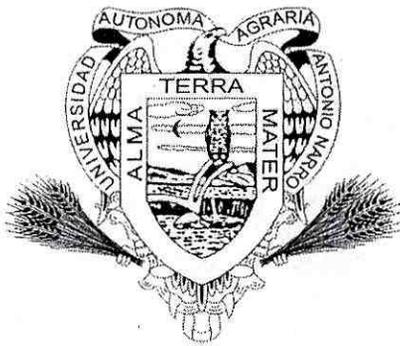


**CALIDAD NIXTAMALERA Y TORTILLERA DE CINCO
CRIOLLOS DE MAIZ Y COMPORTAMIENTO
AGRONÓMICO DE SU PROGENIE F₁**

ORALIA ANTUNA GRIJALVA

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
DIRECCION DE POSTGRADO**

**Asesor principal: Dr. Sergio A. Rodríguez Herrera
Torreón, Coahuila, México
Julio de 2010**

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIRECCION DE POSTGRADO

CALIDAD NIXTAMALERA Y TORTILLERA DE CINCO CRIOLLOS DE
MAIZ Y COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE SU PROGENIE F₁

TESIS

POR

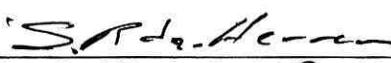
ORALIA ANTUNA GRIJALVA

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

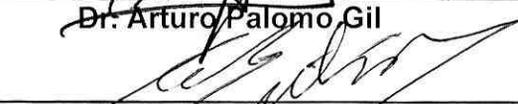
Asesor principal:


Dr. Sergio Alfredo Rodríguez Herrera

Asesor:


Dr. Arturo Palomo Gil

Asesor:

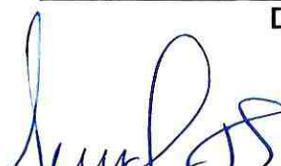

Dr. Emiliano Gutiérrez del Río

Asesor:


Dr. Armando Espinoza Banda

Asesor:


Dr. David G. Reta Sánchez


Dr. Jerónimo Landeros Flores
Director de Postgrado


M. C. Gerardo Arrellano Rodríguez
Jefe del Departamento de Postgrado

Torreón, Coahuila, México, Julio de 2010

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Sergio A. Rodríguez Herrera por la asesoría en este trabajo.

Al Dr. Arturo Palomo Gil, Dr. Armando Espinoza Banda y al Dr. Emiliano Gutiérrez del Río, por la amistad brinda y el gran apoyo durante todo este tiempo.

Al Dr. David G. Reta Sánchez por su valiosa colaboración en este trabajo de investigación.

Al M. C. Gerardo Arrellano Rodríguez, por su apoyo durante estos tres años.

A mis compañeros y amigos: María Teresa Valdés Perezgasga, Edson Francisco. Navarro Orona, Enrique Andrio Enríquez, Francisco Ariel Camacho Inzunza y Fidencio Cruz Bautista.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron en este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

JEHOVA DIOS

A MIS PADRES Y A MIS HERMANOS

COMPENDIO

CALIDAD NIXTAMALERA Y TORTILLERA DE CINCO CRIOLLOS DE MAIZ Y COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE SU PROGENIE F₁

POR

ORALIA ANTUNA GRIJALVA

DOCTORADO
EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO UNIDAD
LAGUNA, TORREON, COAHUILA. MEXICO. JULIO DE 2010

Ph.D. Sergio Alfredo Rodríguez Herrera - Asesor -

Palabras claves: *Zea mays L.*, razas, características físicas de grano, masa, tortilla, cruza dialélicas, efectos genéticos y componentes de varianza.

El maíz se encuentra entre los tres cereales más extensamente cultivados en el mundo como alimento del hombre y animales. México es su centro de origen y los maíces criollos son las especies domesticadas genéticamente distintas, reflejándose en distintas variedades las cuales

pueden ser adaptadas a condiciones específicas como altitud, precipitación, resistencia a plagas, rendimiento, etc. Además de características agronómicas sobresalientes en México los productores de maíz demandan variedades con calidad de grano exigida por la industria de la tortilla.

Se efectuaron dos estudios en cinco razas de maíz provenientes del banco de germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El objetivo fue determinar las propiedades físicas de grano y masa para evaluar su potencial para ser usados en la producción de tortillas. Además evaluar el comportamiento agronómico de estos cinco criollos de maíz y de sus cruzas.

Estudio 1. Se evaluaron el maíz Jala, Pepitilla, Tuxpeño y Pátzcuaro-2 para elaborar tortillas, excepto la raza Dulce. De cada raza de maíz se determinaron las propiedades físicas del grano, masa, y tortillas; en grano, se determinó: dureza, tamaño, humedad, peso hectólitrico, perfil amilográfico y color; en la masa: adhesividad, cohesión y humedad; en las tortillas: tensión, corte, color y humedad. Se encontró que el largo del grano osciló de 11.97 a 18.57 mm, valores que corresponden al maíz Dulce y Pepitilla, respectivamente. La dureza del grano fluctuó entre 11.46 (Tuxpeño) y 4.71 kg (Pátzcuaro 2). La viscosidad máxima de la harina del grano de los maíces evaluados osciló entre 357 y 1813 cp. En el peso por hectolitro, Jala y Tuxpeño cumplen con los requerimientos mínimos

establecidos en la norma de calidad (74 kg hL^{-1}) para maíces destinados al proceso de nixtamalización. La humedad del grano, masa y tortilla, fluctuaron entre 10.0-11.6 %, 54.2-58.0 % y 42.30-44.28 %, respectivamente. En textura de tortilla, el maíz Tuxpeño fue el que presentó la menor resistencia a la tensión y al corte, resultó la mejor tortilla elaborada.

Estudio 2. Se analizó el tipo de acción génica y los efectos de aptitud combinatoria de cinco caracteres agronómicos de cinco criollos de maíz y de sus cruzas. El material genético consistió en cinco razas de maíz (Jala, Tuxpeño, Celaya, Pepitilla y Dulce) y las cruzas entre ellas. Se obtuvo información de altura de planta, días a floración masculina y femenina, rendimiento de materia seca y rendimiento de grano. Se realizó un análisis genético para estimar los efectos de aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE) bajo el modelo 2 de Griffing (1956), en el cual se incluyen las cruzas directas $F_{1,p(p-1)/2}$ y los progenitores. Con los cuadrados medios del análisis de varianza se calcularon las varianzas debido a ACG y ACE las que permitieron estimar los componentes de varianza debido a efectos aditivos y no aditivos (σ_A^2 y σ_D^2).

Los resultados mostraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) entre los genotipos, asimismo en los efectos de ACG en todas las variables, excepto en el rendimiento de materia seca. En ACE la altura de planta y días a

floración femenina no presentaron diferencias estadísticas. Se identificaron las cruzas Pepitilla x Dulce y Jala x Tuxpeño y los progenitores Jala y Celaya con un buen potencial de rendimiento de materia seca y rendimiento de grano. La altura de planta, los días a floración masculina y los días a floración femenina y el rendimiento de grano estuvieron determinados por efectos aditivos, en tanto que el rendimiento de materia seca estuvo bajo el control de acción génica no aditiva.

ABSTRACT

ALKALINE COOKING AND TORTILLA QUALITY OF FIVE RACES OF MAIZE AND AGRONOMIC PERFORMANCE OF THEIR F1 PROGENY

By

ORALIA ANTUNA GRIJALVA

DOCTOR IN AGRARIAN SCIENCE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO UNIDAD
LAGUNA, TORREON, COAHUILA. JULIO DE 2010

Ph.D. Sergio Alfredo Rodríguez Herrera - Advisor -

Key words: *Zea mays L.*, races, grain physical characteristics, mass, tortilla, diallelic crosses, genetic effects and components of variance.

Maize is among the three most extensively cropped cereals in the world as human food and animal feed. Mexico is the center of origin of maize and the "criollos" genotypes are genetically different domestic species. There are a lot varieties adapted to specific conditions such as altitude,

pluvial precipitation, pest resistance, yield potential, etc. Besides of excellent agronomic characteristics, the maize Mexican producers like varieties with high grain quality for the tortilla industry. Two studies were carried out with five maize races from the Maize and Wheat Breeding International Center (CIMMYT).

Work 1. Races of maize evaluated were Jala, Pepitilla, Tuxpeño, and Pátzcuaro and Dulce. Grain mass and tortilla physical properties were determinate. Grain hardness, size, density (kg hL^{-1}), moisture content, color and amylographic profile of grain were evaluated. Adhesiveness, cohesiveness and moisture content were evaluated in maize mass; while tensile strength, cutting force, color and humidity content were evaluated in tortillas. Grain length values varied between 11.97 and 18.57 mm for Dulce and Pepitilla, respectively. Grain hardness oscillated between 11.46 (Tuxpeño) and 4.71 kg (Pátzcuaro 2). Maximum mass viscosity of races evaluated was between 357 and 1813 cp. Pátzcuaro and Jala showed the highest viscosity, 1813 and 1672 cp, respectively. Jala and Tuxpeño reached the minimum requirements of the nixtamalization quality norms (74 kg hL^{-1}). The minimum and maximum values of moisture content in grain, mass and tortillas, were: 10.0-11.6 %, 54.2-58.0 % and 42.3-44.28 %, respectively. The texture of tortillas elaborated with Tuxpeño had the lowest tension and cutting strength, thus resulting in the best raze for making tortillas.

Work 2. Genetic action and combining ability of several agronomic characters of five maize races and their respective possible single crosses were studied. Races evaluated were; Jala, Tuxpeño, Celaya, Pepitilla and Dulce. Plant height, male and female flowering date in days after planting, dry matter and grain yield characteristics were evaluated. General (GCA) and specific (SCA) combining ability were estimated using the diallel crossing technique of Griffing model II, which includes parents and a set of F1's, $p(p-1)/2$. The variances means squares were used to estimate the GCA and SCA variances, which values were used to estimate the additive and non additive genetic effects (σ_A^2 y σ_D^2). All variables showed highly significant differences among genotypes. With exception of dry matter yield, all the other variables showed statistically significant GCA effects. Plant height and female flowering date do not showed SCA differences. Pepitilla x Dulce and Jala x Tuxpeño crosses, and Jala and Celaya parents, were the best dry matter and grain yielders. Plant height, male and female flowering dates, and grain yield were under the control of additive genes. On the other hand, dry matter yield showed non additive gene action.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
I.INTRODUCCION	1
II.REVISION DE LITERATURA	6
Nixtamalización	8
Diseños dialélicos	13
Aptitud combinatoria	14
Heredabilidad	16
Heterosis	17
III.ARTICULOS	19
IV.CONCLUSIONES	62
V.LITERATURA CITADA	63
VI.APENDICE	67
Carta de aceptación del artículo Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México (se incluye)	68
Carta de recepción del artículo Componentes genéticos de caracteres agronómicos de razas de maíz y su progenie híbrida . . .	69

I. INTRODUCCION

Los maíces de México son de un interés importante desde varios puntos de vista. En ningún otro país de América el maíz ha llegado a convertirse en un elemento tan preponderante en la vida social y económica del pueblo como en México.

De las 436 razas de maíz reportadas en el continente americano 50 se encuentran en México (Goodman y Brown, 1980). Wellhausen *et al.*, (1951), estudiaron y clasificaron la mayor parte de estos materiales considerando caracteres de mazorca y características fisiológicas, genéticas y citológicas. Por otra parte Hernández y Alanís (1970) y otros autores colaboraron en la descripción de 17 nuevas razas de maíz en México. Sin embargo, en ninguno de estos grupos raciales se han considerado factores de calidad de nixtamal y tortilla como parámetros de clasificación.

Actualmente se requiere materiales con características específicas que permitan un procesamiento sencillo, con alto rendimiento y producción de harinas de calidad para la elaboración de tortillas ya que de acuerdo a los parámetros de calidad para un maíz que se destina a la elaboración de harinas nixtamalizadas dados a conocer en los últimos años, gran parte de

los híbridos y variedades de maíz que se siembran en México no reúnen tales exigencias de calidad (Salinas y Pérez, 1997).

Con el propósito de obtener maíces adecuados para su proceso, actualmente la industria desarrolla mecanismos de abastecimiento de materia prima mediante contratos con productores para la siembra de híbridos y variedades que reúnan las características de calidad para la obtención de harinas nixtamalizadas.

Además de la identificación de genotipos sobresalientes para calidad de nixtamal y tortilla, en razas de maíz es importante determinar su comportamiento agronómico. Sin embargo el aprovechamiento de la heterosis entre raza ha sido escaso debido a que las cruzas carecen de las características agronómicas deseables (uniformidad, porte bajo de planta y resistencia al acame) que se requieren en la agricultura moderna.

Si bien, ha estas raza de maíz se les ha mejorado el rendimiento de grano *per se* en un promedio de 40% y otras características agronómicas, aún se desconoce cual es su comportamiento en cruzas (Martínez, 2001).

Por lo anterior en la presente investigación se evaluó las propiedades físicas de grano y masa de cinco tipos raciales de maíces criollos, y la aptitud combinatoria de características agronómicas de sus cruzas posibles y sus progenitores.

Objetivos:

- Caracterizar las mejores razas de maíz para calidad nixtamalera y tortillera en base características físicas y químicas.
- Evaluar el comportamiento agronómico y estimar la aptitud combinatoria de cinco razas de maíz y sus combinaciones híbridas.

Hipótesis:

- Es posible identificar razas de maíz con características de calidad nixtamalera y tortillera y que además cuenten con combinaciones híbridas específicas y con características agronómicas sobresalientes.

