5	27,5	16,5
Ancho de grano (cm)	0,6*	0,9	7,0
Largo de grano (cm)	1,5**	1,0	8,3
Grosor de grano (cm)	0,8**	0,5	13,4

Peso de 100 granos (g)	39,5*	30,3	16,9
Diámetro medio de olote (cm)	18,0*	2,2	16,2
Porcentaje de olote (%)	55,7**	17,0	30,4

*= P 0,05 y ** = P 0,01.

CV= coeficiente de variación.

CV=variation coeficient.

El ACP, aplicado a los promedios de las 17 variables de cada población, encontró que con los tres primeros CP se puede explicar el 92,3% de la variación fenotípica total, el CP1 explicó el 81,9% de la variación, siendo las variables peso de mazorca (0,968), peso de 100 granos (0,129), número de granos por hilera (0,124), diámetro medio de mazorca (0,106) y porcentaje de olote (0,100) las que más explican la variabilidad. Mientras que el CP2 explicó el 6,8% de variación, siendo las variables porcentaje de olote (0,604), días a floración femenina (0,415), peso de 100 granos (0,374), días a floración masculina (0,316) y diámetro medio de olote (0,296) las que más contribuyen a la explicación de la variabilidad. En tanto, que el CP3 sólo explicó el 3,6% de la variabilidad total, contribuyendo con las mayores proporciones las variables días a floración femenina (0,509) y masculina (0,463), largo de espiga (0,215), peso de 100 granos (0,186) y número de granos por hilera (0,178). Las variables originales con mayor influencia en el CP1 fueron de mazorca y olote. Mientras que en el CP2, las variables de mayor

valor discriminativo fueron dos de planta, una de grano y dos de olote. En lo referente al CP3 se observa que fue influenciado por tres variables de planta, una de mazorca y una de grano (Tabla 3). Las 10 variables seleccionadas en el análisis de componentes principales, como las de mayor valor discriminatorio de la diversidad, coinciden con los reportados por Diego-Flores *et al.*, (3); Martín *et al.*, (15) y Nava y Mejía (18) en la evaluación de la diversidad morfológica de poblaciones nativas de maíces de diferentes regiones de México. Por lo que, se infiere que son variables estables, que no se alteran por el ambiente y que son útiles para la clasificación morfológica de las poblaciones de maíces nativos del estado de Tabasco.

Tabla 2. Vectores propios de los tres primeros componentes principales medidos en 71 poblaciones de maíces nativos del estado de Tabasco, México.

Table 2. Vectors for the first three principal components recorded in 71 native maize populations of the state of Tabasco, Mexico.

Variables	CP1	CP2	CP3
Altura de planta (cm)	-0,001	0,015	0,009
Altura de mazorca (cm)	-0,001	0,001	0,009
Días a floración masculina (días)	-0,048	0,316	0,463

Días a floración femenina (días)	-0,052	0,415	0,509
Largo de espiga (cm)	0,013	0,197	0,215
Diámetro de tallo (cm)	-0,011	0,064	0,041
Peso de mazorca (g)	0,968	-0,074	0,073
Largo de mazorca (cm)	0,046	0,139	0,015
Diámetro medio de mazorca (cm)	0,106	0,101	-0,078
Número de hileras por mazorca	0,012	0,039	-0,106
Número de granos por hilera	0,124	-0,212	0,178
Ancho de grano (cm)	0,011	0,003	0,021
Largo de grano (cm)	0,029	-0,049	0,059
Grosor de grano (cm)	-0,005	0,087	-0,020
Peso de 100 granos (g)	0,129	0,374	0,186
Diámetro medio de olote (cm)	0,030	0,296	-0,302
Porcentaje de olote (%)	0,100	0,604	-0,541

carácter que explica mayor variación

characters explain more variation

En el análisis de conglomerados se identificaron cuatro grupos fenotípicos (Figura 2), la asociación entre poblaciones inició a una distancia de 0,25 unidades, y se intensificó rápidamente hasta las 0,68 unidades, para finalmente dejar diferenciados cuatro grupos a una distancia de 1,15 unidades. Los grupos I, II, III IV, se formaron con 61, 6, 3, y 1 poblaciones, respectivamente. A distancias más cortas también se observan subgrupos claramente definidos, que podrían utilizarse para lograr mayor grado de precisión en la agrupación o explicación de las relaciones de parentesco de las poblaciones; en estos subgrupos los niveles de parentesco son más estrechos, lo que sugiere que son poblaciones provenientes de la misma fuente de germoplasma (18). Debido a lo difícil de interpretar del análisis gráfico, por el número de poblaciones evaluadas, es recomendable enriquecer la interpretación con los valores medios de las variables de cada grupo identificado en el dendograma.

El grupo I (Tabla 3), se formó con 61 de las 71 poblaciones evaluadas, de ciclo precoz con floración masculina y femenina de 64,9 y 69,6 días, respectivamente. Entre las características sobresalientes del grupo se encuentra que son maíces de 214,0 cm del altura, largo de mazorca de 16,6 cm, peso de mazorca de 90,8 g, granos 1,0 cm de largo, y peso de 100 granos de 28,2 g.

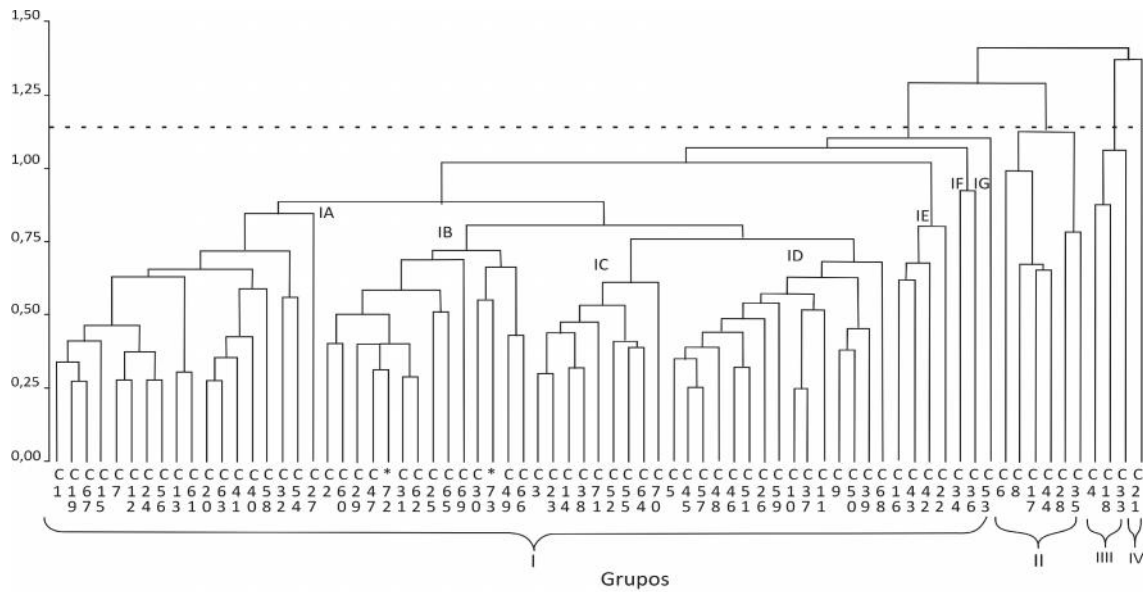


Figura 2. Dendrograma de 71 poblaciones de maíz y dos maíces mejorados, basado en la media de 10 variables. *72 = VS-536 y *73 = A7573.

Figure 2. Dendrogram of 71 native maize populations and two improved maize based on 10 character average. *73 = VS-536 and 74 = A7573.

Un análisis más detallado revela que al interior del grupo I se formaron siete subgrupos, formados por 18 (IA), 12 (IB), 9 (IC), 15 (ID), 4 (IE), 2 (IF) y 1 (IG) poblaciones, respectivamente. De estos subgrupos se identificó al subgrupo IB con características de maíces acriollados. Durante la colecta de algunas de estas poblaciones, los agricultores mencionaron que algunas veces siembran surcos de maíces mejorados junto a los maíces nativos, aunque es muy común observar que junto a las parcelas de maíces nativos se encuentren siembras con maíces mejorados. Este subgrupo se integró con 12 poblaciones, la variedad VS-536 y el híbrido A7573. Sobre la variedad VS-536 se sabe que fue desarrollada por el

INIFAP con líneas adaptadas a la región tropical de México, las cuales provienen de la raza Tuxpeño; mientras que el híbrido A7573 es un material mejorado para elote por la iniciativa privada. Por lo que la agrupación de las 12 poblaciones nativas con la variedad VS-536 y el híbrido A7573; puede indicar que provienen de cruzas entre maíces criollos y mejorados o que son generaciones avanzadas de maíces mejorados. Mientras que el subgrupo IF se formó con las poblaciones 34 y 36 provenientes de los municipios de Comalcalco y Tacotalpa, respectivamente. Sobre la población 36 se sabe que tiene características de las razas Tuxpeño y Olotillo (23), por lo que se puede inferir que la población 34 también proviene de esta mezcla de razas. Debido a que los subgrupos IB y IF tuvieron en su constitución genética a la raza tuxpeño, se puede inferir que las 61 poblaciones del grupo I pertenecen a la raza Tuxpeño, por lo que el 85,9% de las colectas estudiadas tienen características de la raza Tuxpeño, pero es de esperarse que los subgrupos no identificados tengan mezclas donde predomine la presencia de la raza Tuxpeño con otras razas como Olotillo, Tepecintle, Tehua, Vandeño y Zapalote grande. Estudios donde se ha observado una mayor presencia de la raza Tuxpeño y mezclas de esta raza con las otras razas presentes en el estado, fueron realizados por Sierra *et al.* (23). Por lo que sería recomendable que en próximos estudios se incluyan las cinco razas presentes en el estado para poder identificar la raza o la mezcla a la que pertenecen las poblaciones que se están estudiando.

El subgrupo IA se formó con 18 poblaciones que se realizaron en los municipios de Balancán (población 67), Cárdenas (poblaciones 54 y 56), Centro (población 1),

Comalcalco (poblaciones 32, 40 y 41), Cunduacán (población 15), Huimanguillo (población 12), Jalpa de Méndez (población 27), Jalapa (poblaciones 19 y 20), Nacajuca (población 24), Tacotalpa (poblaciones 7, 58, 61 y 63) y Teapa (población 13). Mientras que el subgrupo IC se formó con nueve poblaciones realizadas en los municipios de Tacotalpa (poblaciones 3, 38, 52 y 55) Teapa (poblaciones 14, 23 y 64), Balancán (población 70) y Macuspana (población 71). En lo referente al subgrupo ID se formó con 15 poblaciones colectadas en los municipios de Balancán (poblaciones 46, 48, 50 y 68), Cárdenas (población 11), Nacajuca (poblaciones 10 y 26), Tacotalpa (poblaciones 5, 9, 37, 39, 51, 57 y 59) y Tenosique (población 45), con características de bajo peso de mazorca. Mientras que el subgrupo IE se formó con cuatro poblaciones provenientes de los municipios de Jalapa (población 16), Teapa (población 22) y Tenosique (poblaciones 42 y 43). El grupo IG se formó sólo con la población 53 proveniente del municipio de Cárdenas, la cual presentó el mayor peso y largo de mazorca, precocidad menor de 66 días floración masculina y femenina, además de presentar el grano de mayor tamaño de todos los subgrupos del grupo I.

Aunque a las poblaciones que forman los grupos II, III y IV no se les determinó la raza principal a la que pertenecen, se puede realizar una descripción de las características principales de cada uno de ellos. El grupo II se formó con seis poblaciones de los municipios de Cárdenas (población 35), Jalapa (población 17), Tacotalpa (poblaciones 6, 8 y 28) y Tenosique (población 44), con plantas tardías a floración femenina (75,1 días); con los menores valores de peso de mazorca, peso de 100 granos, número de granos por hilera, diámetro y largo de mazorca.

Mientras que el grupo III se formó con 3 poblaciones provenientes de los municipios de Cárdenas (población 33), Macuspana (población 18) y Tacotalpa (población 4), que se caracterizan por ser tardíos, presentar los mayores valores de altura de planta y mazorca, largo de mazorca, número de hileras por mazorca, tamaño de grano y peso grano. Mientras que el grupo IV se formó sólo con la población 21 que fue colectada en el municipio de Jalapa, la cual se caracteriza por tener el mayor peso promedio de mazorca, número de granos por hilera y el menor número de número de hileras, días a floración masculina y los granos de menor grosor, pero en contra parte presenta los mayores valores de ancho y largo de grano.

Tabla 3. Promedios de las variables morfológicas de grupos fenotípicos obtenidos a través del agrupamiento de maíz del estado de Tabasco, México.

Table 3. Morphological characters averages of the phenotypic groups obtained through grouping of maize of the state of Tabasco, Mexico.

Variables	Promedio de cada grupo			
	I(61)	II(6)	III(3)	IV(1)
Altura de planta (cm)	214,0	203,0	215,0	182,0
Altura de mazorca (cm)	86,0	83,0	92,0	83,0
Días a floración masculina	64,9	69,4	71,3	63,7

(días)				
Días a floración femenina	69,6	75,1	77,8	69,7
(días)				
Largo de espiga (cm)	40,9	42,6	44,4	49,8
Diámetro de tallo (cm)	1,4	1,5	1,5	1,4
Peso de mazorca (g)	90,8	80,9	110,0	124,0
Largo de mazorca (cm)	16,6	12,6	19,2	18,0
Diámetro medio de mazorca				
(cm)	3,7	3,4	4,0	4,6
Número de hileras por				
mazorca	10,5	10,5	11,0	8,8
Número de granos por				
hilera	28,2	21,2	29,4	35,6
Ancho de grano (cm)	0,9	0,9	0,9	1,2
Largo de grano (cm)	1,0	0,9	1,0	1,1
Grosor de grano (cm)	0,5	0,5	0,6	0,4
Peso de 100 granos (g)	28,2	26,5	39,4	38,0
Diámetro medio de olote	2,1	1,9	2,5	1,8

(cm)

Porcentaje de olote (%)	15.7	10,3	30,6	14,7
-------------------------	------	------	------	------

CONCLUSIONES

Las evidencias del estudio confirman que hay diversidad morfológica en las poblaciones de maíces nativos del estado de Tabasco, que debe de conservarse y aprovecharse en programas de mejoramiento genético. El análisis de componentes principales determinó que las variables que más explican la diversidad morfológica de las poblaciones son los días a floración masculina y femenina, el peso y largo de mazorca, el diámetro medio de mazorca, el número de granos por hilera, el peso de 100 granos, el porcentaje de olote, el diámetro medio de olote y el largo de espiga. El análisis de conglomerados determinó la formación de cuatro grupos que se formaron con 61, 6, 3 y 1 poblaciones, predominando por las características morfológicas la raza Tuxpeño en el 85,9% de las poblaciones de maíces evaluados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Barba-Macías, E.; Rangel-Mendoza, J.; Ramos-Reyes, R. 2006. Clasificación de los humedales de Tabasco mediante sistema de información geográfica. *Universidad y Ciencia* 22:101-110.

2. Carballoso, T. V.; Mejía, C.A.; Balderrama, C. S.; Carballo, C.A.; González, C. F. 2000. Divergencia en poblaciones de maíz nativas de Valles Altos de México. *Agrociencia* 34:167.174.
3. Diego-Flores, P.; Carrillo-Rodríguez, J. C.; Chávez-Servia, J. L.; Castillo-González, F. 2012. Variabilidad en poblaciones de maíz nativo de la Mixteca Baja Oaxaqueña, México. *Rev. FCA. UNCUYO* 44: 157.171.
4. Espinosa-Trujillo, E.; Mendoza-Castillo, M.C.; Castillo-González, F. 2006. Diversidad fenotípica entre poblaciones de maíz con diferentes grados de pigmentación. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29 (Num. Especial 2): 19-23.
5. García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de KÖPPEN (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 5ª Ed. Instituto de Geografía. UNAM. México. 90 p.
6. González, H.A.; Pérez, L. D. J.; Franco, M. O.; Nava, B. E. G.; Gutiérrez, R. F.; Rubí, A. M.; Castañeda, V.A. 2011. Análisis multivariado aplicado al estudio de las interrelaciones entre cultivares de maíz y variables agronómicas. *Ciencias Agrícolas Informa* 20: 58-65.
7. Goodman, M. M. 1967. The races of maize. The use of mahalanobis generalized distances to measure morphological similarity. *Fitotecnia Latinoamericana* 4:1-22.

8. Herrera-Cabrera, B. E.; Castillo-González, F.; Sánchez-González, J.J.; Hernández-Casillas, J. M.; Ortega-Pazkca, R. A.; Major-Goodman, M. 2004. Diversidad del maíz chalqueño. *Agrociencia* 38: 191-206.
9. Hortelano, S. R. R.; Gil, M. A.; Santacruz, V. A.; López, S. L.; López, P. A.; Miranda, C. S. 2012. Diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35: 97–109.
10. Hortelano, S. R. R.; Gil, M. A.; Santacruz, V. A.; Miranda, C. S.; Córdova, T. L. 2008. Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. *Agricultura Técnica Mexicana* 34:189-200.
11. International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). 1991. Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center. México City/IBPGR. Rome, Italy. 88 p.
12. Johnson, D.E. 2004. Métodos multivariados aplicados al análisis estadístico. International Thomson Editores. México. 566 p.
13. Ligarreto, M. G.; Bellén, P. A.; Huerta, B. D. 1998. Evaluación de las características cuantitativas de 25 accesiones de maíz (*Zea mays* L.) de la zona Andina. *Revista Corpoica* 2: 1-5.
14. López, R. G.; Santacruz V. A.; Muñoz, O. A.; Castillo, G. F.; Córdova T. L.; Vaquera H. H. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del istmo de tehuantepec, México. *Interciencia* 30: 284-290.

15. 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.; Guerrero, H. M. J. 2008. Caracterización agronómica y morfológica de maíces nativos del noroccidente de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 331-340.
16. Mijangos-Cortes, J. O.; Corona-Torres, T.; Espinosa-Victoria D.; Muñoz-Orozco, A.; Romero-Peñaloza, J.; Santacruz-Varela, A. 2007. Differentiation among maize (*Zea mays* L.) landraces from the Tarasca Mountain Chain, Michoacan, Mexico and the Chalqueño complex. *Genetic Resources and Crop Evolution* 54:309-325.
17. Nadal, A. 2000. En el NAFTA: Variabilidad genética y liberalización comercial. *Biodiversidad* 24: 3-12.
18. Nava, P.F.; Mejía, C.J.A. 2002. Evaluación de maíces precoces e intermedios en Valles Altos Centrales de México. II. Divergencia genética. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25: 187-192.
19. Perales, R.H.; Hernández-Castillas, J. M. 2005. Diversidad del maíz en Chiapas. En: González-Espinoza, M.; Ramírez-Marcial, N.; Ruíz-Montoya, L. (Eds.) *Diversidad biológica de Chiapas*. Plaza y Valdés/ECOSUR/COCYTECH. México, D.F. pp: 337- 355.
20. Ramírez, V. P.; Barrios, C. L.; Jiménez, J. E.; Zavala, J. F. 2000. Entorno de los recursos fitogenéticos de México. En: Ramírez, V. P.; Ortega, P. R.; López, H. A; Castillo, G. F; Livera, M. M.; Rincón, S. F.; Zavala, G. F. (eds.). *Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura*,

Informe Nacional. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. Chapingo, México. pp: 11-76.