II. REVISION DE LITERATURA

La calidad de un maíz para la preparación de tortillas se determina por las características físicas del grano, dentro de las que destaca la dureza, relacionada con la proporción de endospermo harinoso/cristalino. Esta se encuentra asociada en forma directa con otras variedades como: peso hectolítrico, densidad y contenido de proteína (Promeranz *et al.*, 1986; Salinas *et al.*, 1992)

En el proceso de elaboración de tortillas se ha encontrado que a mayor dureza del grano, mayor es el tiempo de nixtamalización requerido y viceversa (Ochoa, 1981), hecho que repercute de manera negativa en los costos de producción.

Los maíces suaves (alto proporción de endospermo harinoso) se consideran inadecuados para la obtención de harinas nixtamalizadas, ya que se rompen fácilmente y su procesamiento resulta difícil, pues requieren tiempos precisos de nixtamalización para evitar la obtención de masa chiclosa. Además generan mayores pérdidas de sólidos durante la nixtamalización (Bedolla y Rooney, 1984).

Salinas *et al.* (1995) han señalado que la masa de los maíces duros presenta picos de viscosidad máxima menores que los observados en la de los maíces suaves. También menciona que la elasticidad de las tortillas y la estabilidad durante el procesamiento es mayor en los maíces duros que en los suaves. Esto último permite que la calidad de la masa y la tortilla se altere mínimamente por variaciones en el tiempo de cocimiento alcalino de maíz.

La facilidad de desprendimiento de pericarpio es otra característica de calidad importante para la industria de harinas nixtamalizadas, que se relacionan con la textura y el color de la tortilla. Según Serna *et al.* (1988) es heredable y puede ser incorporada en un genotipo con relativa facilidad.

De acuerdo con lo mencionado por Gómez *et al.* (1987), las características que debe tener un maíz con calidad para la obtención de harinas nixtamalizadas son: 1) endospermo duro con diente pequeño, 2) grano blanco, 3) fácil remoción de pericarpio, 4) grano de tamaño uniforme y 5) baja pérdida de sólidos durante el procesamiento. Por su parte, la industria nacional de harinas nixtamalizadas señala como parámetros de calidad los siguientes aspectos: a) porcentaje de endospermo córneo mayor al 50%, b) peso hectolítrico superior a 74 kg/hl, c) grano blanco con reflectancia mayor a 70, d) baja pérdida de sólidos en el nejayote, e) porcentaje de pericarpio remanente menor de 34%, f) índice de rendimiento

maíz-tortilla superior a 1.5 g que rindan masas fácilmente moldeables en la tortilladora mecánica (Secretaría de Economía, 2001).

Nixtamalización

El proceso de nixtamalización se ha empleado desde tiempos remotos para preparar la tortilla, uno de los alimentos más importantes para la población de Mesoamérica (Rangel, 2004).

Este proceso consiste en el cocimiento del grano de maíz en abundante agua, 1kg de grano de maíz por dos a tres L de agua, adicionando con un álcali, preferentemente Ca(OH)_2 , y sometido a temperaturas ligeramente menores a la de ebullición, durante 30 a 45 minutos, dependiendo de la dureza del maíz (>dureza>tiempo). Después del cocimiento, el grano cocido se deja reposar entre 12 y 14 horas en la solución alcalina. La solución alcalina, denominada nejayote, se desecha y el grano se lava ligeramente. Este producto se denomina nixtamal. El nixtamal se muele en molinos de piedras y se obtiene la masa. Esta se moldea en forma de discos aplanados de 12 a 19 cm de diámetro y entre 2 a 3 mm de espesor, después se cuece, colocándola sobre una superficie caliente (260-320°C) denominado comal, durante 27 s por un lado se voltea y se deja durante 27 s, se vuelve a exponer por el primer plano, se deja el tiempo suficiente para que infle, momento en el que se retira del comal.

La importancia de este alimento ha sido evaluada por muchos investigadores (Serna *et al.*, 1990), los cuales han reportado infinidad de bondades entre las que se encuentran el aumento en la biodisponibilidad de las proteínas y del calcio (Trejo *et al.*, 1982).

Durante el cocimiento del grano se originan reacciones bioquímicas, entrecruzamientos e interacciones moleculares que modifican tanto las características fisicoquímicas, estructurales y reológicas de la masa, como las propiedades estructurales y de textura de la tortilla producida (Rodríguez *et al.*, 1995).

Un alto porcentaje de estos cambios se debe a modificaciones en la estructura del almidón, principal componente químico del maíz con un 72-73 g/100g (Inglett, 1970).

A diferencia de la masa de trigo, donde las propiedades reológicas, estructurales y de textura se modifican atendiendo a los cambios que se producen en las proteínas que lo forman, en el maíz es el almidón el que más influye en dichos cambios. Después de elaborado el nixtamal, se muele para convertirlo en masa. La masa obtenida de esta forma es una mezcla de

material cocido en diferentes grados (Gómez *et al.*, 1990), la cual desarrolla propiedades de cohesión y adhesión características.

La masa obtenida es una mezcla constituida por los polímeros del almidón (amilasa y amilopectina) mezclada con gránulos de almidón parcialmente gelatinizados, gránulos intactos, partes de endospermo y lípidos. Todos estos componentes forman una malla compleja heterogénea dentro de una fase acuosa continua (Gómez *et al.*, 1991).

La reasociación de la amilosa y amilopectina, que depende del tiempo y la temperatura, modifica constantemente el contenido total de agua (Pflugfelder *et al.*, 1988) y su distribución dentro de esta matriz. Este proceso tiene la mayor repercusión en las propiedades reológicas y de textura de los productos elaborados a partir de masa. A pesar de esta complejidad, se ha avanzado en el entendimiento del proceso de nixtamalización y sus efectos en el grano de maíz y convierte la hemicelulosa en gomas solubles. De esta forma, el tratamiento térmico-alcalino gelatiniza el almidón, saponifica parte de los lípidos, libera la niacina y solubiliza parte de las proteínas que rodean los gránulos de almidón. Adicionalmente, debido al pH las cadenas de glucosa a partir de la amilosa y la amilopectina se cargan, lo cual ayuda a disminuir la retrogradación.

De cualquier manera, para unir todos estos eventos y producir una masa de alta calidad, tanto la nixtamalización como la molienda del nixtamal deben de ser óptimos (Robles, 1988).

Durante la nixtamalización, pequeñas cantidades de gránulos de almidón son gelatinizados y la mayor gelatinización se debe a la fricción durante la molienda, durante la cual también se dispersan parcialmente los gránulos hinchados dentro de la matriz, los que actúan como pegamento que mantiene unidas las partículas de masa. Demasiado almidón gelatinizado (debido a un cocimiento excesivo) produce una masa pegajosa que es difícil de manejar. Por otro lado un poco cocimiento produce una masa sin cohesividad que da origen a tortillas de textura inadecuada. Sin embargo, la molienda por si misma no puede ser utilizada para gelatinizar el almidón en un nixtamal que no fue bien cocido (Rooney y Suhendro, 1999). Esta es la principal diferencia entre la masa con el proceso tradicional y la usada para elaborar harinas de maíz nixtamalizado.

Las partículas de las masas tienen cantidades significativas de gránulos libres de almidón con bajo contenido de proteínas, mientras en las harinas de maíz nixtamalizadas las partículas tienen una cantidad de almidón y proteínas similar a la presente en el endospermo del grano de maíz (Gómez *et al.*, 1991).

La ventaja práctica de utilizar harinas de maíz nixtamalizadas es que únicamente se debe rehidratar con agua para obtener la masa, la cual es moldeada y cocida para obtener las tortillas.

Las desventajas del uso de harina de maíz nixtamalizada son su mayor precio, el sabor y la textura de las tortillas, comparadas con la masa, por ello los productores de harinas de maíz nixtamalizadas intentan optimizar los procesos con mejoras en la calidad. Aunque las características fisicoquímicas de las harinas de maíz nixtamalizadas producidas industrialmente son más consistentes, pequeñas variaciones en el proceso afectan significativamente la calidad de los productos elaboradas con éstas (Bello-Pérez *et al.*, 2002).

Entre las principales propiedades fisicoquímicas asociadas con la funcionalidad de las harinas de maíz nixtamalizadas están la distribución del tamaño de partícula, pH, la capacidad de absorción de agua y la reología de las masas (Figuroa *et al.*, 1997; Campus-Baypoli *et al.*, 1999)

Diseños dialélicos

Los diseños dialélicos son métodos de apareamiento que de acuerdo al origen de los progenitores permiten estudiar: a) Aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) de los progenitores y sus cruzas respectivamente, lo cual es posible cuando los progenitores son deliberadamente seleccionados en base a algunas características; b) Estimación de parámetros genéticos: varianza aditiva y de dominancia, lo cual es posible cuando los padres son seleccionados al azar de una población.

Existen fundamentalmente dos clases de experimentos de cruzas dialélicas, a saber: i) los experimentos dialélicos completos, y ii) los experimentos dialélicos parciales.

Reyes (1985) menciona que el término de "cruzas dialélicas" se usa para indicar las cruzas que son posibles con "P" progenitores (entre razas, variedades o líneas). Las cruzas dialélicas se componen de las cruzas simples que pueden lograrse entre los elementos de un conjunto básico de líneas progenitoras. Estas constituyen un proceso estándar de investigación en la genética de plantas y animales. Su empleo actual tiene su origen en el desarrollo de los conceptos básicos de aptitud combinatoria general y específica establecidos por Sprague y Tatum (Martínez, 1983).

Kemphorne y Curnov (1961) mencionan que las cruzas dialélicas son usadas para estimar los componentes genéticos de la variación entre los rendimientos de las cruzas, además, discuten la eficiencia de las cruzas dialélicas para la predicción de las capacidades del rendimiento de varias cruzas y, para la estimación de la habilidad combinatoria general de cada una de las líneas encontradas que el método es más eficiente que otros propuestos.

Aptitud combinatoria

Sprague y Tatum (1942) propusieron el método que incluye a las cruzas dialélicas y generaron los conceptos de aptitud combinatoria (ACG) y específica (ACE).

Entre los métodos existentes para estudiar las cualidades de un conjunto de progenitores se encuentran los diseños dialélicos propuestos por Griffing (1956), que permiten identificar las combinaciones superiores. El término aptitud combinatoria significa la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, medida a través de su progenie (Márquez, 1988). Sin embargo, en una población la aptitud combinatoria debe determinarse en varios individuos con el objeto de seleccionar los que exhiban la más alta aptitud combinatoria. La aptitud combinatoria general (ACG) explica la proporción de la varianza genotípica debida a los efectos

aditivos de los genes, mientras que la aptitud combinatoria específica (ACE) explica la proporción de la varianza genotípica que puede deberse a las desviaciones de dominancia (Gutiérrez *et al.*, 2002).

En un programa de mejoramiento cuya finalidad sea la obtención de híbridos, la aptitud combinatoria específica es más importante que la aptitud combinatoria general, debido a que se aprovechan los efectos no aditivos como la dominancia y la epistasis (Hoegenmeyer y Hallahuer, 1976).

Sing y Chaudary (1985) plantearon que los efectos de ACE son más importantes que los de ACG sólo cuando los materiales han sido sometidos a selección.

La estimación de la aptitud combinatoria de una línea endogámica es fundamental para la formación de híbridos y variedades sintéticas. Inicialmente, la aptitud combinatoria fue un concepto general, utilizada para la clasificación de una línea en relación con su comportamiento en cruzas, actualmente se estima en familias, variedades, cruzas simples o cualquier material que se use como progenitor.

De acuerdo con Meredith (1984) el análisis de la aptitud combinatoria tiene mayor uso en programas de mejoramiento que son

diseñados para explorar heterosis mediante la producción de híbridos F_1 . Estos análisis también proveen información acerca del tipo de acción génica que está presente en la población base y lo cual ayuda en la selección del material progenitor para ser usado en la producción de cruza y poblaciones segregantes.

En la práctica estos conceptos permiten seleccionar líneas con buen comportamiento promedio en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones híbridas específicas con un comportamiento superior a lo esperado en base al promedio de las líneas que interviene en el cruzamiento.

Heredabilidad

Oyervides (1979) define la heredabilidad como la fracción de la varianza fenotípica total de una población segregante atribuida a los efectos genéticos aditivos. Por su parte Allard (1980) define el término heredabilidad como la proporción de la variabilidad observada debida a los efectos aditivos de los genes.

Brauer (1981) indica que los estudios de la heredabilidad son de utilidad para evaluar que parte de la variación total observada en un carácter corresponde a factores genéticos y que parte a factores ambientales.

De la Loma (1975) menciona que, cuanto mayor sea la heredabilidad de un carácter, mayor será el parecido entre el grupo de individuos y sus descendientes y que cuanto mayor sea el componente de variación fenotípica debido al ambiente, menor será la correlación entre la manifestación del carácter en los progenitores y en sus descendientes.

Heterosis

Jugenheimer (1985) dice que la heterosis se manifiesta a sí misma principalmente en las plantas de la generación F1 provenientes de semilla. La heterosis es un fenómeno en el cual el cruzamiento de dos variedades produce un híbrido que es superior en crecimiento, tamaño, rendimiento o en vigor general.

Espinosa (1983) menciona que la heterosis se ha empleado generalmente para incrementar la capacidad de rendimiento. En maíz se utiliza este fenómeno cuando se explota en la F₁, la heterosis que se obtiene al cruzar dos o más líneas. Como una fase complementaria en el proceso de la hibridación cuando se han obtenido líneas, produciéndose la heterosis, la cual puede ser considerada como el fenómeno inverso de la degradación que acompaña a la consanguinidad.

Al combinarse dos o más líneas se obtiene plantas con mayor vigor que sus progenitores, éste será más alto cuando los individuos que lo provocan sean de constitución genética diferente. A mayor diversidad genética, mayor es el grado de heterosis que determina el aumento en crecimiento, altura, rendimiento, resistencia a enfermedades u otra acción de incremento como resultado de una cruce; la heterosis es un sinónimo de vigor híbrido.