21. Sánchez, G. J. J.; Goodman, M.M.; Stuber, C. W. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. *Economic Botanic* 54:43-59.
22. Serratos, H.J.A. 2009. El origen y la diversidad del maíz en el continente Americano. Greenpeace–UACH. 33p.
23. Sierra, M. M.; Barrón, F. S.; Palafox, C. A.; Meneses, M. I.; Francisco, N. N.; Rodríguez, M. F.; Hernández, C. J. M.; Ortega, C. A. 2010. Diversidad y distribución de variedades criollas de maíz en el estado de Tabasco, México. En: Castañeda, M. O. G.; Báez, R. U. A.; López, A. N. C.; Sánchez, D. D. C. (Eds.) *Memorias XXII Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco 2010*. Villahermosa, Tabasco. pp: 57-64.
24. Statistical Analysis System (SAS). 2003. The analyst application. Second Edition. SAS Institute Inc. 2003. Institute Inc. Cary. NC. USA. 480p.

2.2 Calidad fisiológica en semillas de maíces criollos con diferencias estructurales.

(Título corto) **Calidad fisiológica de semillas de maíces con diferencias estructurales**

CALIDAD FISIOLÓGICA EN SEMILLAS DE MAÍCES CRIOLLOS CON DIFERENCIAS ESTRUCTURALES

PHYSIOLOGICAL QUALITY IN SEEDS OF MAIZE LANDRACES WITH STRUCTURAL DIFFERENCES

Pedro Guillén-de la Cruz, Efraín de la Cruz-Lázaro, Sergio Alfredo Rodríguez-Herrera, Vicente de Paul Álvarez-Reyna, Vicente Hernandez-Hernandez, Mario García-Carrillo, Ramiro Velázquez-Morales.

(PGDC), (SARH), (VDPAR) (VHH), (MGC) Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Unidad Laguna. Programa de Posgrado en Ciencias Agrarias. Periférico y Carretera a Santa Fe S/N, Ejido San Antonio de los Bravos. C.P. 27000. Torreón, Coahuila, México. pgdelacruz83@hotmail.com

(EDCL) (RVM) División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, km 25+2 Carretera Villahermosa-Teapa. Ranchería la Huasteca 2da. Secc., C.P. 86280. Centro, Tabasco, México.

RESUMEN

Se evaluaron 35 genotipos de maíces criollos para establecer la relación entre la calidad fisiológica y las características estructurales de semillas. El experimento se dividió en dos fases; en la primera se determinaron las variables de peso de grano, endospermo harinoso, endospermo vítreo, pericarpio y germen; y en la segunda fase se realizaron las pruebas de porcentaje de germinación, longitud de plántula, número de semillas muertas, plantas normales y plantas anormales. Se encontraron diferencias ($p < 0.01$) entre genotipos de maíz criollo en las características estructurales y de calidad fisiológica. La comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) detectó diferencias entre los maíces criollos evaluados en las variables estructurales y

de calidad fisiológica. Los coeficientes de correlación detectaron diferencias significancia ($p < 0.05$) entre la variable estructural peso de grano y las de calidad fisiológica de vigor y germinación. Mientras que el tipo de endospermo vítreo presentó significancia ($p < 0.05$) con las variables plantas anormales, plantas normales, semilla muerta y vigor. El análisis de correlación canónica, detectó que en la variable canónica estructural 1, las variables originales con mayor influencia fueron pericarpio, germen y peso de grano. Mientras que la variable fisiológica 1 estuvo asociada con las variables originales de número de plantas normales, germinación y vigor. El número de plantas anormales, plantas normales y germinación, fueron las que influyeron más en la correlación. De acuerdo al valor de $r=0.7048$, las características estructurales están directamente relacionadas con la calidad fisiológica de la semilla.

Palabras clave: Calidad fisiológica, características estructurales, endospermo vítreo, endospermo harinoso, germinación.

ABSTRACT

Was testing 35 genotypes of maize landraces to establish the relationship between the physiological quality and structural characteristics of seeds. The experiment was divided into two phases, in the first it was determined variables of grain weight, floury endosperm, vitreous endosperm, pericarp and germ, and in the second phase of testing was performed test of germination percentage, seedling length, number of dead seeds, normal and plant abnormal plants. Differences ($p < 0.01$) between genotypes were found in the structural characteristics and physiological quality and the comparison of means (Tukey, $p < 0.05$) detected differences between landraces testing in structural variables and physiological quality. The Pearson's correlation coefficients found significant differences ($p < 0.05$) between the grain weight structural variable and vigor and germination physiological qualities. While the vitreous endosperm type showed significant ($p < 0.05$) with abnormal plant, normal plants, dead seed and vigor variables.

The canonical correlation analysis, detected that in structural canonical variable 1, the original variables most influential were pericarp, germ and grain weight. While the physiological variable 1 was associated with the number of normal plants, germination and vigor original variables. The abnormal plants, normal plants and germination variables, which were considered the more influential in the correlation. According to the value $r=0.7048$, structural characteristics are directly related to physiological quality seed.

Key words: Physiological Quality, structural characteristics, Vitreous Endosperm, Floury Endosperm, germination.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz tiene una importancia social y económica, resulta necesario llevar a cabo trabajos y programas de investigación en producción de semillas que permitan la evaluación e identificación de la calidad en cuanto a germinación y vigor, de manera que garanticen un buen rendimiento y productividad (Vitoria & Méndez 2007). La calidad de la semilla es un concepto basado en la valoración de diferentes atributos (Kelly 1988), los cuales mejoran el establecimiento de la planta en campo, entre los que destacan la calidad genética, la fisiológica, la física y la sanitaria (Basra 1995, Copeland & McDonald 1995). La calidad de la semilla es un estándar de excelencia o atributo que puede determinar el funcionamiento de ésta al momento de la siembra o almacenamiento. Los componentes de calidad de la semilla se pueden agregar en categorías, donde se menciona la descripción, higiene y potencial de funcionamiento; en este último, se toma en cuenta el vigor y la germinación (Hampton 2002).

La germinación de las semillas puede definirse como una serie de procesos metabólicos y morfogénicos, que resultan en la transformación del embrión en una plántula capaz de convertirse en una planta adulta (Méndez-Natera *et al.* 2008). El vigor se define como la sumatoria total de aquellas propiedades de las semillas que determinan el nivel de actividad y la

respuesta de las semillas o de un lote de semillas durante la germinación y emergencia de las plántulas (ISTA 1995). Es por ello que las pruebas de germinación y vigor se recomiendan implementarlas paralelamente, para emitir veredictos integrales sobre la calidad fisiológica, debido a que estas dos pruebas infieren y ayudan a definir la calidad física y fisiológica de la semilla.

En el cultivo de maíz existe gran diversidad en tamaño, forma y composición de la semilla debido a factores genéticos, ambientales y a la ubicación de ésta en la mazorca (Boyer & Hannah 2001).

El grano de maíz constituye aproximadamente el 42% del peso seco de la planta. Existen varios tipos de grano, que se distinguen por las diferencias de los compuestos químicos depositados o almacenados en el endospermo (FAO 1993). Las diferencias estructurales de mayor importancia en la semilla son: tamaño, forma y tipo de endospermo, el cual es el mayor componente de la semilla con aproximadamente el 82%, seguido del germen con el 12%, pericarpio con el 5%, y pedicelo con el 1% (FAO 1993). El grano tiene entre el 70 y 75% de almidón, del 8 al 10% de proteína y del 4 al 5% de aceite. El germen contiene el 83 % de los lípidos y el 26% de la proteína del grano; el endospermo contiene el 98% del almidón y el 74% de las proteínas del grano. El pericarpio incluye todos los tejidos de cobertura exterior, con un 100% de fibras (Álvarez, 2006).

Estudios realizados en campo y laboratorio para determinar el efecto de factores favorables y desfavorables sobre la germinación y la emergencia se encontraron diferencias genotípicas en la capacidad de germinación de la semilla (Pajic *et al.*, 1998). En tanto que Pérez-De la Cerda (2007) al evaluar la calidad fisiológica en semillas de maíces con diferencias estructurales, encontró respuesta diferencial en la calidad fisiológica de los genotipos evaluados. En la actualidad es escasa la literatura que aborda la relación que existe entre los tipos de endospermo y la calidad física y fisiológica de la semilla (Pérez-De la Cerda *et al.* 2007). Motivo por lo cual se desarrolló el presente trabajo, cuyo objetivo fue estudiar la relación que existe entre la calidad

fisiológica y las características estructurales en semillas de 35 genotipos de maíces criollos del estado de Tabasco.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló de octubre de 2010 a junio de 2011, se evaluaron 35 genotipos de maíces criollos de 10 municipios del estado de Tabasco provenientes de la región Grijalva, de los cuales nueve genotipos se obtuvieron de la sub región centro, siete genotipos de la sub región chontalpa y 19 genotipos de la sub región sierra. De cada genotipo se colectaron entre 15 y 20 mazorcas. La investigación se dividió en dos fases; en la primera se determinaron las características estructurales de las semillas en el laboratorio Multidisciplinario de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), localizada en el km 25+2 de la carretera Villahermosa – Teapa, en la Ranchería la Huasteca segunda sección del Municipio de Centro, Tabasco, México. Las características estructurales se midieron en 10 semillas tomadas al azar de la parte media de cinco mazorcas de cada uno de los 35 maíces criollos evaluados. Se obtuvieron los pesos de las estructuras con base en el peso seco del pericarpio, germen, proporción de endospermo harinoso y vítreo mediante la técnica de textura por disección de Salinas & Vázquez, (2006).