III. ARTICULOS

Los resultados obtenidos en la primera parte del estudio de investigación se publico con el título de Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México, en Septiembre de 2008 en la Revista Fitotecnia Mexica en el volumen 31 del número especial 3.

El resultado de la segunda etapa del trabajo de investigación se envió a la Revista Interciencia, para su posible publicación el cual fue denominado: Componentes genéticos de caracteres agronómicos de razas de maíz y su progenie híbrida

**CALIDAD NIXTAMALERA Y TORTILLERA EN MAÍCES CRIOLLOS DE
MÉXICO**

**ALKALINE COOKING AND TORTILLA QUALITY OF MEXICAN MAIZE
RACES**

**Oralia Antuna Grijalva^{1*}, Sergio Alfredo Rodríguez Herrera¹, Gerónimo
Arámbula Villa², Arturo Palomo Gil¹, Edmundo Gutiérrez Arias², Armando
Espinoza Banda¹, Edson Francisco Navarro Orona¹ y Enrique Andrio
Enríquez¹**

¹ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez Km. 2. 27059, Torreón, Coahuila, México. Tel. y Fax 01(871) 7 29 76 76. ²Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Querétaro. Libramiento Norponiente No. 2000, Fraccionamiento Real de Juriquilla. 76230 Querétaro, Qro.

* *Autor para correspondencia* (oantuna_77@hotmail.com)

RESUMEN

En México, como en gran parte de Centro y Sudamérica, el maíz (*Zea mays L.*) es utilizado principalmente para consumo humano, pues con él se elaboran diferentes alimentos, como tortillas. Así, es deseable que el grano que va ser nixtamalizados para la elaboración de tortillas produzca masa con alta humedad, buena extensibilidad y resistencia al corte de las tortillas. En esta investigación se evaluaron cinco tipos raciales de maíces criollos para elaborar tortillas, excepto la raza Dulce. De cada raza de maíz se determinaron las propiedades físicas del grano, masa, y tortillas; en grano, se determinó: dureza, tamaño, humedad, peso hectólitrico, perfil amilográfico y color; en la masa: adhesividad, cohesión y humedad; en las tortillas: tensión, corte, color y humedad. Se encontró que el largo del grano osciló de 11.97 a 18.57 mm, valores que corresponden al maíz Dulce y Pepitilla, respectivamente. La dureza del grano fluctuó entre 11.46 (Tuxpeño) y 4.71 kg (Pátzcuaro 2). La viscosidad máxima de la harina del grano de los maíces evaluados osciló entre 357 y 1813 cp. En el peso por hectolitro, Jala y Tuxpeño cumplen con los requerimientos mínimos establecidos en la norma de calidad (74 kg hL⁻¹) para maíces destinados al proceso de nixtamalización. La humedad del grano, masa y tortilla, fluctuaron resultó entre 10.0-11.6 %, 54.2-58.0 % y 42.30-44.28 %, respectivamente. En textura de tortilla, el maíz Tuxpeño fue el que presentó la menor resistencia a la tensión y al corte, resultó la mejor tortilla elaborada.

Palabras clave: *Zea mays*, razas, características físicas de grano, masa y tortilla.

SUMMARY

In México, like in Central and South America, maize (*Zea mays L.*) is mainly used for human consumption, in different manners; like tortillas. It is desirable then that the maize grain used to make tortillas must produce a dough (mass) with high humidity, extensibility and cut strength. In this study five razes of maize were evaluated for making tortillas. Grain, mass and tortilla physical properties of five maize races (with exception of Dulce) were evaluated. Hardness, size, density (kg hL^{-1}), moisture content, color and amylographic profile of grain were determined. Adhesiveness, cohesiveness and moisture content were evaluated in mass, while tensile strength, cutting force, color and humidity content were evaluated in tortillas. Grain length values varied between 11.97 and 18.57 mm for Dulce and Pepitilla, respectively. Grain hardness oscilated between 11.46 (Tuxpeño) and 4.71 kg (Pátzcuaro 2). Pátzcuaro y Jala showed the highest viscosity, 1813 and 1672 cp, respectively. Jala and Tuxpeño reached the minimum requirements of the nixtamalization quality norms (74 kg hL^{-1}). The minimum and maximum values of moisture content in grain, mass and tortillas, were: 10.0-11.6 %, 54.2-58.0 % and 42.3-44.28 %, respectively. The texture of tortillas elaborated with Tuxpeño had the lowest tension and cutting strength, thus resulting in the best raze for making tortillas.

Index words: *Zea mays*, maize landraces, physical and chemical features of kernel, dough and tortilla.

INTRODUCCIÓN

México posee la mayor diversidad genética de maíz (*Zea mays L.*), la cual se manifiesta en variación de caracteres morfológicos vegetativos, así como de espiga, mazorca y grano, y en la composición química del grano. De las 436 razas de maíz reportadas en el continente americano, 50 se encuentran en México (Goodman y Brown, 1988). De ellas 25 son utilizadas para consumo humano, las cuales tienen diferentes características físicas y funcionales (USDA-ARS, 2005). En éstas se han hecho múltiples cruzamientos para obtener mejores características genéticas, aunque todas ellas de tipo principalmente agronómico. Pocos atributos importantes para los campesinos y consumidores han sido estudiados, como los relativos a la calidad de la tortilla. Un aspecto importante de estas mejoras, y que hasta hoy no se ha sistematizado, es la evaluación del potencial que tienen dichas razas para usos específicos. En los últimos años ha crecido la demanda del maíz destinado al proceso de nixtamalización industrial, lo que ha estimulado el estudio de las características de calidad del grano tanto en los programas de mejoramiento genético como en el proceso industrial de fabricación de productos de maíz nixtamalizado. Como atributos de una tortilla de buena calidad puede considerarse los siguientes: fácil enrollado, suavidad al tacto, olor, sabor textura y plasticidad. Tales atributos se obtienen mediante un procesamiento con concentraciones adecuadas de cal y tiempos apropiados de cocimiento; además es deseable lograr óptimas condiciones sanitarias y reconocida calidad nutricional.

Para la elaboración de tortillas se requiere un grano que produzca masa con alta humedad, buena extensibilidad y resistencia, entre otras características (Arámbula *et*

al., 2001b). La firmeza de la masa está determinada por el tipo de maíz, la dureza del grano, las condiciones de secado, la absorción de agua y el grado de gelatinización de los almidones (Bedolla y Rooney, 1984). Las tortillas de buena calidad se asocian con masas cuyos valores de viscosidad máxima oscilan entre 220 y 330 unidades Brabender (UB) (Bedolla y Rooney, 1984).

El objetivo de esta investigación fue determinar las propiedades físicas de grano y masa, de cinco tipos raciales de maíces criollos, y evaluar su potencial para ser usados en la producción de tortillas

MATERIALES Y MÉTODOS

Los tratamientos consistieron en cinco razas de maíz (Cuadro 1), pertenecientes a los grupos raciales Dulce, Jala, Pepitilla, Pátzcuaro 2 y Tuxpeño. La semilla fue proporcionada por el banco de germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, que fue luego sembrada y cosechada en el ciclo P-V 2006 en Celaya, Gto. El tipo Dulce se incluyó para conocer su comportamiento y comparar en el futuro con cruza con otros tipos raciales.

Propiedades físicas del grano

Las propiedades físicas practicadas a las muestras fueron:

Tamaño de grano. De cada raza se tomaron 10 granos al azar y con un vernier digital Mitutoyo modelo CD-6" CS (Mitutoyo Corp., Japón) se les midió el largo, ancho y espesor del centro del grano. Los resultados se expresaron en mm.

Peso hectolítrico y humedad. El peso hectolítrico y humedad del grano, masa y tortillas se determinaron con los métodos aprobados 55-10 y 44-19 de la American Association of Chemists (AACC, 1998), respectivamente.

Dureza. Se determinó en una muestra de 10 granos, mediante una prueba de resistencia a la penetración medida con un analizador de textura (TA-XT2) provisto con un punzón cónico (ángulo 30°), a una velocidad de 0.5 mm s⁻¹ y una distancia de penetración de 2 mm. Se reportan los datos en kg-f.

Perfil de viscosidad amilográfica. Esta determinación se hizo con un aparato Rapid Visco Analyzer (RVA-3D). Se colocaron 3 g de muestra, ajustados a 14 % de humedad, se agregó agua para completar 28 g. Se obtuvieron las curvas al aplicar un ciclo de calentamiento y enfriamiento de la siguiente manera: inició en 50 °C y permaneció en esta temperatura por 1 min, enseguida se aplicó la rampa de elevación de temperatura de 7.5 °C min⁻¹ hasta alcanzar 92 °C donde permaneció durante 5 min, después se enfrió a una tasa de 7.5°C min⁻¹ hasta 50 °C en la que permaneció durante 1 min, y terminó la prueba a los 22 min. La viscosidad máxima desarrollada se reportó en centipoises (cp).

Color. Se determinó con un colorímetro de reflexión Hunter Lab, Modelo Miniscan (USA), el cual registra la intensidad de luz absorbida por el color negro o la reflejada por el blanco (escala L), así como la descomposición de la luz en los colores básicos: la escala “a” que va del rojo al verde y la “b” del amarillo. Con estos valores se estimó el valor de ΔE basado en la fórmula:

$$\Delta E = \left[(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2 \right]^{1/2}$$

donde: ΔE = diferencia total del color, entre el color de la muestra y el de la referencia y ΔL , Δa , Δb = diferencias absolutas de los valores de L, a y b determinados en la muestra, menos el valor de la placa de referencia.

Elaboración de nixtamal, masa y tortillas

La nixtamalización del grano de maíz. Se hizo en la forma tradicional (Serna *et al.*, 1990). Para la elaboración de la masa, se separó el nejayote o agua de cocimiento del nixtamal; ésta se lavó y se molió en un molino de piedras marca FUMASA modelo US-25. A todos los tratamientos se les adicionó la cantidad de agua necesaria para que la consistencia de la masa fuera adecuada durante el troquelado. La masa adecuada para elaboración de las tortillas se troqueló en una máquina tortilladora manual de rodillo (Casa Herrera, México). Las características físicas de las tortillas fueron: 12 cm diámetro y 1.3 mm de espesor. Las tortillas se cocieron en un comal a 260 ± 10 °C. Se aseguró un cocimiento adecuado de la tortilla para obtener un buen inflado.

Propiedades de la masa de maíz

Adhesión y cohesión. Para estas características se utilizó el aparato Texture Analyzer TA-XT2 (Texture Technologies Corp., Scardales, N.Y./ Stable Micro System, Godalming, Surrey, U.K.) equipado con el accesorio TA-18. Se obtuvo la fuerza máxima registrada en gramos fuerza (g-f).

Propiedades de textura de las tortillas producidas

Fuerza a la tensión y fuerza al corte. Para estas pruebas se utilizó el equipo Texture Analyzer TA-XT2 (Texture Technologies Corp., Scardales, N.Y./ Stable

Micro System, Godalming, Surrey, U.K.) provisto con el accesorio TA-96 para la primera y TA-90 en la segunda. Estas variables se expresaron en g-f.

Color. Se determinó de igual forma que para el grano, en una tortilla tomada al azar y haciendo tres determinaciones en diferentes partes de la misma.

Análisis estadístico

El diseño experimental fue uno completamente al azar con tres repeticiones, y se utilizó la prueba de Tukey (0.05) para la comparación de medias. Los resultados fueron analizados con el paquete estadístico SAS ver. 9.0, (SAS Institute, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas del grano

Se detectaron diferencias ($P \leq 0.05$) en los granos de los cinco tipos raciales de maíz utilizados en este trabajo (Cuadro 2). El largo del grano osciló de 11.97 a 18.57 mm, cuyos valores que corresponden al maíz Dulce y Pepitilla, respectivamente. Por su parte, Arámbula *et al.* (1999) reportaron longitudes de 8 a 12 mm para maíces semicristalinos, que son los más utilizados para producción de tortilla. La dureza del grano fluctuó entre 11.46 (Tuxpeño) y 4.71 kg (Pátzcuaro 2); los términos “duro y suave” se emplean para designar la relación de áreas harinosa/cristalina presentes en el endospermo del grano, característica que influye en la dureza del grano. En este caso las razas Tuxpeño y Dulce presentaron la mayor dureza entre todos los criollos analizados. En el peso hectólitrico, que es una forma de medir la densidad del grano, los valores variaron entre 68.22 y 75.49 kg hL⁻¹; esta característica se utiliza como medida de calidad en el comercio de granos de maíz. De las razas evaluadas, Jala y Tuxpeño cumplieron con el requerimiento mínimo de peso hectólitrico establecido en la norma de calidad (74 kg hL⁻¹) para maíces destinados al proceso de nixtamalización (Secretaría de Economía, 2001).

La humedad inicial del grano de todos los maíces estuvo comprendida entre 10.03 y 11.60 %. El tamaño de grano influye en el contenido de humedad, pues los tamaños pequeños como los de las razas Dulce, Tuxpeño y Pátzcuaro-2 favorecen la hidratación del grano durante la nixtamalización de grano (Sánchez *et al.*, 2007). En el caso del color (ΔE) del grano, donde los valores altos de ΔE denotan mayor

alejamiento del color de la muestra respecto al estándar (placa de porcelana blanca), resultó que los maíces Dulce ($\Delta E = 65.65$) y Pátzcuaro 2 ($\Delta E = 66.79$) fueron los menos blancos, debido a su coloración oscura (rojo). El color del maíz criollo tipo Jala fue amarillo, con un ΔE de 40.42. El color del grano de maíz varía ampliamente entre genotipos y aunque no se considera una propiedad importante para el uso alimentario del mismo, influye considerablemente en la preferencia del consumidor (Mauricio *et al.*, 2004).