En la segunda fase se efectuaron las pruebas de calidad fisiológica, en el laboratorio de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Unidad Laguna, localizada en Periférico y Carretera a Santa Fe S/N, Ejido San Antonio de los Bravos, en Torreón, Coahuila, México. La calidad fisiológica se evaluó de acuerdo con el manual para análisis de semilla de Peretti (1994), siguiendo las normas establecidas por la International Seed Testing Association. El sustrato fue papel de filtro de gran capacidad de absorción y que no se pliega al ser humedecido. Por cada lecho germinativo se cortaron dos rectángulos de papel absorbente de 30 x 25 cm. En la mitad de un rectángulo se marcó una línea central paralela a su eje mayor. Luego

se marcaron otras cinco líneas paralelas, cada una a una distancia de 2 cm de la línea central. A su vez, en la línea central se marcaron 25 puntos distanciados a 1 cm donde se colocó cinta adhesiva. En cada punto se colocó una semilla, de forma tal que el embrión quedó con la radícula orientada hacia abajo. Después que las semillas se pegaron al sustrato, se colocó otro rectángulo por encima, para posteriormente mojar los papeles se mojaron y dejarlos escurrir. Finalmente se enrollaron de forma suave en el sentido de la hilera para formar el taco. Los 35 tratamientos se realizaron por triplicado y se depositaron en bolsas plásticas de ½ kg, para luego colocarlas de forma vertical en un recipiente, que se introdujo en una cámara germinadora marca Thermo Scientific Modelo 818® a 25 ± 1 °C por 7 días. Transcurrido el tiempo del ensayo, se tomaron las variables; porcentaje de germinación estándar, por medio del número de plántulas normales entre el número de semillas totales, cuyos extremos estuvieran situados en los espacios entre las diferentes líneas paralelas; plántulas anormales, las que presentaron malformaciones en raíz y plúmula; semillas no germinadas, que se contó por medio de las semillas que no presentaron estructuras esenciales al finalizar la prueba; prueba de vigor que se tomó mediante la longitud de plántulas, siendo los rangos para medir el vigor la longitud menor de 3 cm se consideró sin vigor; de 3 a 4.9 cm, bajo vigor; de 5 a 6.9 cm, mediano vigor; y mayor de 7 cm, como alto vigor.

En ambas fases se utilizó un diseño completamente al azar, con cinco repeticiones en la primera y tres repeticiones en la segunda fase. Se realizó un análisis de varianza y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Con la finalidad de conocer las relaciones entre las variables estructurales y morfológicas con los valores medios de las variables evaluadas se realizó un análisis de correlación de Pearson (Steel *et al.* 1996) y un análisis de correlación canónica mediante el programa SAS 9.2 (SAS 2003).

RESULTADOS

El análisis de varianza de las variables estructurales y de calidad fisiológica, encontró diferencias estadísticas ($p < 0.01$) entre genotipos en todas las variables evaluadas (Tablas 1 y 2). Mientras que la comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) detectó diferencias entre los maíces criollos evaluados en todas las variables estructurales (Tabla 3). Se observa que el peso de grano de los maíces criollos con mayor valor fueron los identificados con los números 13, 15, 16, 27 y 33; siendo los maíces 13 y 16 los de mayor peso de endospermo harinoso. Para la variable endospermo vítreo el genotipo de maíz criollo identificado con el número 34 registró el mayor peso; mientras que el mayor peso de pericarpio lo tuvo el maíz criollo número 22; en tanto que el mayor peso de germen lo tuvo el maíz criollo número 21. Mientras que los menores pesos en las variables evaluadas los tuvieron los maíces criollos identificados con los números 3, 22, 23 y 30.

En la Tabla 4 se presentan las medias de las variables fisiológicas, donde se observa que el 71% (25 maíces) presentaron una germinación mayor del 80% y el 40% de los genotipos de maíz criollo evaluados tuvieron al alto vigor. Para la variable plantas normales el 51.43% de los maíces tuvieron los mayores valores; mientras que los maíces criollos identificados con los números 5, 16 y 18 (8.60%) tuvieron el menor porcentaje de de plántulas normales.

En la Tabla 5 se muestran los coeficientes de correlación en donde se observa significancia entre la variable peso de grano (estructural) con las variables vigor y germinación ($p < 0.05$) que pertenecen al grupo de variables de calidad fisiológica. También se observa que la variable endospermo vítreo presentó correlaciones significativas ($p < 0.05$) con las variables plantas normales y anormales, semilla muerta y vigor; mientras que para la variable germinación fue significativa ($p < 0.01$).

En la Figura 1 se observa que la correlación entre las dos primeras variables canónicas (Estructural 1 y Fisiológica 1). Se observa que la variable Estructural 1, se puede interpretar como

una variable integradora de las diferentes proporciones de las estructuras que componen la semilla de maíz, mientras que la variable canónica Fisiológica 1 se representa interpretar como la variable integradora de los diferentes indicadores de calidad fisiológica de la semilla, cuyo valor fue de $r= 0.7048$.

DISCUSIÓN

Las diferencias estadísticas ($p < 0.01$) que se detectaron en la Tabla 1, se deben principalmente a la diversidad de los diferentes tipos de maíces criollos evaluados. Al respecto Zepeda-Bautista *et al.* (2009) y Leyva *et al.* (2002) indican que las diferencias encontradas en las variables estructurales de los granos de los diferentes tipos de maíces, se deben a la variabilidad genética entre los diferentes tipos de granos, que tienen diferentes proporciones de endospermo harinoso y vítreo. Mientras que Boyer & Hannah (2001) y Pérez-De la Cerda (2007) mencionan que los factores genéticos afectan de forma significativa la proporción de endospermo en los granos de los diferentes tipos de maíces. En la tabla 2, la significancia estadística ($p < 0.01$) encontrada entre los maíces se puede deber a la variabilidad entre los genotipos de los maíces criollos evaluados, al respecto Pérez-De la Cerda (2007) menciona que el genotipo juega un papel importante en la composición de los componentes de la semilla. Mientras que Perry (1972) y Moreno *et al.* (1988) mencionan que la calidad fisiológica depende del genotipo y del cuidado en su desarrollo.

De acuerdo con la Tabla 3, se encontró que cinco genotipos de maíz criollo (13, 15, 16, 27 y 33) presentaron los mayores valores de peso de grano, sin embargo de acuerdo con los parámetros propuestos por Peretti (1994), los maíces criollos identificados con los números 13, 15 y 16 fueron identificados como sin vigor, debido a que tuvieron longitudes de plantas menores de 3 cm. Por lo que se puede observar que un alto peso de grano no garantiza calidad fisiológica en la semilla. Estos resultados coinciden con Pérez-Mendoza *et al.* (2006) quienes mencionan que la calidad de la semilla del maíz depende más del genotipo, que de la variedad o del tamaño de

grano. El peso de endospermo harinoso oscilo de 0.0678 (genotipo de maíz 3) a 0.1522 g (genotipo de maíz 13), de los genotipos de maíz evaluados el 68.57% tuvieron proporciones de endospermo harinoso mayores al 35%, lo que indica que son maíces que son maíces opacos con alto contenido de almidón. Al respecto Paliwal (2001), menciona que a causa de la naturaleza blanda del almidón del endospermo, los maíces harinosos, son susceptibles a la pudrición y al ataque de plagas del grano en el almacenamiento. Además de lo difícil que es mantener la buena germinación de estos tipos de grano granos y su bajo potencial de rendimiento. Siendo utilizados estos tipos de granos como alimento humano y en la preparación de platos especiales y bebidas (Serna-Saldívar *et al.* 1994).

El peso de endospermo vítreo oscilo de 0.0790 (genotipo de maíz 22) a 0.2096 g (genotipo de maíz 34), teniendo porcentajes mayores del 50% de endospermo vítreo el 17.14 % de los maíces criollos evaluados. Los granos de este tipo de maíz son de tipo redondos, duros y suaves al tacto. Estando constituido endospermo de almidón duro córneo con solo una pequeña parte de almidón blando en el centro del grano. Este tipo de maíz tiene ventajas con respecto a los maíces harinosos, por los agricultores los prefieren sobre los granos harinosos, debido a que germina mejor que otros tipos de granos, además de tener menos pérdidas por ataque de plagas con los métodos tradicionales de almacenamiento y procesamiento (Paliwal 2001).

El peso de pericarpio oscilo de 0.0160 a 0.0308 g, encontrándose que 35 genotipos de maíces criollos tuvieron porcentajes mayores al 5%, lo cual es importante, ya que el pericarpio se caracteriza por tener un elevado contenido de fibra cruda, con aproximadamente el 87% (Burge & Duensing 1989). Sin embargo, pericarpios gruesos influyen de manera desfavorable en la calidad fisiológica de la semilla y en el establecimiento temprano del cultivo, por un probable retraso en la imbibición por la interferencia física para la protusión de las estructuras iniciales como radícula y el coleóptilo (Pérez-De la Cerda *et al.* 2007). El maíz criollo identificado con el número 21 tuvo el

valor más alto de peso de germen con 0.0456 g, y el maíz criollo con el número 3 tuvo el valor más bajo con 0.0192 g. De los 35 maíces bajo estudio el 40% tuvieron valores del 10%. Esta parte del grano se considera importante debido a que contiene un 83% del total de los lípidos del grano, además del 70% del azúcar y el 26% de la proteína del grano (Watson & Ramstad, 1987). De los 35 maíces evaluados, 25 de ellos presentaron un porcentaje de germinación por encima del 80% (Tabla 4), estos resultados se puede deber al proceso de imbibición, ya que la germinación inicia con la imbibición. Al respecto Copeland (1976) menciona que la velocidad de imbibición depende de la composición química de la semilla, de la permeabilidad de la cubierta de la semilla, de la diferencia del potencial hídrico y del espesor de los tejidos de almacenamiento. El 60% de los maíces registraron longitudes aceptables de vigor, mayores de 5 cm, mismos que tuvieron germinación arriba del 80%, lo cual se infiere que ambas pruebas están directamente asociadas. No obstante los maíces que presentaron bajo vigor se puede atribuir a que cuando las semillas se secan de forma natural o artificial, las membranas celulares tienden a perder su capacidad para mantener los solutos dentro de las células, por lo tanto, la rehidratación es seguida por la lixiviación. Normalmente la integridad de la membrana se restablece durante la imbibición, pero las semillas vigorosas probablemente restablecen las membranas a una tasa más rápida, con una subsecuente menor lixiviación que las semillas menos vigorosas. Por lo tanto, se asume que el grado de lixiviación está correlacionado con la calidad de la semilla (Sorensen *et al.* 1996). El hecho que se encontrara el 48.57% de los genotipos con número de plantas normales menores a 20, se puede atribuir a que cuando fueron colectadas las semillas hasta la evaluación, pasó alrededor de un año y que no se le dieron los cuidados adecuados. En contra parte Popinigis (1979) menciona que ciertas enzimas no estén presentes para la síntesis de materiales para la germinación es una de las hipótesis acerca de por qué mueren las semillas.

En base a los resultados obtenidos en la Tabla 5, se observó que los coeficientes de correlación tanto del endospermo harinoso como de endospermo vítreo mostraron valores positivos y negativos con las variables de calidad fisiológica, se encontró que el endospermo harinoso mostró coeficiente negativo para la variable plantas anormales y positivo para el número de semillas muertas. Al respecto Pérez-De la Cerda *et al.* (2007) reporta que el endospermo harinoso mostró coeficientes positivos para variables que denotan vigor reducido como plántulas anormales y semillas no germinadas, lo que significa que el maíz con endospermo córneo es más vigoroso que el de endospermo harinoso. Sin embargo, en la comparación de medias (Tablas 3 y 4), se observa que el genotipo de maíz criollo identificado con el número 16 que mostró el mayor peso de endospermo harinoso, tuvo una germinación del 28% considerada como baja, con longitud de plántula de 2 cm y sólo 8 plantas normales; en contra parte el genotipo de maíz criollo identificado con el número 34 que tuvo el mayor peso de endospermo vítreo, presentó una germinación de 83%, vigor medio con 6 cm y 19 plantas normales; estos resultados indican que maíces con endospermo vítreo son más vigorosos que los que presentan mayor contenido de endospermo harinoso. El menor vigor de los materiales con endospermo harinoso pudiera explicarse por el hecho de que éste contiene una mayor proporción de amilopectina en el almidón de reserva (Dombrink-Kurtzman & Knutson, 1997). La cual es más estable que la amilosa, lo que posiblemente provoca que, durante la germinación, la actividad de las enzimas hidrolíticas en el endospermo harinoso sea menos eficiente (Tofiño *et al.* 2006). Mientras que las estructuras de pericarpio y germen no mostraron correlación significativa con la calidad fisiológica de la semilla. En la variable canónica Estructural 1 (Figura 1), las variables originales con mayor influencia fueron peso de pericarpio, peso de germen y peso de grano, esta última con valor negativo. La variable canónica Fisiológica 1 estuvo asociada con sus cinco variables originales, con valores positivos con las variables plantas normales, germinación y vigor. Al respecto Pérez-De la Cerda

et al. (2007) reportan que en la variable calidad fisiológica, las variables originales plantas anormales, plantas normales y germinación, fueron las que influyeron más en su correlación. Finalmente de acuerdo al valor de correlación ($r= 0.7048$), se observa que los componentes de determinación estructural están directamente relacionados con la calidad fisiológica de la semilla.

LITERATURA CITADA

- Álvarez A (2006) Aplicación del maíz en la tecnología alimentaria y otras industrias. *En*: ILSI. Maíz y nutrición: Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. Serie de Informes Especiales ILSI. Volumen II. Argentina. pp: 9-13.
- Basra AS (1995) Seed quality; basic mechanisms and agricultural implications. Basra, A. S. (ed.) Food Products Press. Preface. New York, USA. 385p.
- Boyer CD, Hannah LC (2001) Kernel mutants of corn. *In*: Hallauer, A. R. (ed.). Specialty Corns. 2nd ed. CRC Press. Boca Raton, FL USA. pp: 1-31.
- Burge RM, Duensing WJ (1989) Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. *Cereal Foods World* 34: 535-538.
- Copeland LG (1976) Principles of the seed science and technology. Burgess Publishing Company. Minneapolis, Minnesota, USA. 369p.
- Copeland LO, McDonald MB (1995) Principles of seed science and technology. 3rd. ed. Chapman and Hall. New York, USA. 409p.
- Dombrink-Kurtzman MA, Knutson CA (1997) A study of maize endosperm hardness in relation to amylose content and susceptibility to damage. *Cereal Chemistry* 74:776-780.
- FAO (1993). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y Nutrición. No. 25. Roma, Italia. 160p.
- Hampton J G (2002) What is seed quality?. *Seed Science and Technology*. 30(1):1-10.
- ISTA (1995) International Seed Testing Association. Rules. Seed of vigor test methods. 2nd. ed. Zurich. 117p.
- Kelly AF (1988) Seed production of agricultural crops. Longman Scientific and Technical-John Wiley and Sons. New York, USA. 227p.
- Leyva OOR, Carballo CA, Mejía CJA, Vázquez CMG (2002) Procesamiento digital de imágenes para la estimación de textura de endospermo en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(4): 355-365.
- Méndez-Natera JR, Merazo-Pinto J F, Montañó-Mata N J (2008) Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación en semillas de maíz (*Zea mays* L.), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Mill.). *Revista UDO Agrícola* 8 (1): 61-66.
- Moreno ME, Vázquez ME, Rivera A, Navarrete R, Esquivel F (1988) Effect of seed shape and size on germination of corn (*Zea mays* L.) stored under adverse conditions. *Seed Science and Technology* 26:439-448.
- Pajic, Z.; Popovic, R. and, Sataric, I. 1998. Effect of endosperm type on seed germination in maize (*Zea mays* L.). *Selekcija i Semearstvo* 5:69-72.

- Paliwal RL (2001) Usos del maíz. *En*: Paliwal R.L., Granados G., Renée L.H. (Eds.) El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. En línea: <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm#toc> (10/11/2012).
- Peretti A (1994) Manual para análisis de semillas. INTA Buenos Aires. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 281pp.
- Pérez-De la Cerda FJ, Carballo-Carballo A, Santacruz-Varela A, Hernández Livera A, Molina-Moreno JC (2007) Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. *Agricultura Técnica en México* 33(1): 53-61.
- Pérez-Mendoza C, Hernández-Livera A, González-Cossio FV, García-de los Santos G, Carballo-Carballo A, Vásquez-Rojas TR, Tovar-Gómez MR (2006) Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura Técnica en México* 32(3): 341-352.
- Perry DA (1972) Seed vigour and field establishment. *Horticultural Abstracts* 42:334-342.
- Popinigis F (1979) Fisiología de la semiente. Agiplan, Brasilia. pp:149-154.
- Salinas MY, Vázquez MG (2006) Metodologías de análisis de calidad nixtamalera tortillera en maíz. Folleto técnico No. 22. INIFAP. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Edo. de México. México. 80p.
- SAS (2003) Statistical Analysis System. The analyst application. Second Edition. SAS Institute Inc. 2003. Institute Inc. Cary. NC. USA. 480p.
- Serna-Saldívar SO, Gómez MH & Rooney LW (1994) Food uses of regular and specialty corns and their dry milled fractions. *In* A.R. Hallauer, ed. *Specialty corns*, Boca Raton, FL, USA, CRC Press. pp: 263-298.
- Sorensen A, Brask LE, Thomsen K (1996) Electrical Conductivity Test. Technical Note N° 45. Danida Forest Seed Centre. DK-3050 Humlebaek. Denmark. 19p.
- Steel RGD, Torrie JH, DA (1996) Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. Third sub edition. McGraw- Hill Company. New York, USA. 672p.
- Tofiño A, Fregene M, Ceballos H, Cabal D (2006) Regulación de la biosíntesis del almidón en plantas terrestres: perspectivas de modificación. *Acta Agronómica* 55(1):1-17.
- Vitoria H, Méndez NJR (2007) Relación de la calidad fisiológica de semillas de maíz con pH y conductividad eléctrica. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo* 39 (2): 91-100.
- Watson SA, Ramstad PE (1987) Corn: Chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists, Inc. St Paul, Minnesota, USA. 78p.
- Zepeda-Bautista R, Carballo-Carballo A, Muñoz-Orozco A, Mejía-Contreras JA, Figueroa-Sandoval, B, González-Cossio FV, Hernández-Aguilar C (2009) Proteína, triptófano y componentes estructurales del grano en híbridos de maíz (*Zea mays* L.) producidos bajo fertirrigación. *Agrociencia* 43(2):143-152.

Tabla 1. Cuadrados medios para las variables estructurales de granos de 35 maíces criollos del estado de Tabasco.

Table 1. Mean Squares for grains structural variables from 35 maize landraces to Tabasco state.