Los perfiles amilográficos de los granos fluctuaron de 1813 a 357 cp, donde el valor más alto correspondió a la raza Pátzcuaro 2 y el más bajo a Dulce; Jala fue el segundo más alto en viscosidad (Figura 1). Este comportamiento se debe a que el desarrollo de viscosidad está dado principalmente por el contenido del almidón, como en todos los cereales; en las razas Pátzcuaro 2 y Jala debe esperarse que sus contenidos sean mayores que el resto de los maíces evaluados. La viscosidad está relacionada inversamente con el grado de gelatinización de los almidones. Un almidón, después de gelatinizado y deshidratado, al rehidratarse no desarrolla viscosidad; por el contrario, uno nativo tiende a desarrollar la viscosidad a su máxima capacidad (Arámbula *et al.*, 2001a).

Propiedades de la masa y tortillas producidas

Los valores de adhesión y cohesión de las masas producidas con los maíces criollos evaluados se presentan en el Cuadro 3. En las masas de maíz nixtamalizado se requiere cierta fuerza de adhesividad para que el material se pueda troquelar (Ramírez *et al.*, 1994), ya que sin adhesividad carece de la consistencia suficiente para troquelar la tortilla; por el contrario, una masa demasiado adhesiva, chiclosa,

tampoco permite que se pueda formar la tortilla (Arámbula *et al.* 2001b). En la evaluación de las propiedades de masa y tortilla no se incluyó la raza Dulce, ya que no es apropiada para la elaboración de tortilla.

Se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el grado de adhesividad de las razas, donde Tuxpeño y Pátzcuaro 2 resultaron con los mayores valores (30.3 y 29.7 g, respectivamente), y el menor valor fue para Jala (20.1 g); los valores más altos se encuentran dentro del rango (28-60 g) reportado por Arámbula *et al.* (2001) como adecuado para la producción de tortillas. El contenido de humedad (58 %) de la masa del maíz Pepitilla fue superior ($P \leq 0.05$), a el resto de los maíces que presentaron un comportamiento con valores similares, alrededor de 55 %. Arámbula *et al.* (2000) concluyeron que en una masa de maíz de buena calidad para elaboración de tortillas, la humedad debe oscilar entre 50 y 58 %, rango en el cual están comprendidos los valores de las razas evaluadas. La humedad de la tortilla osciló de 42.3 a 44.28 %, que concuerdan con los reportados en las tortillas elaboradas con diversos tipos de maíz (42.9 %), con un rango de 32.5 a 47.9 %.

El color de la tortilla también presentó diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre las razas evaluadas, lo cual se debió a las diferencias iniciales en color del grano. La tortilla elaborada con la raza Pepitilla resultó con el menor ΔE (33.65), fue la más cercana al color blanco (placa de porcelana blanca), a diferencia de las elaboradas con maíz Pátzcuaro 2 que dio un ΔE de 62.63, el más alejado del blanco; las tortillas de Pátzcuaro 2 presentaron un color bastante oscuro.

La fuerza a la tensión y resistencia al corte son propiedades de textura de las tortillas con las que se evalúan la plasticidad y el grado de dureza del producto; entre más suave y blanda sea una tortilla, requiere menos trabajo para su masticación y el producto será de mejor calidad. En estas características también hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre las razas de maíz (Cuadro 3). La mayor fuerza al corte la presentaron las tortillas elaboradas con masa del maíz tipo Jala (1523 g), y el menor en las elaboradas con el tipo Tuxpeño (891 g). Los valores del Tuxpeño son similares a los reportados por Rangel-Meza *et al.* (2004) para la tortilla de maíz blanco elaborada de manera tradicional, cuya dureza promedio es de 800 g. Los maíces que poseen características para tortilla se caracterizan por tener valores altos de peso de mil granos, ancho del grano, alto rendimiento de tortilla, así como baja resistencia al corte de tortilla (Mauricio *et al.*, 2004).

CONCLUSIONES

El maíz Tuxpeño superó a las razas en dureza y peso hectólitrico. En general, la humedad de la masa de todos los maíces nixtamalizados se encontró en el rango considerado adecuado para producir tortillas (54.2 a 58.0 %), lo que aseguró se produjeran tortillas con buena humedad, cuyos valores oscilaron de 42.30 a 44.28 %. En la textura de las tortillas producidas, el maíz Tuxpeño fue el que presentó la menor resistencia tanto a la tensión como al corte, lo que dio como resultado a la mejor tortilla elaborada.

BIBLIOGRAFIA

- American Association of Cereal Chemists, AACC (1998)** Approved Methods of the AACC. The Association. 10th ed. St. Paul, Minnesota. 1200 p.
- Arámbula V G, S R Mauricio A, J D Figueroa C, J González-Hernández, F C Ordorica A (1999)** Corn masa and tortillas from extruded instant corn flour containing hydrocolloids and lime. *J. Food Sci.* 64:120-124.
- Arámbula V G, M Yáñez L, Y Vorobiev, J González H (2000)** Coeficiente efectivo de difusión de agua en masas de maíz nixtamalizado por extrusión. *Agrociencia* 34:717-727.
- Arámbula V G, J González H, C Ordorica J (2001b)** Physicochemical structural and textural properties of tortillas from extruded instant corn flour supplemented with various types of corn lipids. *J. Cereal Sci.* 33:245-252.
- Arámbula V G, L Barrón A, J González H, E Moreno M, G Luna B (2001a)** Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mays L.*) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano, masa y tortillas de maíz. *Arch. Latinoam. Nutri.* 51:187-194.
- Bedolla S, L W Rooney (1984)** Characteristics of U.S. Mexican instant maiza flour for tortilla and snack preparation. *Cereal Food World* 29:732-735.

Goodman M N, L W Brown (1988) Races of corn. *In:* G F Sprague, J W Dudley (eds). Corn and Corn Improvement. ASA Monograph 18 ASA, Madison, Wisconsin. pp:33-79.

Mauricio S R A, J D Figueroa, S Taba, M L Reyes, F Rincón, A Mendoza (2004) Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:213-222.

Rangel-Meza E, A Muñoz Orozco, G Vázquez-Carrillo, J Cuevas-Sánchez, J Merino-Castillo, S Miranda-Colín (2004) Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México. *Agrociencia* 38:53-61.

Ramírez-Wong B, VE Sweat, I Torres P, Rooney (1994) Cooking time, grinding, and moisture content effect on fresh masa texture. *Cereal Chem.* 71:337-343.

Sánchez F C, Y Salinas M, G Vázquez M, G Velázquez A y G Aguilar M (2007) Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays L.*) sobre de la tortilla. *Arch. Latinoam. Nutr.* 57:295-301.

SAS Institute (2002) SAS User's Guide. Version. 9.0, SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.

Secretaría de Economía (2001) NHMX-FF-034-2001-SCFI. Productos alimenticios no industrializados-para consumo humano-Cereales-Maíz blanco para

proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado-
Especificaciones y métodos de prueba. Dirección General de Normas.
SAGARPA. México D.F. 18 p

Serna S O, M Gómez H, L W Rooney (1990) Technology, chemistry and
nutritional value of alkaline-cooked corn products. *In: Advances in Cereal
Science and Technology*, Vol. X. Y Pomeranz (ed). American Association of
Cereal Chemists, St. Paul, MN. pp: 243-307.

USDA-ARS. (2005) Races of Maize Collection. North Central Regional Plant
Introduction Station. Iowa State University, Ames. Iowa. Digital compilation.
(<http://www.ars.usda.gov/pandp/people/publications.htm.personid=12358>)
(Fecha de consulta el 28 de noviembre de 2007)

Cuadro 1. Descripción de las cinco razas de maíz evaluadas.

Raza	Origen	Tipo de endospermo	Color de grano	Altitud de adaptabilidad (m)
Tuxpeño	Michoacán	Dentado	Crema	1300
Jala	Nayarit	Semicristal-dentado	Amarillo claro	1000
Pepitilla	Guerrero	Harinoso	Blanco-crema	1500
Dulce	Guanajuato	Azucarado-cristalino	Rojo	1700
Pátzcuaro 2	Michoacán	Suave-harinoso	Rojo	1300

Cuadro 2. Características físicas y fisicoquímicas de granos de maíces criollos.

Raza de Maíz	Dureza (kg-f)	Dimensiones			Humedad (%)	Peso hectólitrico (kg hL ⁻¹)	Color (ΔE) [†]
		Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)			
Dulce	9.51 ab	11.97 b	8.21 c	4.86 b	11.1 c	70.83 c	65.65 a
Jala	6.64 c	12.19 a	10.83 a	5.85 a	10.9 d	73.66 b	40.42 c
Pepitilla	8.68 b	18.57 a	7.43 c	3.86 c	10.0 e	70.74 c	37.58 d
Pátzcuaro-2	4.71 c	12.13 b	9.28 b	5.26 ab	11.6 a	68.22 d	66.79 a
Tuxpeño	11.46 a	12.11 b	9.68 b	4.54 bc	11.2 b	75.49 a	42.57 b
DMS (0.05)	1.96	1.31	0.91	0.94	0.05	0.25	1.20

[†] ΔE = Diferencia de color con referencia a la placa blanca. DMS = diferencia mínima significativa (Tukey, 0.05);

Cuadro 3. Características de masa y tortilla elaboradas con maíces criollos.

Razas de Maíz	Textura masa		Humedad		Color (ΔE) [†]	Textura tortilla	
	Cohesión (g)	Adhesión (g)	Masa (%)	Tortilla (%)		Tensión (g)	Corte (g)
Jala	162.6 b	21.1 d	54.2 c	42.30 d	35.08 b	256 a	1.523 a
Pepitilla	100.3 d	25.2 c	58.0 a	43.83 b	33.65 c	247 b	1.119 c
Pátzcuaro 2	156.7 c	29.7 b	55.5 b	42.82 c	62.63 a	155 d	1.303 b
Tuxpeño	178.4 a	30.3 a	55.5 b	44.28 a	33.81 c	204 c	891 d
DMS (0.05)	4.96	1.83	0.16	0.20	0.53	7.57	174

[†] ΔE = Diferencia de color con referencia a la placa blanca. DMS = Diferencia mínima significativa (Tukey, 0.05).

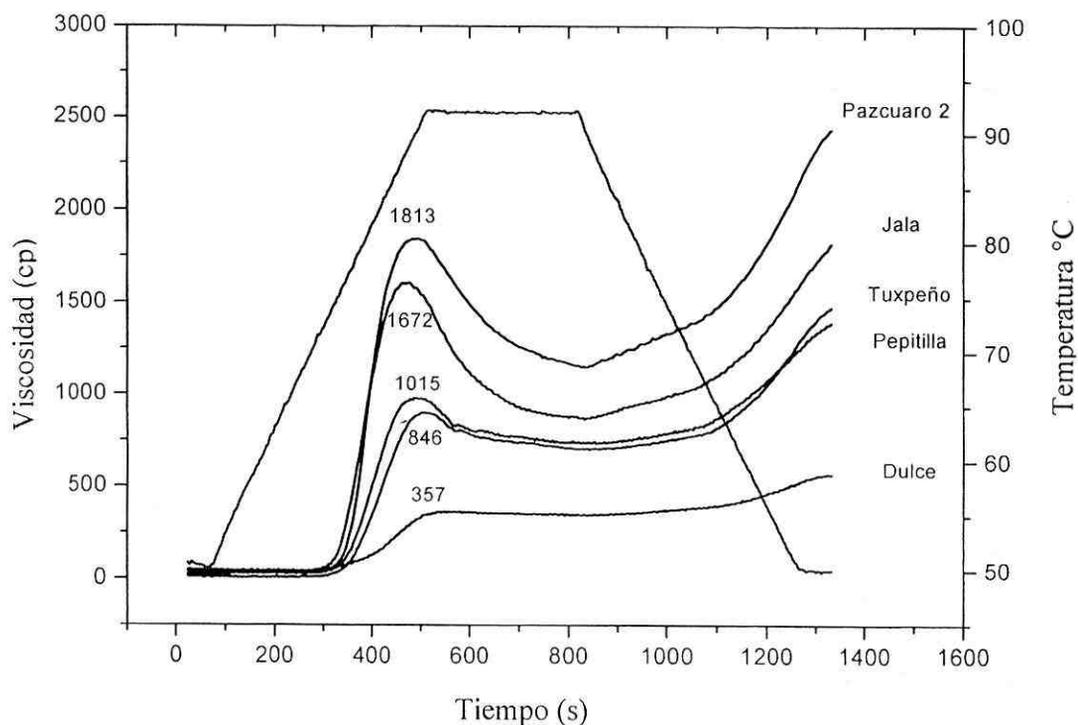


Figura 1. Perfiles amilográficos (viscosidad) de harina de granos de cinco razas de maíces criollos.

COMPONENTES GENETICOS DE CARACTERES AGRONOMICOS DE RAZAS DE MAIZ Y SU PROGENIE HIBRIDA

Genetic Components of Agronomic Characters of Maize Races and their Hybrid Progeny

Oralia Antuna Grijalva¹, Sergio Alfredo Rodríguez Herrera², Arturo Palomo Gil³,
Armando Espinoza Banda⁴, David G. Reta Sánchez⁵, Emiliano Gutierrez del Río⁶,
Edson Francisco Navarro Orona⁷ y Francisco Ariel Camacho Inzunza⁸

RESUMEN

La evaluación de los caracteres agronómicos y sus componentes genéticos son factores importantes para ampliar la caracterización de los materiales criollos de maíz existentes e incluirlos en los programas de mejoramiento genético. El objetivo del presente estudio fue conocer el tipo de acción génica y los efectos de aptitud combinatoria de cinco caracteres agronómicos de cinco criollos de maíz y de sus cruzas. El material genético consistió en cinco razas de maíz (Jala, Tuxpeño, Celaya, Pepitilla y Dulce) y las cruzas entre ellas. Se obtuvo información de altura de planta, días a floración masculina y femenina, rendimiento de materia seca y rendimiento de grano. Los resultados mostraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) entre los genotipos, asimismo en los efectos de ACG en todas las variables, excepto en el rendimiento de materia seca. En ACE la altura de planta y días a floración femenina no presentaron diferencias estadísticas. Se identificaron las cruzas Pepitilla x Dulce y Jala x Tuxpeño y los progenitores Jala y Celaya con un buen potencial de rendimiento de materia seca y rendimiento de grano. La altura de planta, los días a

floración masculina y los días a floración femenina y el rendimiento de grano estuvieron determinados por efectos aditivos, en tanto que el rendimiento de materia seca estuvo bajo el control de acción génica no aditiva.

Palabras clave: *Zea mays* L., cruas dialélicas, efectos genéticos, componentes de varianza.

¹Oralia Antuna Grijalva. Maestro en Ciencias en Tecnología de Semillas. Estudiante de Posgrado en Ciencias Agrarias en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México. ountuna77@hotmail.com

²Sergio Alfredo Rodríguez Herrera. Ph. D. en Agronomía por la Universidad Autónoma Agraria Antonio. Buenavista, Coahuila. seroh90@hotmail.com

³Arturo Palomo Gil. Ph. D. en Agronomía por la New Mexico State University. Profesor investigador en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México. apalomog2009@hotmail.com

⁴Armando Espinoza Banda. Dr. en Agronomía por Universidad Juárez del Estado de Durango. Profesor investigador en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México. aebanda7@yahoo.com.mx

⁵David Guadalupe Reta Sánchez. Ph. D. en Agronomía por la New Mexico State University. Investigador del INIFAP. Campo experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila, México. retadavid@inifap.gob.mx

⁶Emiliano Gutiérrez del Río. Dr. en Agronomía por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Profesor investigador en la Universidad Autónoma Agraria Antonio. Buenavista, Coahuila, México. guredelrio@hotmail.com

⁷Edson Francisco Navarro Orona. Maestro en Ciencias y Estudiante de Doctorado en Ciencias Agrarias en la Universidad Autónoma Agraria Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México. edsonnavarro7@hotmail.com

⁸Francisco Ariel Camacho Inzunza. Maestro en Ciencias en Tecnología de Semillas por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Coahuila, México. Profesor Investigador de la Escuela Superior de Agricultura del Valle del Fuerte de la Universidad Autónoma de Sinaloa, México. inzunza03@hotmail.com

ABSTRACT

Knowledge of the genetic components of agronomic characteristics are important factors to characterize the races of maize in order to be used in plant breeding programs. The objective of this work was to know the genetic action and combining ability of several agronomic characters of five maize races and their respective crosses. Races evaluated were; Jala, Tuxpeño, Celaya, Pepitilla y Dulce. Plant height, male and female flowering date in days after planting, dry matter and grain yield characteristics were evaluated. All variables showed highly significant differences among genotypes. With exception of dry matter yield, all variables showed significant general combining ability effects. Statistically, plant height and female flowering date do not showed specific combining ability differences. Pepitilla x Dulce and Jala x Tuxpeño crosses, and Jala and Celaya parents, were the best dry matter and grain yields. Plant height, male and female flowering dates, and grain yield were under the control of additive genes. On the other hand, dry matter yield showed non additive gene action.

Key words: *Zea mays* L., diallelic crosses, genetic effects, variance components.

INTRODUCCIÓN

La diversidad genética de maíz en el mundo es de más de 300 razas (Wellhausen, 1978; Goodman y Brown, 1988), las cuales se encuentran representadas en los bancos de germoplasma con cerca de 60,000 colectas (Geric *et al.*, 1989).

La colección, conservación, valoración y uso de los recursos genéticos es una actividad inherente de los programas de mejoramiento (Montenegro *et al.*, 2002). De éstos la conservación es quizá el aspecto más importante, dada la gravedad que tiene la pérdida de los recursos naturales (Palomino, 1991).

Tradicionalmente, la conservación de estos materiales se realiza a través de estrategias de conservación *ex situ*, sin embargo, se ha reconocido que el manejo de las poblaciones por los agricultores es una importante estrategia para conservar y aprovechar su variación genética (Hammer, 2003). Asimismo, se ha sugerido que tanto la conservación como el aprovechamiento sustentable de la variabilidad genética pueden lograrse en los sistemas de agricultura tradicional (Dempsey, 1996; Louette y Smales, 1996).

Mediante unos cuantos ciclos de selección las variedades exóticas de maíz pueden ser adaptadas a ambientes diferentes además, la selección practicada en generaciones avanzadas puede conducir a la formación de variedades más rendidoras y con buena heterosis en sus cruces (Vega, 1975; Martínez, 1990; Navas y Cervantes, 1991; Pérez *et al.*, 2000).

En condiciones ambientales favorables algunas variedades de estas razas pueden llegarse a rendir de seis a ocho toneladas de grano (Wellhausen, 1981). Con base en los antecedentes expuestos, el presente trabajo se hizo con el objetivo de determinar el potencial genético y de rendimiento de cinco criollos de maíz y de sus cruzas.

MATERIALES Y METODOS

El material genético utilizado constó de cinco razas de maíz provenientes del banco de germoplasma del CIMMYT. Estas fueron: Celaya, Jala, Pepitilla, Tuxpeño y Dulce. Los materiales se establecieron en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro de la Unidad Laguna, localizado en la región agrícola de la Comarca Lagunera, ubicada entre los paralelos 25° 32' de LN y los 103° 27' LW, con una altitud de 1200 msnm, temperatura media anual de 21°C y precipitación media anual de 220 mm.

Las cruzas se realizaron en el ciclo primavera-verano de 2009 y la evaluación se llevó a cabo en el ciclo de verano 2009, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió de dos surcos separados a 0.80 m. La longitud del surco fue de 5.0 m con 33 plantas separadas a 0.15 m para contar con una población de 82500 plantas ha⁻¹. Los caracteres evaluados fueron: altura de planta (AP), días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF), rendimiento de materia seca y rendimiento de grano (RG).

Se realizó un análisis genético utilizando el modelo 2 de Griffing (1956), en el cual se incluyen las cruzas directas $F_1 p(p-1)/2$ y los progenitores, bajo el modelo lineal siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ijk}$$

donde: Y_{ijk} = valor fenotípico observado de la craza i y j , en el bloque k ; μ = media general; g_i , g_j = efecto de la aptitud combinatoria general (ACG) del i -ésimo o

j -ésimo progenitor; s_{ij} = efecto de la aptitud combinatoria específica (ACE) de la cruce de los progenitores i , j ; y e_{ijkl} = efecto aleatorio del error correspondiente a la i , j , k , l -ésima observación.

También se calcularon las varianzas de ACG (V_{acg}) y ACE (V_{ace}) con las que se estimaron los componentes de varianza aditiva ($V_A = 2V_{acg}$), de dominancia ($V_D = V_{ace}$) y el valor de heredabilidad (h^2), para cada una de las variables evaluadas. Para la comparación de medias de cruces y progenitores se utilizó la Prueba de Tukey al 0.05 de probabilidades.

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis genético presentó diferencias significativas, al 0.05 y 0.01 de probabilidad, para cruza y ACG en altura de planta (AP), días a floración masculina (DFM); días a floración femenina (DFF) y rendimiento de grano (RG). En ACE se tuvieron diferencias significativas al 0.05 de probabilidad en las variables días a floración masculina (DFM), rendimiento de materia seca (RMS) y rendimiento de grano (RG).

Los coeficientes de variación en las variables AP, DFM y DFF fueron aceptables de acuerdo con Barrera *et al.* (2005), los cuales oscilaron de 5.2 % a 10.4% sin embargo, en RMS, y RG se presentaron valores altos con 25.6 y 39.9% respectivamente. Los altos coeficientes de variación y los bajos rendimientos obtenidos pudieron haberse visto afectados por la presencia de carbón común del maíz o “huitlacoche” (*Ustilago Maydis*) que afecto en su mayoría a los genotipos evaluados (Cuadro 1).

Los cuadrados medios de ACG fueron mayores que los de ACE en todos los caracteres evaluados a excepción de rendimiento de materia seca (RMS), indicando que la varianza aditiva es de mayor magnitud que la de dominancia, coincidiendo estos resultados con Villanueva *et al.* (1994). La predominancia de ACE en RMS es señal de que ésta característica es mayormente controlada por acción génica no aditiva.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para cinco características evaluadas en cinco maíces criollos.

FV	gl	AP (m)	DFM (d)	DFF (d)	RMS (kg ha ⁻¹)	RG (kg ha ⁻¹)
Rep	3	0.09ns	25.17ns	8.77ns	721262 ns	401040 ns
Cruzas	14	0.33**	48.98**	102.31**	2823129 ns	1560784**
ACG	4	0.90**	98.29**	263.15**	1381314 ns	3599992**
ACE	10	0.10ns	29.25*	37.98ns	3399855*	745100*
Error	42	0.07	11.56	19.65	1486064	326711
Total	59					
cv(%)		10.4	4.23	4.96	26.56	39.89

*** = Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; AP: Altura de planta, DFM: Días a floración masculina; DFF: Días a floración femenina; RMS: Rendimiento de materia seca y RG: Rendimiento de grano.

La comparación de medias de las cinco variables agronómicas señala que los progenitores y sus cruzas fueron estadísticamente iguales, pero numéricamente las cruzas superaron a los progenitores a excepción de altura de planta (AP) y días a floración femenina (DFF) donde el maíz criollo Pepitilla superó a todos los materiales con una altura de planta de 3.01 m y resultó ser más tardío con 98 días a floración femenina.

La cruza de Pepitilla x Tuxpeño y Jala x Tuxpeño, así como la raza Tuxpeño fueron los más tardíos en días a floración masculina con 86, 84 y 85 días, respectivamente. Los materiales más precoces fueron Celaya x Tuxpeño (77 d), Celaya x Jala (75 d) y Celaya x Dulce (73 d). En días a floración femenina los progenitores más tardíos

fueron Pepitilla (98 d), Tuxpeño (96 d) y Jala (95 d), y las cruces más tardías fueron Jala x Tuxpeño, Pepitilla x Tuxpeño, y Pepitilla x Dulce con 93 días de siembra a floración femenina, manifestándose el efecto de las razas Pepitilla y Tuxpeño en el comportamiento de las cruces donde intervienen ya que son las más tardías tanto a floración femenina como masculina. El progenitor Dulce, las cruces Celaya x Jala y Celaya x Dulce fueron las más precoces con valores que oscilaron de 81 a 83 días a inicio de FF.

Aún y cuando no se detectaron diferencias estadísticas en producción de MS entre genotipos, a pesar de las diferencias tan notorias en los rendimientos, destacan por su alto rendimiento la cruce Pepitilla x Dulce, y los progenitores Jala y Celaya, con valores promedio de 5894, 5771 y 5744 kg ha⁻¹, respectivamente. Entre los genotipos con menor rendimiento de materia seca se pueden citar a Pepitilla y las cruces Celaya x Dulce y Celaya x Jala con producciones de 3815, 3611 y 3372 kg de MS ha⁻¹, respectivamente.

Las cruces Jala x Tuxpeño y Celaya x Jala así como el progenitor Celaya sobresalieron en producción de grano con valores que van de 2480 a 2086 kg ha⁻¹, el resto de los materiales se caracterizaron por su bajo rendimiento ubicando a las cruces Pepitilla x Tuxpeño, Pepitilla x Dulce y el progenitor Pepitilla como los de menor producción de grano con 913, 620 y 270 kg ha⁻¹, respectivamente.

Cuadro 2. Medias de caracteres agronómicos de maíces criollos y sus cruzas.

Genotipo	AP	DFM	DFF	RMS	RG
	(m)	(d)	(d)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
Pepitilla	3.01	80	98	3815	270
Jala x Pepitilla	2.99	83	91	4414	2027
Jala x Tuxpeño	2.94	84	93	5470	2480
Pepitilla x Tuxpeño	2.89	86	93	4701	913
Pepitilla x Dulce	2.86	82	93	5894	620
Tuxpeño	2.86	85	96	4953	1210
Celaya x Tuxpeño	2.72	78	87	4867	1760
Jala	2.60	82	95	5771	1424
Jala x Dulce	2.57	80	88	4366	1320
Celaya x Pepitilla	2.56	82	88	3910	1146
Celaya	2.44	80	88	5744	2169
Tuxpeño x Dulce	2.40	80	87	4049	1033
Celaya x Dulce	2.31	73	81	3611	1926
Celaya x Jala	2.23	75	82	3372	2086
Dulce	2.13	78	83	3828	1105
*Tukey	0.70	8.65	11.28	3103	1455

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, ≤ 0.05).

AP: Altura de planta, DFM: Días a floración masculina; DFF: Días a floración femenina; RMS: Rendimiento de materia seca y RG: Rendimiento de grano.

Aptitud combinatoria

Los criollos Jala y Tuxpeño mostraron efectos positivos de ACG en todas las variables, en tanto que Celaya reflejó efectos positivos de ACG solo en rendimiento de grano (RG). El criollo Pepitilla, en altura de planta (AP), días a floración masculina y femenina, presentó valores positivos de ACG. El progenitor dulce resultó con efectos negativos de ACG en todas las variables (Cuadro 3).

En rendimiento de grano, los criollos Celaya y Jala mostraron los mayores efectos de ACG. Los valores de ACG para altura de planta (AP), días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF) y rendimiento de materia seca (RMS), indican que los criollos Jala, Pepitilla y Tuxpeño presentan una buena combinación, reflejándolo con un incremento en dichos caracteres. Sin embargo es deseable contar con materiales de porte bajo que toleren altas densidades y resistencia al acame, sin descuidar la relación positiva de la altura de planta con el potencial de rendimiento de grano (Antuna *et al.*, 2003).