Fuente de Variación	G. L.	Cuadros Medios				
		Peso de Grano	E. Harinoso	E. Vítreo	Pericarpio	Germen
Genotipo	34	0.0062860 **	0.0025518 **	0.0040446**	0.0000578 **	0.0002522 **
Repetición	4	0.0004078	0.0009942	0.0003915	0.0000046	0.0000434
C. V. (%)		5.071248	19.15182	15.99143	10.89586	13.14309

** Significativo al 0.01

** Significant at 0.01

Tabla 2. Cuadrados medios de las variables de calidad fisiológica de granos de 35 maíces criollos del estado de Tabasco.

Table 2. Mean Squares of grain's physiological quality variables grains from 35 maize landraces to Tabasco state.

Fuente de Variación	G. L.	Cuadros Medios		
		Germinación	Vigor	P. Normales
Genotipo	34	1244.844820**	23.490453**	114.780392**
Repetición	2	42.514290	1.798507	22.142857
C. V. (%)		8.249517	17.99853	14.65497

** Significativo al 0.01

** Significant at 0.01

Tabla 3. Comparación de medias para las variables estructurales de granos de 35 maíces criollos del estado de Tabasco.

Table 3. Comparison of means for grain structural variables of 35 maize landraces to Tabasco State.

Maíces criollos	Peso de Grano	E. Harinoso	E. Vítreo	Pericarpio	Germen
1	0.3162 ^{bcd}	0.0780 ^{efg}	0.1942 ^{ab}	0.0228 ^{cderghi}	0.0212 ^{ij}
2	0.3000 ^{efghi}	0.0970 ^{bcdefg}	0.1522 ^{bcde}	0.0214 ^{defghij}	0.0292 ^{defghi}
3	0.2700 ^{hij}	0.0678 ^g	0.1596 ^{abcd}	0.0234 ^{cdefghi}	0.0192 ^j
4	0.3090 ^{cdefg}	0.0964 ^{bcdefg}	0.1696 ^{abc}	0.0192 ^{ghij}	0.0236 ^{ghij}
5	0.3056 ^{defgh}	0.0976 ^{bcdefg}	0.1566 ^{abcde}	0.0224 ^{defghi}	0.0294 ^{defghi}
6	0.3176 ^{bcd}	0.1070 ^{abcdefg}	0.1550 ^{bcde}	0.0248 ^{abcdefg}	0.0304 ^{defghi}
7	0.2766 ^{ghij}	0.0996 ^{abcdefg}	0.1298 ^{cdefgh}	0.0238 ^{bcdefghi}	0.0232 ^{hij}
8	0.2802 ^{fghij}	0.0998 ^{abcdefg}	0.1306 ^{cdefgh}	0.0222 ^{defghij}	0.0280 ^{defghi}
9	0.3474 ^{ab}	0.1432 ^{abc}	0.1474 ^{bcdef}	0.0232 ^{cdefghi}	0.0332 ^{cdefg}
10	0.2808 ^{fghij}	0.1104 ^{abcdefg}	0.1276 ^{cdefgh}	0.0192 ^{ghij}	0.0244 ^{ghij}
11	0.2658 ^{ij}	0.0976 ^{bcdefg}	0.1234 ^{cdefgh}	0.0182 ^{hij}	0.0250 ^{fghij}
12	0.2860 ^{fghij}	0.1088 ^{abcdefg}	0.1314 ^{cdefgh}	0.0244 ^{bcdefgh}	0.0212 ^{ij}
13	0.3744 ^a	0.1522 ^a	0.1628 ^{abcd}	0.0238 ^{bcdefghi}	0.0354 ^{bcd}
14	0.2806 ^{fghij}	0.1044 ^{abcdefg}	0.1268 ^{cdefgh}	0.0210 ^{efghij}	0.0286 ^{defghij}
15	0.3588 ^a	0.1282 ^{abcde}	0.1656 ^{abcd}	0.0288 ^{abc}	0.0362 ^{abcd}
16	0.3722 ^a	0.1520 ^a	0.1586 ^{abcd}	0.0254 ^{abcdefg}	0.0366 ^{abcd}
17	0.2804 ^{fghij}	0.0912 ^{cdefg}	0.1342 ^{cdefg}	0.0242 ^{bcdefgh}	0.0304 ^{defghi}
18	0.2714 ^{ghij}	0.1280 ^{abcde}	0.0980 ^{fgh}	0.0228 ^{cdefghi}	0.0222 ^{hij}
19	0.3424 ^{abcd}	0.1446 ^{abc}	0.1376 ^{cdefg}	0.0256 ^{abcdef}	0.0344 ^{cdef}

20	0.2634 ^{ij}	0.1334 ^{abcd}	0.0848 ^{gh}	0.0176 ^{ij}	0.0276 ^{defghij}
21	0.3376 ^{abcde}	0.1430 ^{abc}	0.1242 ^{cdefgh}	0.0250 ^{abcdefg}	0.0456 ^a
22	0.2640 ^{ij}	0.1096 ^{abcdefg}	0.0790 ^h	0.0308 ^a	0.0444 ^{ab}
23	0.2740 ^{ghij}	0.1318 ^{abcd}	0.1046 ^{efgh}	0.0160 ^j	0.0220 ^{hij}
24	0.2926 ^{fghij}	0.1228 ^{abcdef}	0.1124 ^{defgh}	0.0266 ^{abcde}	0.0316 ^{defgh}
25	0.3092 ^{cdefg}	0.1316 ^{abcde}	0.1550 ^{defgh}	0.0268 ^{abcde}	0.0354 ^{bcde}
26	0.2730 ^{ghij}	0.1304 ^{abcde}	0.0968 ^{fgh}	0.0194 ^{fghij}	0.0262 ^{efghij}
27	0.3630 ^a	0.1470 ^{ab}	0.1464 ^{bcdef}	0.0276 ^{abcd}	0.0418 ^{abc}
28	0.2958 ^{fghij}	0.1448 ^{abcde}	0.1202 ^{cdefgh}	0.0270 ^{abcde}	0.0242 ^{ghij}
29	0.2678 ^{hij}	0.0992 ^{abcdefg}	0.1206 ^{cdefgh}	0.0208 ^{efghij}	0.0272 ^{defghij}
30	0.2606 ^j	0.0890 ^{defg}	0.1238 ^{cdefgh}	0.0228 ^{cdefghi}	0.0250 ^{fghij}
31	0.2662 ^{ij}	0.1006 ^{abcdefg}	0.1208 ^{cdefgh}	0.0216 ^{defghij}	0.0234 ^{hij}
32	0.2908 ^{fghij}	0.0992 ^{abcdefg}	0.1288 ^{cdefgh}	0.0262 ^{abcde}	0.0364 ^{abcd}
33	0.3582 ^a	0.1196 ^{abcdefg}	0.1720 ^{abc}	0.0236 ^{cdefghi}	0.0428 ^{abc}
34	0.3450 ^{abc}	0.0704 ^{fg}	0.2096 ^a	0.0300 ^{ab}	0.0350 ^{bcde}
35	0.2916 ^{fghij}	0.1160 ^{abcdefg}	0.1308 ^{cdefgh}	0.0216 ^{defghij}	0.0232 ^{hij}
DMS	0.0379	0.0538	0.0537	0.0063	0.0097

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (p 0.05).

LSD : Least significant difference. Means with the same letter haven't significant difference (p 0.05).

Tabla 4. Comparación de medias para las variables de calidad fisiológica de granos de 35 maíces criollos del estado de Tabasco.

Table 4. Comparison of means for grain's physiological quality variables from 35 maize landraces of Tabasco state.

Maíces criollos	Germinación	Vigor	P. Normales
1	52.00 ^{gh}	2.05 ^{ghij}	10.00 ^{defg}
2	61.33 ^{efgh}	3.48 ^{fghij}	17.00 ^{abcde}
3	94.67 ^{ab}	7.84 ^{abcd}	22.67 ^a
4	29.33 ^j	1.60 ^{ij}	9.33 ^{efg}
5	68.00 ^{cdefg}	0.72 ^j	4.00 ^g
6	81.33 ^{abcde}	2.29 ^{ghij}	11.33 ^{cdefg}
7	64.00 ^{defgh}	2.12 ^{ghij}	9.00 ^{efg}
8	88.00 ^{abc}	4.45 ^{efghi}	18.00 ^{abcd}
9	45.33 ^{hi}	1.92 ^{hij}	11.33 ^{cdefg}
10	97.33 ^a	4.96 ^{defgh}	18.00 ^{abcd}
11	92.00 ^{ab}	6.53 ^{abcdef}	20.67 ^a
12	89.33 ^{abc}	5.21 ^{cdefg}	16.33 ^{abcdef}
13	85.33 ^{abcd}	2.15 ^{ghij}	11.67 ^{bcdefg}
14	74.67 ^{bcdef}	2.20 ^{ghij}	8.33 ^{fg}
15	68.00 ^{cdefg}	3.83 ^{fghij}	18.33 ^{abcd}
16	28.00 ^j	2.01 ^{ghij}	7.67 ^g
17	98.67 ^a	9.19 ^a	23.67 ^a
18	56.00 ^{fgh}	0.97 ⁱ	4.33 ^g
19	94.67 ^{ab}	7.92 ^{abcd}	22.00 ^a
20	98.67 ^a	8.76 ^{ab}	24.33 ^a
21	98.67 ^a	6.33 ^{abcdef}	23.67 ^a
22	96.00 ^{ab}	8.33 ^{abc}	24.33 ^a
23	94.67 ^{ab}	9.15 ^a	22.00 ^a
24	97.33 ^a	6.45 ^{abcdef}	22.00 ^a
25	97.33 ^a	8.03 ^{abcd}	24.00 ^a
26	86.67 ^{abc}	5.72 ^{bcdef}	20.33 ^a
27	92.00 ^{ab}	5.62 ^{bcdef}	20.00 ^{ab}

28	97.33 ^a	7.67 ^{abcde}	22.33 ^a
29	100.00 ^a	8.61 ^{ab}	21.33 ^a
30	100.00 ^a	9.27 ^a	23.00 ^a
31	100.00 ^a	8.60 ^{ab}	21.67 ^a
32	96.00 ^{ab}	7.83 ^{abcd}	21.00 ^a
33	98.67 ^a	7.96 ^{abcd}	21.67 ^a
34	82.67 ^{abcde}	6.11 ^{abcdef}	19.33 ^{abc}
35	92.00 ^{ab}	7.12 ^{abcde}	21.33 ^a
DMS	22.28	3.24	8.42

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (p 0.05).