Para los efectos de ACE de las cruzas no se encontró un patrón definido entre las variables evaluadas. En cada variable se encontraron efectos positivos de ACE de cruzas específicas, siendo estas diferentes en cada caso.

Para altura de planta (AP) las cruzas Jala x Pepitilla, Jala x Tuxpeño y Pepitilla x Dulce presentaron los mayores efectos heteróticos entre sus padres reflejándolo con una mayor altura, sin embargo, lo más recomendable es que el resultado de la cruce sea lo menos expresivo para no obtener híbridos muy altos.

Por otra lado en DFM las cruzas con mayores valores positivos de ACE fueron para Celaya x Pepitilla, Pepitilla x Tuxpeño y Pepitilla x Dulce, para días a floración femenina (DFF) los mayores efectos positivos de ACE fueron en las cruzas Jala x Tuxpeño y Pepitilla x Dulce. Reflejándolo en su progenie híbrida al ser más tardías, sin embargo lo más recomendable es que las cruzas sean lo menos expresivas para obtener híbridos precoces, por lo tanto las cruzas tolerables son aquella que obtienen valores negativos ya que estas son las más precoces.

Para rendimiento de materia seca (RMS) las cruzas de mayor ACE fueron Pepitilla x Dulce, Jala x Tuxpeño y Celaya x Tuxpeño por el contrario, las cruzas Celaya x Jala y Celaya x Dulce mostraron valores altos y negativos de ACE en ambos casos, los valores de ACE están directamente relacionados con la producción obtenida por dichos genotipos Cuadro 3).

En rendimiento de grano (RG) se obtuvieron efectos positivos de ACE para Jala x Pepitilla (763 kg ha^{-1}), Jala x Tuxpeño (736 kg ha^{-1}) y Celaya x Dulce (326 kg ha^{-1}). Se observa que la craza Celaya x Dulce resulto con los mejores efectos de ACE, pero sin embargo no se ubico entre las de mayor rendimiento, lo que contradice a la hipótesis de que el alto rendimiento de las cruzas se debe a altos efectos de ACE (Reyes *et. al.*, 2004).

En rendimiento de materia seca (RMS) y rendimiento de grano (RG) se esperaba que las cruzas de mayor rendimiento hubieran sido aquéllas resultantes de cruzar dos líneas de altos efectos positivos de ACG sin embargo, no resulto así en este estudio,

lo cual sugiere que no necesariamente las líneas con alta ACG pueden producir cruzas sobresalientes en RMS y RG.

Resultados similares fueron obtenidos por Cano *et al.* (2000) y Guillén *et al.* (2009) al cruzar germoplasma de efectos negativos de ACG y obtener valores altos y positivos de ACE de cruzas.

La identificación de germoplasma con propósitos de utilización en programas de mejoramiento genético, debe tomar en cuenta los efectos de ACG y ACE, dependiendo de los objetivos específicos (Montenegro *et al.*, 2002). Por lo tanto los criollos Jala y Tuxpeño en base a los mejores efectos de ACG pueden incluirse para obtener variedades sintéticas y las cruzas con los mejores efectos de ACE pueden formar parte de un programa de mejoramiento para formación de híbridos.

Cuadro 3. Estimación de efectos genéticos para las variables agronómicas.

	AP	DFM	DFF	RMS	RG
	(m)	(d)	(d)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
Efectos genéticos					
μ de híbridos	2.650	80.07	88.07	4465	1531
μ padres evaluados	2.610	80.80	91.70	4822	1235
Heterosis promedio	0.042	-0.72	-3.62	-356	295
Efectos de ACG					
Celaya	-0.158	-2.20	-3.20	-36	380
Jala	0.018	0.47	0.86	236	309
Pepitilla	0.216	1.37	3.34	-136	-478
Tuxpeño	0.125	2.05	2.11	212	1.57
Dulce	-0.201	-1.70	-3.20	-275	-212
Efectos de ACE					
Celaya x Jala	-0.260	-3.34	-4.69	-1412	-35
Celaya x Pepitilla	-0.130	2.01	-1.76	-501	-187
Celaya x Tuxpeño	0.120	-2.66	-0.94	106	-54
Celaya x Dulce	0.032	-3.66	-2.36	-660	326
Jala x Pepitilla	0.122	0.83	-2.33	-270	763
Jala x Tuxpeño	0.163	1.15	0.23	436	736
Jala x Dulce	0.117	0.40	-0.19	-179	-209
Pepitilla x Tuxpeño	-0.085	1.76	-1.83	41	-42
Pepitilla x Dulce	0.214	2.01	3.23	1722	-121
Tuxpeño x Dulce	-0.154	-0.91	-1.44	-471	-188

AP: Altura de planta, DFM: Días a floración masculina; DFF: Días a floración femenina;

RMS: Rendimiento de materia seca y RG: Rendimiento de grano.

En las varianzas de ACG (Cuadro 4) para rendimiento de materia seca se encontraron valores negativos, lo cual proporciona estimaciones negativas en la varianza aditiva (VA) y de dominancia (VD) y por consecuencia resulta en valores incorrectos de heredabilidad (h^2).

La relación entre los cuadrados medios de ACG (CM_{ACG}) sobre los cuadrados medios de ACE (CM_{ACE}), señala que, de los caracteres evaluados, RMS obtiene los valores más pequeños debido a que dicha variable presenta valores mayores en los efectos no aditivos. Por lo tanto el tipo de acción génica que predomina en los caracteres evaluados en este estudio es la aditiva.

Ambas varianzas (aditiva y de dominancia) estuvieron presentes en las variables agronómicas evaluadas lo cual se esperaba dado a que el origen paternal es contrastado y de alta homocigosis, como lo señala Gómez y Valdivia (1988), quien menciona que para obtener mejor respuesta heterótica sería conveniente combinar germoplasma proveniente de diferentes áreas de adaptación.

En relación a la heredabilidad (h_2) los valores mayores se presentaron en altura de planta (0.40), días a floración femenina (0.39) y rendimiento de grano (0.32) y la menor heredabilidad fue para días a floración femenina con 0.23. Sin embargo estos valores se consideran valores intermedios de acuerdo con Hallauer y Miranda (1988) quienes indican que un valor de heredabilidad de inferior a 0.20 es bajo, de 0.21 a 0.50 es intermedio y mayor de 0.50 es alta.

Cuadro 4. Componentes de varianza de variables agronómicas.

Variabes	VA	VD	VE	h ²	I_l^*
AP	0.05	0.007	0.14	0.40	8.42
DFM	4.93	4.42	20.91	0.23	3.36
DFF	16.08	4.58	40.31	0.39	6.92
RMS	-14481 [†]	478447	1964511	0.00	0.40
RG	2039920	104597	635229	0.32	4.83

V_A , V_D , V_E = Varianza Aditiva, Dominancia y Ambiental, respectivamente; h^2 = heredabilidad; * $I_l = (CM_{ACG})/(CM_{ACE})$; †Valores negativos fueron considerados igual a cero; AP: Altura de planta, DFM: Días a floración masculina; DFF: Días a floración femenina; RMS: Rendimiento de materia seca y RG: Rendimiento de grano.

CONCLUSIONES

La expresión fenotípica y los efectos genéticos de las cinco razas y su progenie señalan una asociación inconsistente entre las variables en estudio, lo cual indica un comportamiento independiente en la expresión de los caracteres agronómicos.

Los mayores efectos de aptitud combinatoria general (ACG) se detectaron en el progenitor Jala y Tuxpeño en la variable de rendimiento de materia seca (RMS) y, para rendimiento de grano (RG) fue en los progenitores Celaya y Jala. Mientras que los mayores efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) fueron para las cruzas Jala x Tuxpeño y Pepitilla x Dulce. Los mejores rendimientos de grano fueron obtenidos por las cruzas Jala x Pepitilla y Jala x Tuxpeño. Las razas con mayor ACG pueden incluirse en un programa de mejoramiento para la obtención de variedades sintéticas. Asimismo las cruzas con mayor ACE pueden incluirse para la formación de híbridos.

Las características agronómicas estudiadas estuvieron determinadas por efectos aditivos. En la expresión del rendimiento de materia seca los efectos de tipo no aditivo fueron el componente principal.

LITERATURA CITADA

Antuna G O, Rincón S F, Gutiérrez del R E, Ruiz T N A, Bustamante G L (2003) Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas de líneas de maíz. Rev. Fitotec. Mex. 26 (1):11-17

Barrera G E, A Muñoz O, F Márquez S, A Martínez G (2005) Aptitud combinatoria de razas de maíz mejoradas por retrocruza limitada. I: Caracteres agronómicos. Rev. Fitotec. Mex. 28(3):231-242.

Cano R P, Ramírez R G, Ortégón P J, Esparza M J H, Rodríguez H S (2000) Análisis dialélico para vigor de semilla de melón. Agrociencia, 34:337-342.

Dempsey G J (1996) *In situ* conservation of crops and their relatives: A review of current status and projects for wheat and maize. NRG Pape 96-108. CIMMYT, México, D.F. 33 p.

Geric I, M Zlokolica, C Geric and C W Stuber (1989) Races and populations of maiza in Yugoslavia. Isozyme variation and genetic diversity. Systematic and ecogeographic studies on crop genepools 3. IBPGR. Italy. 108 p.

Gómez M N, Valdivia B R (1988) Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. Rev. Fitotec. Mex. 11(1):35-49.

Goodman M N and Brown L W (1988) Races of corn *In*: G F Sprague, J W Dudley (eds.) Corn and Corn Improvement. ASA Monograph 18 ASA, Madison, Wisconsin. Pp:33-79.

Griffing B (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing Systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.

Guillén De la C P, De la Cruz L E, Castañón N G, Osorio O R, Brito M N P, Lozano Del R A, López N U (2009) Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10:101-107.

Hallauer A R and Miranda J B (1988) Quantitative Genetics in Maize Breeding. Pp. 159-249. Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. 468 p.

Hammer K (2003) A paradigm shift in the discipline of plant genetics resources. *Genetics Resources and Crop Evolution* 50:3-10.

Louette D and M Smale (1996) Genetic diversity and maize seed management in a traditional Mexican community: Implications for *in situ* conservation in maize. NRG paper 96-103. México, D.F.

Martínez A J (1990) Selección para adaptación en Chapingo de una población de maíz Tuxpeño. *Agrociencia serie Fitociencia* 4(1):69-84.

Goodman M N and Brown L W (1988) Races of corn *In*: G F Sprague, J W Dudley (eds.) Corn and Corn Improvement. ASA Monograph 18 ASA, Madison, Wisconsin. Pp:33-79.

Griffing B (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing Systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.

Guillén De la C P, De la Cruz L E, Castañón N G, Osorio O R, Brito M N P, Lozano Del R A, López N U (2009) Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10:101-107.

Hallauer A R and Miranda J B (1988) Quantitative Genetics in Maize Breeding. Pp. 159-249. Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. 468 p.

Hammer K (2003) A paradigm shift in the discipline of plant genetics resources. *Genetics Resources and Crop Evolution* 50:3-10.

Louette D and M Smale (1996) Genetic diversity and maize seed management in a traditional Mexican community: Implications for *in situ* conservation in maize. NRG paper 96-103. México, D.F.

Martínez A J (1990) Selección para adaptación en Chapingo de una población de maíz Tuxpeño. *Agrociencia serie Fitociencia* 4(1):69-84.

Villanueva V C, F Castillo G, J D Molina G (1994) Aprovechamiento de cruzamiento dialélicos entre híbridos comerciales de maíz: Análisis de progenitores y cruza. *Rev. Fitotec. Mex.* 17:175:185.

Wellhausen E J (1978) Recent developments in maize breeding in the tropics. *In:* Walden D B (ed.) maize breeding and genetics. John wiley & Sons. USA. Pp:59-84.

Wellhausen E J (1981) razas y variedades mexicanas de maíz y su importancia en el mejoramiento genético. *In:* Memoria del Simposio Nacional: El maíz en México, su Pasado, su Presente y su Futuro. Guadalajara, Jalisco, México. pp: 75-80.

IV. CONCLUSIONES

En calidad nixtamalera y de tortilla de las cinco razas evaluadas, el maíz Tuxpeño supero a todos en dureza y peso hectólitrico. Así mismo fue el que presentó la menor resistencia tanto a la tensión como al corte lo que dio como resulta una mejor tortilla elaborada.

En caracteres agronómicos los progenitores Jala y Tuxpeño mostraron las mayor aptitud combinatoria general (ACG) para rendimiento de materia seca (RMS) en tanto que Celaya y Jala fueron los mejores en rendimiento de grano (RG). En aptitud combinatoria específica (ACE) los mejores efectos de se presentaron en las cruzas Jala x Tuxpeño y Pepitilla x Dulce. Los mayores rendimientos de grano fueron obtenidos por la cruz a Jala x Pepitilla y Jala x Tuxpeño.

Los maíces criollos tienen valiosa información que se puede explotar en nuevas variedades, sean sintéticas o híbridos de alto rendimiento. Tal es el caso del maíz Tuxpeño que presenta buena calidad para masa y tortilla así como buen comportamiento agronómico ya que resulto con buena aptitud combinatoria general (ACG) y estuvo presente en las cruzas de mayor aptitud combinatoria específica (ACE).