LSD : Least significant difference. Means with the same letter haven't significant difference (p 0.05).

Tabla 5. Coeficiente de correlación de Pearson entre variables estructurales y de calidad fisiológica en granos de 35 maíces criollos del estado de Tabasco.

Table 5. Pearson's correlation coefficient between structural and physiological quality variables in seeds of 35 landraces to Tabasco State.

Calidad fisiológica	Variables estructurales				
	Peso de Grano	E. Harinoso	E. Vítreo	Pericarpio	Germen
P. Anormales	0.16040	-0.00025	0.26566	-0.15188	-0.21447
P. Normales	-0.23298	0.00159	-0.35478*	0.11752	0.21183
Semilla M.	0.27915	0.03576	0.35978*	-0.05316	-0.13537
Vigor	-0.35781*	-0.07308	-0.40796*	0.02895	0.08958
Germinación	-0.34683*	-0.04147	-0.43137**	0.05773	0.10864

* Significativo al 0.05; ** Significativo al 0.01

* Significant at 0.05, ** Significant at 0.01

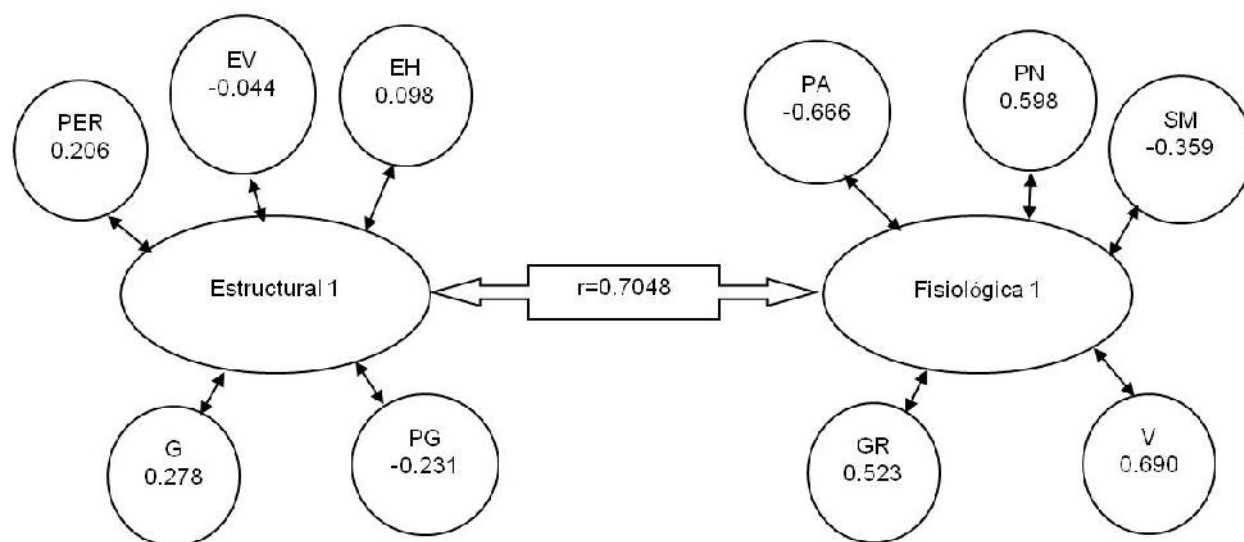


Figura 1. Estructura canónica de la primera variable canónica de cada grupo y la correlación con sus variables originales. Estructural 1= Variables estructurales; EH= Endospermo harinoso; EV= Endospermo vítreo; PER= Pericarpio; G= Germen; PG= Peso de grano; Fisiológica 1= Variables de calidad fisiológica; PA= Plantas anormales; PN= Plantas normales; SM= Semillas muertas; V= Vigor; GR= Germinación.

Figure 1. Canonical structure of the first canonical variable of each group and correlation with their original variables. Structural 1= Structural variables; FE= Floury Endosperm; VE= Vitreous Endosperm; PER= Pericarp; G= Germ; PG= Grain Weight; Physiology 1= Physiological Quality Variables; AP= Abnormal Plants; NP= Normal Plants; DS= Dead Seeds; V= Vigor; GR= Germination.

CAPÍTULO 3. CONCLUSIÓN GENERAL

En base a los objetivos propuestos, se hicieron dos trabajos de investigación (uno por cada objetivo), en el apartado 2.1 se concluye que existe diversidad morfológica en las poblaciones de maíces nativos del estado de Tabasco, que debe de conservarse y aprovecharse en programas de mejoramiento genético. El análisis de componentes principales determinó que las variables que más explican la diversidad morfológica de las poblaciones son los días a floración masculina y femenina, el peso y largo de mazorca, el diámetro medio de mazorca, el número de granos por hilera, el peso de 100 granos, el porcentaje de olote, el diámetro medio de olote y el largo de espiga. El análisis de conglomerados determinó la formación de cuatro grupos que se formaron con 61, 6, 3 y 1 poblaciones, predominando por las características morfológicas la raza Tuxpeño en el 85,9% de las poblaciones de maíces evaluados.

En cuanto al apartado 2.2 las diferencias estadísticas se debe primordialmente a la diversidad existente en los maíces criollos evaluados. De acuerdo a los coeficientes de correlación mostraron significancia entre las variables estructurales con las variables de calidad fisiológica. Finalmente los valores de correlaciones canónicas mostraron que los componentes de determinación estructural están directamente relaciones con la calidad fisiológica de la semilla.

CAPÍTULO 4. LITERATURA CITADA

- Álvarez, A. 2006. Aplicación del maíz en la tecnología alimentaria y otras industrias. *En: ILSI. Maíz y nutrición: Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. Serie de Informes Especiales ILSI. Volumen II. Argentina. pp: 9-13.*
- Anderson, E.; Cutler, H. C. 1942. Races of *Zea mays*. I. Their recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 29: 69-89.
- Bartolo-Pérez, P.; Peña, J. L.; Cruz-Orea, A.; Calderón, A. 1999. Estudio de la composición química del pericarpio de maíz con las técnicas XPS y EDAX. *Superficies y Vacío* 8:64-81.
- Betanzos, M. E. 1977. Instructivo de maíz ACP. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México. 68 p.
- Boyer, C. D.; Hannah, L. C. 2001. Kernel mutants of corn. *In: Hallauer, A. R. (ed.). Specialty Corns. 2nd ed. CRC Press. Boca Raton, FL. USA. p. 1-31.*
- Brandolini, A. 1970. Maize. *In: Frankel, O. H.; Bennett, E. (eds) Genetic resources in plants their exploitation and conservation. Davis. Philadelphia, PA, USA, pp. 273-309.*
- Carabaloso, T. V.; Mejía, C.A.; Balderrama, C. S.; Carballo, C.A.; González, C. F. 2000. Divergencia en poblaciones de maíz nativas de Valles Altos de México. *Agrociencia* 34:167-174.
- Castillo, G. F.; Arias R. L. M.; Ortega P. R.; Márquez S. F. 2000. Participatory breeding, seed networks and grassroot strengthening. Mexico. *In: D Jarvis, B Sthapit, L Sears (eds). Conserving agricultural biodiversity in situ: A scientific basis for sustainable agriculture. International Plant Genetic Resources*

- Institute, Rome Italy. Proceedings of a workshop. Pokhara, Nepal. 5-12 July, 1999. pp: 199-200.
- Chávez-Servia, J. L.; Diego-Flores, P.; Carrillo-Rodríguez, J. 2011. Complejos raciales de poblaciones de maíz evaluadas en san Martín Huamelulpan, Oaxaca. *Ra Ximhai*. 7(1): 107-115.
- Diego-Flores, P.; Carrillo-Rodríguez, J. C.; Chávez-Servia, J. L.; Castillo-González, F. 2012. Variabilidad en poblaciones de maíz nativo de la Mixteca Baja Oaxaqueña, México. *Rev. FCA. UNCUYO* 44: 157.171.
- Espinosa-Trujillo, E.; Mendoza-Castillo, M.C.; Castillo-González, F. 2006. Diversidad fenotípica entre poblaciones de maíz con diferentes grados de pigmentación. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29 (Num. Especial 2): 19-23.
- FAO. 1993. El maíz en la nutrición humana. Depósito de documentos de la FAO organización de las naciones unidas para la agricultura y alimentación. Roma. En línea: <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s00.htm> (Consultado: 22/11/2012).
- FAO. 2001. El maíz de los trópicos, mejoramiento y producción. Depósito de documentos de la FAO. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. En línea: <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm#toc> (Consultado: 23/10/10).
- Gaer, J. R. E. 2006. El cultivo de maíz en la Argentina. *In: ILSI. Maíz y nutrición: Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. Serie de Informes Especiales ILSI. Volumen II. Argentina.* pp: 4.8.
- Gliessman, S. T. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE. Turrialba, C.R. 359p.