V. LITERATURA CITADA

- Allard R W (1980) Principios de la mejora genética de las plantas Cuarta edición Ediciones Omega S A Barcelona 498 p.
- Bedolla S, L W Rooney (1984) Characteristics of U.S. Mexican instant maize flour for tortilla and snack preparation. *Cereal Food World* 29:732-735.
- Bello P L A, P Osorio D, E Agama A, C Núñez S y O Paredes L (2002) Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia* 36:319-328.
- Brauer H O (1981) Fitogenetica aplicado. Editorial ELSA. México. 518 p.
- De la Loma J L (1975) *Génetica general y aplicada* Editorial UTEHA México.
- Jugenheimer W R (1985) *Maíz. Variedades mejoradas, método de cultivo y producción de semillas.* Editorial LIMUSA. México. 814 p.
- Campus B O N, E C Rosas B, P I Torres Ch, B Ramírez W and S O Serna S (1999) Physicochemical changes of starch during maize tortilla production. *Starch/Starke* 51:173-177.
- De la Loma J L (1975) *Genética general y aplicada.* Editorial UTEHA. México
- Espinosa C A (1983) *Metodología de investigaciones en maíz.* Publicación especial No. 45. Talleres gráficos de publicaciones e impresiones. SARH. México.
- Figueroa J D, C J González H, G Arámbula V y E Morales S (1997) Tecnologías ecológicas para la producción de tortilla. *Avance y Perspectiva* 16:363-374.
- Goodman M N, L W Brown (1988) Races of corn. *In: G F Sprague, J W Dudley (eds). Corn and Corn Improvement.* ASA Monograph 18 ASA, Madison, Wisconsin. pp:33-79.
- Gómez M H, L W Rooney, R D Waniska and R L Pfluggelder (1987) Dry corn masa flours for tortilla and snack food production. *Cereal Foods World* 32(5):372-377.

- Gómez M H, R D Waniska and L W Rooney (1990) Effects of nixtamalization on grinding conditions on the starch in masa. *Starch/Stärke* 42:475-482.
- Gómez M H, R D Waniska and L W Rooney (1991) Starch characterization of nixtamalized corn flour. *Cereal Chem.* 68:578-582.
- Griffing B (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing Systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Gutiérrez R E, Palomo G A, Espinoza B A, De la Cruz L E (2002) Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(3):271-277.
- Hernández X E, G Alanís (1970) Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones fitogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 1:3-30.
- Hoegenmeyer T C, Hallahuer A R (1976) Selection among and within full-sib families to develop single crosses of maize. *Crop. Sci.* 16(1): 76-80.
- Inglett G E *Corn: culture, processing, products* (1970) ed. AVI Publishing Company, Inc., London. Eng. 145 p.
- Kempthorne O, Curnoc R N (1961) The partial diallel cross. *Biometrics* 17:229-250.
- Márquez S F (1988) *Genotecnia vegetal*. Tomo II. Primera edición. Editorial AGTESA. México. 563 p.
- Martínez B F, Martínez F H E, San Martín M E, Sánchez S F, Chang KY, Barrera A D, Rios E. (2001) Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalization process. *J Sci Food Agri.* 81(15):1455-1462.
- Meredith W R Jr (1984) *Quantitative genetics* In: R J Kohel and C F Lewis (eds) *Cotton Amer Soc Agron Monograph 24* Madison, Wis USA.
- Ochoa C O J (1981) Estudio de los factores dureza, temperatura y tiempo de nixtamalización del maíz (*Zea mays* L.) Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México. 97 p.
- Oyervides G M (1979) Estimación de parámetros genéticos, heterosis e índice de selección en variedades tropical de maíz. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados. México. 118 p.
- Plugfelder R L, L W Rooney and R D Waniska (1988) Dry matter losses in commercial corn masa production. *Cereal Chem.* 65:127-132.

- Promeranz Y, G E Hall, Z Z Czuchajowska and F A Lai (1986) Test weight, Hardness and breakage susceptibility of yellow dent corn hybrids. *Cereal Chemistry* 63(4):349-351.
- Rangel M E, A Muñoz O, G Vázquez C, J Cuevas S, J Merino C, S Miranda C (2004) Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México. *Agrociencia* 38:53-61.
- Reyes C P (1985) *Fitogenotecnia básica y aplicada* Primera edición ACT Editor S A México D F.
- Robles R R, Murray E D, Paredes L O (1988) Physicochemical changes of maize starch during the lime-cooking treatment for tortilla making. *Int. J Food Sci Tech.* 23: 91-98.
- Rodríguez M E, Yañez J M, Figueroa J D C, Martínez B F, González H J and Martínez M J L (1995) The influence of slaked lime content on the processing conditions of cooked maize tortillas: changes of Thermal, structural and rheological properties. *Z. Lebensm Unters Forsch.* 201:236-240.
- Rooney L W and E L Suhendro (1999) Perspectives on nixtamalización (alkaline cooking) of maize for tortillas and snacks. *Cereal Foods World* 44:466-470.
- Salinas M Y, B F Martínez y E J Gómez (1992) Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea mays* L.) *Arch. Latin. Nutr.* 42:59-63.
- Salinas M Y, J Castillo M, G Vásquez C. (1995) Aspectos reológicos y de textura en masa y tortilla de maíz. *Alimentos* 20:4-11.
- Salinas M Y y Pérez P H (1997) Calidad nixtamalera-tortilla en maíces comerciales de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 20:121-136.
- Secretaría de Economía (2001) NHMX-FF-034-2001-SCFI. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-Cereales-Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado- Especificaciones y métodos de prueba. Dirección General de Normas. SAGARPA. México D.F. 18 p.
- Serna S S O, M H Gómez and L W Rooney (1990) Technology, chemistry and nutritional value of alkaline cooked corn products. Chapter 4. *In: Advance in Cereal Science and Technology.* Pomeranza Y (ed.) Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul MN. Vol X: 243-307.
- Serna S S O, S J Richmond, M H Gómez, A J Bockholt and L W Rooney (1988) Methods to evaluate the alkaline cooking properties and pericarp removal of sorghum and maize. (Abstr.) *Cereal Foods World* 33:673.

- Sprague G F and L A Tatum (1942) General vs specific combining ability in single crosses of corn J Amer Soc Agron 34:923-932.
- Sing R K, Chaudary B D (1985) Biometrical methods in quantitative genetic analysis. Kalyani Publisher. New Delhi, India 319p.
- Trejo G A, Feria M A and W Altamirano C (1982) The rollo f lime in the alkaline treatment of corn for tortilla preparation. En: Adv. Chem. Series. No. 198. Eds. R.E. Feeney and J. R. Whitaker. American Chemical Society. Pp. 245-263.
- Wellhausen E J, L M Roberts y E X Hernández (1951) Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Oficina de Estudios especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería, México, D.F. 237 p.

VI. APENDICE



REVISTA FITOTECNIA MEXICANA

01 de Abril del 2008

DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA ANTONIO NARRO
UNIDAD LA LAGUNA
KM. 2 PERIFÉRICO RAÚL LÓPEZ SÁNCHEZ
27059 TORREÓN

Estimada Dra. Antuna,

Me es grato informarle que su manuscrito intitulado **"CALIDAD NIXTAMALERA Y TORTILLERA EN MAÍCES CRIOLLOS DE MÉXICO"**, con clave **XXII/50-46/08** (1ª versión), fue considerado aceptable por los dos editores asignados y por el revisor de estilo, para ser publicado como Nota Científica en el tercer número especial de la RFM. Adjunto los dictámenes correspondientes con las sugerencias de corrección.

Para continuar el proceso editorial, es necesario que corrija su escrito con base en las observaciones de los editores y del revisor de estilo. Le ruego que sea cuidadoso al hacer las correcciones, ya que no habrá otra oportunidad de hacerlas. La versión corregida (una impresa y una electrónica) deberá ser regresada a la RFM, junto con las revisiones originales (las cuales no podrán ser modificadas ni deberán tener anotaciones adicionales), en un plazo de 7 días naturales. Considere que si la RFM no recibe oportunamente el expediente completo, su escrito no podrá ser incluido en el número especial mencionado.

NOTA IMPORTANTE: En la versión corregida deberán resaltarse (con texto a color o subrayado) todos los cambios efectuados, para facilitar la siguiente revisión. En carta aparte se deberá detallar cada uno de los cambios realizados y, sobre todo, justificar científicamente las sugerencias que no hayan sido aceptadas por los autores (de otra manera se consideraría que los autores no atendieron las sugerencias y el escrito sería rechazado).

Atentamente

Oralia Antuna Grijalva^{1*}, Sergio A. Rodríguez
Herrera¹, Gerónimo Arámbula Villa², Arturo
Palomo Gil¹, Edmundo Gutiérrez Arías², Ar-
mando Espinoza Banda¹, Edson F. Navarro
Orona¹ y Enrique Andrio Enriquez¹

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna. Perifé-
ro Raúl López Sánchez Km. 2. 27059, Torreón, Coahuila, México.
Tel. y Fax 01(871) 729 7676. ²Centro de Investigación y de Estudios
Avanzados. Unidad Querétaro. Libramiento Norponiente Núm. 2000,
Carretero de San Juan de los Ríos. 76230, Querétaro, Qro.

*Autor para correspondencia (oantuna_77@hotmail.com)

RESUMEN

En México, como en gran parte de Centro y Sudamérica, el
maíz (*Zea mays* L.) es utilizado principalmente para consumo
humano, pues con él se elaboran diferentes alimentos, como las tor-
tillas. El grano que va ser nixtamalizado para la elaboración de
tortillas debe producir masa con alta humedad, buena extensibili-
dad y resistencia al corte de las tortillas. En esta investigación se
evaluaron cinco tipos raciales de maíces criollos para elaborar torti-
llas, excepto la raza Dulce. De cada raza de maíz se determinaron
propiedades físicas del grano, masa y tortillas; en grano se de-
terminó: dureza, tamaño, humedad, peso hectolítrico, perfil amilo-
fíco y color; en la masa: adhesividad, cohesión y humedad; en
tortillas: tensión, corte, color y humedad. Se encontró que el
peso del grano osciló de 11.97 a 18.57 mm, valores que correspon-
den al maíz Dulce y Pepitilla, respectivamente. La dureza del grano
osciló entre 11.46 (Tuxpeño) y 4.71 kg (Pátzcuaro 2). La viscosi-
dad máxima de la harina del grano de los maíces evaluados osciló
entre 357 y 1813 cp. En el peso por hectolitro, Jala y Tuxpeño
cumplen con los requerimientos mínimos establecidos en la norma
oficial (74 kg hL⁻¹) para maíces destinados al proceso de nixta-
malización. La humedad del grano, masa y tortilla fluctuaron entre
40-11.6 %, 54.2-58.0 % y 42.30-44.28 %, respectivamente. En
la elaboración de tortilla, el maíz Tuxpeño fue el que presentó la menor
resistencia a la tensión y al corte, y el que produjo la mejor tortilla
elaborada.

Palabras clave: *Zea mays*, razas, características físicas de grano,
masa, tortilla.

SUMMARY

In México, like in Central and South America, maize (*Zea mays*)
is mainly used for human consumption, in different manners,

osciló entre 11.46 (Tuxpeño) y 4.71 kg (Pátzcuaro 2). Pátzcuaro y Jala
showed the highest viscosity, 1813 and 1672 cp, respectively. Jala
and Tuxpeño reached the minimum requirements of the nixtamali-
zation quality norms (74 kg hL⁻¹). The minimum and maximum
values of moisture content in grain, mass and tortillas, were: 10.0-
11.6 %, 54.2-58.0 % and 42.3-44.28 %, respectively. The texture of
tortillas elaborated with Tuxpeño had the lowest tension and cut-
ting strength, thus resulting in the best raze for making tortillas.

Index words: *Zea mays*, maize landraces, physical and chemical
features of kernel, dough, tortilla.

INTRODUCCIÓN

México posee la mayor diversidad genética de maíz
(*Zea mays* L.), la cual se manifiesta en variación de ca-
racteres morfológicos vegetativos, así como de espiga,
mazorca y grano, y en la composición química del gra-
no. De las 436 razas de maíz reportadas en el continente
americano, 50 se encuentran en México (Goodman y
Brown, 1988). De ellas 25 son utilizadas para consumo
humano, las cuales difieren en características físicas y
funcionales (USDA-ARS, 2005). En éstas se han hecho
múltiples cruzamientos para obtener mejores característi-
cas genéticas, aunque la mayoría de ellas son de tipo
agronómico. Pocos atributos importantes para los campe-
sinos y consumidores han sido estudiados, como los rela-
tivos a la calidad de la tortilla. Un aspecto importante de
estas mejoras y que hasta hoy no se ha sistematizado, es
la evaluación del potencial que tienen dichas razas para
usos específicos. En los últimos años ha crecido la de-
manda del maíz destinado al proceso de nixtamalización
industrial, lo que ha estimulado el estudio de las caracte-
rísticas de calidad del grano tanto en los programas de
mejoramiento genético como en el proceso industrial de
fabricación de productos de maíz nixtamalizado. Como
atributos de una tortilla de buena calidad puede conside-
rarse los siguientes: fácil enrollado, suavidad al tacto,
olor, sabor textura y plasticidad. Tales atributos se obtie-
nen mediante un procesamiento con concentraciones ade-
cuadas de cal y tiempos apropiados de cocimiento; ade-
más es deseable lograr óptimas condiciones sanitarias y
reconocida calidad nutricional.

Para la elaboración de tortillas se requiere un grano
que produzca masa con alta humedad, buena extensibili-
dad y resistencia, entre otras características (Arámbula et

l., 2001b). La firmeza de la masa está determinada por el tipo de maíz, la dureza del grano, las condiciones de cecado, la absorción de agua y el grado de gelatinización de los almidones (Bedolla y Rooney, 1984). Las tortillas de buena calidad se asocian con masas cuyos valores de viscosidad máxima oscilan entre 220 y 330 unidades Brabender (UB) (Bedolla y Rooney, 1984).