- Gómez, E. J. 1993. Métodos comparativos para determinar dureza en maíz (*Zea mays* L.) y su influencia en el tiempo de nixtamalización. Tesis de Licenciatura Ingeniería Agroindustrial. UACH. Chapingo, México. 68p.
- González, H.A.; Pérez, L. D. J.; Franco, M. O.; Nava, B. E. G.; Gutiérrez, R. F.; Rubí, A. M.; Castañeda, V.A. 2011. Análisis multivariado aplicado al estudio de las interrelaciones entre cultivares de maíz y variables agronómicas. *Ciencias Agrícolas Informa* 20: 58-65.
- Goodman, M. M. 1967. The races of maize. The use of mahalanobis generalized distances to measure morphological similarity. *Fitotecnia Latinoamericana* 4:1-22.
- Goodman, M. M.; Brown, W. L. 1988. Races of corn. *In: Sprague, G. F.; Dudley, J. W. (eds). ASA Monograph 18. ASA, USA. pp: 33-79.*
- Gutiérrez-Hernández, G. F.; Virgen-Vargas, J.; Arellano-Vázquez, J. L. 2007. Germinación y crecimiento inicial de semillas de maíz con envejecimiento natural. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA* 18(2): 163-170.
- Hampton, J. G. 2002. What is seed quality?. *Seed Science and Technology*. 30(1):1-10.
- Herrera-Cabrera, B. E.; Castillo-González, F.; Sánchez-González, J.J.; Hernández-Casillas, J. M.; Ortega-Pazkca, R. A.; Major-Goodman, M. 2004. Diversidad del maíz chalqueño. *Agrociencia* 38: 191-206.
- Hortelano, S. R. R.; Gil, M. A.; Santacruz, V. A.; López, S. L.; López, P. A.; Miranda, C. S. 2012. Diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35: 97–109.
- Hortelano, S. R. R.; Gil, M. A.; Santacruz, V. A.; Miranda, C. S.; Córdova, T. L. 2008. Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. *Agricultura Técnica Mexicana* 34:189-200.

- ISTA. 1995. International Seed Testing Association. Rules. Seed of vigor test methods. 2nd. ed. Zurich. 117p.
- Jugenheimer, W.R. 1981. Variedades mejoradas. Métodos de cultivo y producción de semillas. Ed. LIMUSA, México. p 76.
- King, A. 2007. Diez años con el TLCAN: revisión de la literatura y análisis de las respuestas de los agricultores de Sonora y Veracruz, México. Informe especial del CIMMYT 07-01. México, D.F.: CIMMYT/Congressional Hunger Center. 51p.
- López, B. 1991. Cultivos herbáceos. Mundi-Prensa. Madrid. España 490 p.
- López, R. G.; Santacruz V. A.; Muñoz, O. A.; Castillo, G. F.; Córdova T. L.; Vaquera H. H. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 30: 284-290.
- Mariaca, M. R. 1993. Características tecnológicas del sistema marceño de cultivo de maíz en las tierras bajas de Tabasco, México. *Revista de Geografía Agrícola* 18: 69-76.
- Mariaca, M. R. 1996. El ciclo marceño en tierras bajas pantanosas de Tabasco: producción tradicional de maíz altamente eficiente. *Agrociencia* 30: 279-286.
- 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.; Guerrero, H. M. J. 2008. Caracterización agronómica y morfológica de maíces nativos del noroccidente de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 331-340.
- Martínez-Solis, J.; Virgen-Vargas, J.; Peña-Ortega, M. G.; Santiago-Romero, A. 2010 Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1(3): 289-304.
- Méndez-Natera, J. R.; Merazo-Pinto, J. F.; Montañón-Mata, N. J. 2008. Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación en semillas de

maíz (*Zea mays* L.), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Mill.). Revista UDO Agrícola 8 (1): 61-66.

Mendoza, E. M.; Latournerie, L.; Moreno, E.; Castañon, G.; Carrillo, C. J.; De León, C.; García J. G. 2004. Cambios en la calidad de la semilla de maíz durante su desarrollo y maduración. AGRONOMÍA MESOAMERICANA 15(2): 155-160.

Mijangos-Cortes, J. O.; Corona-Torres, T.; Espinosa-Victoria D.; Muñoz-Orozco, A.; Romero-Peñaloza, J.; Santacruz-Varela, A. 2007. Differentiation among maize (*Zea mays* L.) landraces from the Tarasca Mountain Chain, Michoacan, Mexico and the Chalqueño complex. Genetic Resources and Crop Evolution 54:309-325.

Molina-Moreno, J.L.; González-Hernández, V. A.; Carballo-Carballo, A.; Livera-Muñoz, M.; Castillo-González, F.; Ortega-Delgado, M. L. 2003. Cambios en la calidad fisiológica y su asociación con la madurez de la semilla de maíz durante su formación. Rev. Fitotec. Mex. 26(4): 172-277.

Moraes, L.; Vartorelli, F. 2006. Particularidades nutricionales del grano del maíz en la alimentación de aves. . En: ILSI. Maíz y nutrición: Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. Serie de Informes Especiales ILSI. Volumen II. Argentina. pp: 39-41. Álvarez, A. 2006. Aplicación del maíz en la tecnología alimentaria y otras industrias. In: ILSI. Maíz y nutrición: Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. Serie de Informes Especiales ILSI. Volumen II. Argentina. pp: 9-13.

Nadal, A. 2003. Macroeconomic Challenges for Mexico's Development Strategy. *In*: Middlebrook K, E Zepeda (eds). Confronting Development: Assessing Mexico's Economic and Social Policy Challenges. San Diego: Stanford University Press and Center for US-Mexican Studies, University of California. p. 55-88.

- Nadal, A. 2000. En el NAFTA: Variabilidad genética y liberalización comercial. *Biodiversidad*. 24: 3-12.
- Ortega, P. R. A. 1973. Variación en maíz y cambios socio-económicos en Chiapas, Mex. 1946-1971. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados. 199p.
- Pajic Z., Popovic R.; Sataric, I. 1998. Effect of endosperm type on seed germination in maize (*Zea mays* L.). *Selekcija i Semestarstvo* 5:69-72.
- Paliwal, R.L. 2003. Usos del maíz. *En: Paliwal, R. L.; Granados, G.; René, L. H.* (Eds.) *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. En línea: <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm#toc> (10/10/2011).
- Pandey, S.; Gardner, C. O. 1992. Recurrent selection for population, variety, and hybrid improvement in tropical maize. *Advances in Agronomy* 48: 2-79.
- Perales, R.H.; Hernández-Castillas, J. M. 2005. Diversidad del maíz en Chiapas. *En: González-Espinoza, M.; Ramírez-Marcial, N.; Ruíz-Montoya, L.* (Eds.) *Diversidad biológica de Chiapas*. Plaza y Valdés/ECOSUR/COCYTECH. México, D.F. pp: 337- 355.
- Pérez-De la Cerda, F. J.; Carballo-Carballo, A.; Santacruz-Varela, A.; Hernández-Livera, A.; Molina-Moreno, J. C. 2007. Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. *Agricultura Técnica en México*. 33(1): 53-61.
- Pérez-Mendoza, C.; Hernández-Livera, A.; González-Cossio, F. V.; García-de los Santos, G.; Carballo-Carballo, A.; Vásquez-Rojas, T. R.; Tovar-Gómez, M. R. 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura Técnica en México*. 32(3): 341-352.
- Reyes, C. P. 1990. *El maíz y su cultivo*. Primera edición. AGT Editor. México. 460p.

- Romero, T.; González, L.; Reyes, G. 2006. Geografía e historia cultural del maíz palomero toluqueño (*Zea maíz everta*). Universidad autónoma del estado de Toluca. pp. 47-56.
- Salinas Moreno, Y; Gómez-Montiel, N. O.; Cervantes-Martínez, J. E.; Sierra-Macías, M.; Palafox-Caballero, A.; Betanzos-Mendoza, E.; Coutiño-Estrada, B. 2010. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1(4):509-523.
- Sierra, M. M.; Barrón, F. S.; Palafox, C. A.; Meneses, M. I.; Francisco, N. N.; Rodríguez, M. F.; Hernández, C. J. M.; Ortega, C. A. 2010. Diversidad y distribución de variedades criollas de maíz en el estado de Tabasco, México. En: Castañeda, M. O. G.; Báez, R. U. A.; López, A. N. C.; Sánchez, D. D. C. (Eds.) *Memorias XXII Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco 2010*. Villahermosa, Tabasco. pp: 57-64.
- Watson, S.A.; Ramstad, P. E. 1987. *Corn: Chemistry and technology*. American Association of Cereal Chemists, Inc. St Paul, Minnesota, USA. p. 78.
- Wellhausen, E. J.; Roberts, L. M.; Hernández, E. X.; Mangelsdorf, P. C. 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. En: *Xolocotzia*. p 75.

CAPÍTULO 5. ANEXOS



**CONSTANCIA DE PRESENTACIÓN DE ARTÍCULO
REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**



Título: Diversidad morfológica de poblaciones de maíces nativos del estado de Tabasco, México.

Autor(es): Pedro Guillén-de la Cruz, Efraín de la Cruz-Lázaro, Sergio Alfredo Rodríguez-Herrera, Guillermo Castañón-Nájera, Armando Gómez-Vázquez, Alejandro Javier Lozano-del Río

Fecha de recepción: 26 de octubre de 2012

Entregado por: Dr. Efraín de la Cruz Lázaro (vía e-mail)

Recibido por: Prof. Elsa Montero (ceea@fca.uncu.edu.ar)

Impreso: Medio digital: mail

Observaciones:

Dra. Ing. Agr. Maria Flavia FILIPPINI
Directora Científica
Revista de la Facultad de Ci. Agrarias - UNCUYO

Nota: El artículo será publicado si el dictamen de los evaluadores así lo permite.