El objetivo de esta investigación fue determinar las propiedades físicas de grano y masa, de cinco tipos raciales de maíces criollos, y evaluar su potencial para ser usados en la producción de tortillas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los tratamientos consistieron en cinco razas de maíz (Cuadro 1), pertenecientes a los grupos raciales Dulce, Jala, Pepitilla, Pátzcuaro 2 y Tuxpeño. La semilla fue proporcionada por el banco de germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, que fue sembrada y cosechada en el ciclo P-V 2006 en Celaya, Gto. El tipo Dulce se incluyó para conocer su comportamiento y comparar en el futuro con cruza con otros tipos raciales.

Propiedades físicas del grano

Tamaño de grano. De cada raza se tomaron 10 granos al azar y con un vernier digital Mitutoyo modelo CD-6" CS (Mitutoyo Corp., Japón) se les midió el largo, ancho y espesor del centro del grano. Los resultados se expresaron en mm.

Peso hectolítrico y humedad. El peso hectolítrico y humedad del grano, masa y tortillas se determinaron, respectivamente, con los métodos aprobados 55-10 y 44-19 por la Asociación Americana de Químicos (AACC, 1998).

Dureza. Se determinó en una muestra de 10 granos, mediante una prueba de resistencia a la penetración medida con un analizador de textura (TA-XT2) provisto con un punzón cónico (ángulo 30°), a una velocidad de 0.5

mm s⁻¹ y una distancia de penetración de 2 mm. Los datos se reportaron en kg-f.

Perfil de viscosidad amilográfica. Esta determinación se hizo con un aparato Rapid Visco Analyzer (RVA-3D). Se colocaron 3 g de muestra, ajustados a 14 % de humedad, y se agregó agua para completar 28 g. Se obtuvieron las curvas al aplicar un ciclo de calentamiento y enfriamiento de la siguiente manera: inició en 50 °C y permaneció en esta temperatura por 1 min, enseguida se aplicó la rampa de elevación de temperatura de 7.5 °C min⁻¹ hasta alcanzar 92 °C donde permaneció durante 5 min, después se enfrió a una tasa de 7.5 °C min⁻¹ hasta 50 °C en la que permaneció durante 1 min, y terminó la prueba a los 22 min. La viscosidad máxima desarrollada se reportó en centipoises (cp).

Color. Se determinó con un colorímetro de reflexión Hunter Lab, Modelo Miniscan (USA), el cual registra la intensidad de luz absorbida por el color negro o la reflejada por el blanco (escala L), así como la descomposición de la luz en los colores básicos: la escala "a" que va del rojo al verde y la "b" del amarillo. Con estos valores se estimó el valor de ΔE basado en la fórmula:

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

donde ΔE = diferencia total de color, entre el color de la muestra y el de la referencia y ΔL; Δa y Δb = diferencias absolutas de los valores de L, a y b determinados en la muestra, menos el valor de la placa de referencia.

Elaboración de nixtamal, masa y tortillas

La nixtamalización del grano de maíz se hizo en la forma tradicional (Serna *et al.*, 1990). Para la elaboración de la masa se separó el nejayote o agua de cocimiento del nixtamal; luego se lavó el nixtamal y se molió en un molino de piedras marca FUMASA modelo US-25 (México). A todos los tratamientos se les adicionó la cantidad de agua necesaria para que la consistencia de la masa fuera adecuada durante el troquelado.

Cuadro 1. Descripción de cinco razas de maíz nativas de México.

Raza	Origen	Tipo de endospermo	Color de grano	Altitud de adaptabilidad (m)
Tuxpeño	Michoacán	Dentado	Crema	1300
Jala	Nayarit	Semicristal-dentado	Amarillo claro	1000
Pepitilla	Guerrero	Harinoso	Blanco-crema	1500
Dulce	Guanajuato	Azucarado-cristalino	Rojo	1700
Pátzcuaro 2	Michoacán	Suave-harinoso	Rojo	1300

La masa adecuada para elaboración de las tortillas se troqueló en una máquina tortilladora manual de rodillo (Casa Herrera, México). Las características físicas de las tortillas fueron: 12 cm diámetro y 1.3 mm de espesor. Las tortillas se cocieron en un comal a 260 ± 10 °C. Se aseguró un cocimiento adecuado de la tortilla para obtener un buen inflado.

Propiedades de la masa de maíz

Adhesión y cohesión. Para estas características se utilizó el aparato Texture Analyzer TA-XT2 (Texture Technologies Corp., Scardales, N.Y./ Stable Micro System, Godalming, Surrey, U. K.) equipado con el accesorio TA-18. Se obtuvo la fuerza máxima registrada en gramos fuerza (g-f).

Propiedades de textura de las tortillas producidas

Fuerza a la tensión y fuerza al corte. Para estas pruebas se utilizó el equipo Texture Analyzer TA-XT2 (Texture Technologies Corp., Scardales, N.Y./ Stable Micro System, Godalming, Surrey, U. K.) provisto con el accesorio TA-96 para la primera y TA-90 en la segunda. Estas variables se expresaron en g-f.

Color. Se determinó de igual forma que para el grano, en una tortilla tomada al azar y con tres determinaciones hechas en diferentes partes de la misma.

Análisis estadístico

El diseño experimental fue uno completamente al azar con tres repeticiones, y se utilizó la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la comparación de medias. Los resultados fueron analizados con el paquete estadístico SAS ver. 9.0 (SAS Institute, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas del grano

Se detectaron diferencias ($P \leq 0.05$) en los granos de los cinco tipos raciales de maíz utilizados en este trabajo (Cuadro 2). El largo del grano osciló de 11.97 a 18.57 mm, valores que corresponden al maíz Dulce y Pepitilla, respectivamente. Por su parte, Arámbula *et al.* (1999) reportaron longitudes de 8 a 12 mm para maíces semi-cristalinos, que son los más utilizados para producción de tortilla. La dureza del grano fluctuó entre 11.46 (Tuxpeño) y 4.71 kg (Pátzcuaro 2); los términos “duro” y “suave” se emplean para designar la relación de áreas harinosa/cristalina presentes en el endospermo del grano, característica que influye en la dureza del grano. En este caso las razas Tuxpeño y Dulce presentaron la mayor dureza entre todos los criollos analizados. En el peso hectólitrico, que es una forma de medir la densidad del grano, los valores variaron entre 68.22 y 75.49 kg hL⁻¹; esta característica se utiliza como medida de calidad en el comercio de granos de maíz. De las razas evaluadas, Jala y Tuxpeño cumplieron con el requerimiento mínimo de peso hectólitrico establecido en la norma de calidad (74 kg hL⁻¹) para maíces destinados al proceso de nixtamalización (Secretaría de Economía, 2001).

La humedad inicial del grano de todos los maíces estuvo comprendida entre 10.03 y 11.60 %. El tamaño de grano influye en el contenido de humedad, pues los tamaños pequeños como los de las razas Dulce, Tuxpeño y Pátzcuaro-2 favorecen la hidratación del grano durante la nixtamalización de grano (Sánchez *et al.*, 2007). En el caso del color (ΔE) del grano, donde los valores altos de ΔE denotan mayor alejamiento del color de la muestra respecto al estándar (placa de porcelana blanca), resultó que los maíces Dulce ($\Delta E = 65.65$) y Pátzcuaro 2 ($\Delta E = 66.79$) fueron los menos blancos, debido a su coloración oscura (rojo).

Cuadro 2. Características físicas y fisicoquímicas de granos de cinco maíces criollos nativos de México.

Raza	Dureza (kg-f)	Dimensiones			Humedad (%)	Peso hectólitrico (kg hL ⁻¹)	Color (ΔE)
		Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)			
Dulce	9.51 ab	11.97 b	8.21 c	4.86 b	11.1 c	70.83 c	65.65 a
Jala	6.64 c	12.19 a	10.83 a	5.85 a	10.9 d	73.66 b	40.42 c
Pepitilla	8.68 b	18.57 a	7.43 c	3.86 c	10.0 e	70.74 c	37.58 d
Pátzcuaro-2	4.71 c	12.13 b	9.28 b	5.26 ab	11.6 a	68.22 d	66.79 a
Tuxpeño	11.46 a	12.11 b	9.68 b	4.54 bc	11.2 b	75.49 a	42.57 b
DMS (0.05)	1.96	1.31	0.91	0.94	0.05	0.25	1.20

ΔE = Diferencia de color con referencia a la placa blanca; DMS = Diferencia mínima significativa (Tukey, 0.05).

El color del maíz criollo tipo Jala fue amarillo, con un ΔE de 40.42. El color del grano de maíz varía ampliamente entre genotipos y aunque no se considera una propiedad importante para el uso alimentario del mismo, influye considerablemente en la preferencia del consumidor (Mauricio *et al.*, 2004).

Los perfiles amilográficos de los granos fluctuaron de 1813 a 357 cp, donde el valor más alto correspondió a la raza Pátzcuaro 2 y el más bajo a Dulce; Jala fue el segundo más alto en viscosidad (Figura 1). Este comportamiento se debe a que el desarrollo de viscosidad está dado principalmente por el contenido del almidón, como en todos los cereales; en las razas Pátzcuaro 2 y Jala debe esperarse que sus contenidos sean mayores que el resto de los maíces evaluados. La viscosidad está relacionada inversamente con el grado de gelatinización de los almidones. Un almidón gelatinizado y deshidratado, al rehidratarse no desarrolla viscosidad; por el contrario, uno nativo tiende a desarrollar la viscosidad a su máxima capacidad (Arámbula *et al.*, 2001a).

Propiedades de la masa y tortillas producidas

Los valores de adhesión y cohesión de las masas producidas con los maíces criollos evaluados se presentan en el Cuadro 3. En las masas de maíz nixtamalizado se requiere cierta fuerza de adhesividad para que el material se pueda troquelar (Ramírez *et al.*, 1994), ya que sin adhesividad carece de la consistencia necesaria para troquelar la tortilla; una masa demasiado adhesiva, chiclosa, tampoco permite que se pueda formar la tortilla (Arámbula *et al.*, 2001b). En la evaluación de las propiedades de masa y tortilla no se incluyó la raza Dulce, ya que no es apropiada para la elaboración de tortilla.

Se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el grado de adhesividad de las razas, donde Tuxpeño y Pátzcuaro 2 resultaron con los mayores valores (30.3 y 29.7 g, respectivamente), y el menor valor fue para Jala (20.1 g); los valores más altos se encuentran dentro del rango (28-60 g) reportado por Arámbula *et al.* (2001) como adecuado para la producción de tortillas. El contenido de humedad (58 %) de la masa del maíz Pepitilla fue superior ($P \leq 0.05$) al resto de los maíces que presentaron un comportamiento similar entre ellos, con valores de alrededor de 55 %. Arámbula *et al.* (2000) concluyeron que en una masa de maíz de buena calidad para elaboración de tortillas, la humedad debe oscilar entre 50 y 58 %, rango en el cual están comprendidos los valores de las razas evaluadas. La humedad de la tortilla osciló de 42.3 a 44.28 %, que concuerdan con los reportados en las tortillas elaboradas con diversos tipos de maíz (42.9 %), en un rango de 32.5 a 47.9 %.

El color de la tortilla también presentó diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre las razas evaluadas, lo cual se debió a diferencias iniciales en el color del grano. La tortilla elaborada con la raza Pepitilla dio el menor ΔE (33.65) y fue la más cercana al color blanco (placa de porcelana blanca), a diferencia de las elaboradas con maíz Pátzcuaro 2 cuyo ΔE fue de 62.63, el más alejado del blanco; las tortillas de Pátzcuaro 2 presentaron un color bastante oscuro.

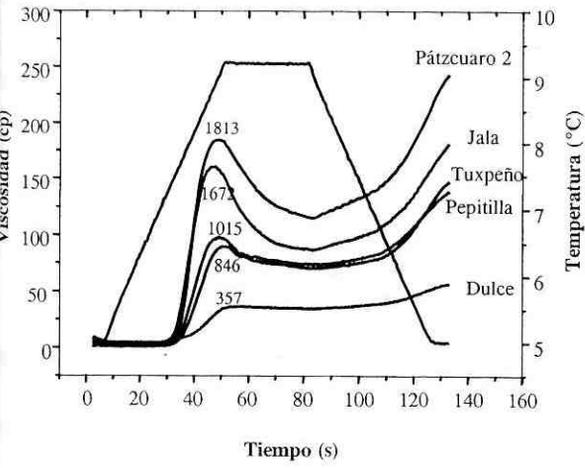


Figura 1. Perfiles amilográficos (viscosidad) de harina de granos de cinco razas de maíces nativos de México.

Cuadro 3. Características de masa y tortilla elaboradas con cinco maíces criollos nativos de México.

Raza	Textura masa		Humedad		Color (ΔE)	Textura tortilla	
	Cohesión (g)	Adhesión (g)	Masa (%)	Tortilla (%)		Tensión (g)	Corte (g)
Jala	162.6 b	21.1 d	54.2 c	42.30 d	35.08 b	256 a	1.523 a
Pepitilla	100.3 d	25.2 c	58.0 a	43.83 b	33.65 c	247 b	1.119 c
Pátzcuaro 2	156.7 c	29.7 b	55.5 b	42.82 c	62.63 a	155 d	1.303 b
Tuxpeño	178.4 a	30.3 a	55.5 b	44.28 a	33.81 c	204 c	891 d
DMS (0.05)	4.96	1.83	0.16	0.20	0.53	7.57	174

ΔE = Diferencia de color con referencia a la placa blanca; DMS = Diferencia mínima significativa (Tukey, 0.05).

La fuerza a la tensión y resistencia al corte son propiedades de textura de las tortillas con las que se evalúan la plasticidad y el grado de dureza del producto; entre más suave y blanda sea una tortilla, requiere menos trabajo para su masticación y el producto será de mejor calidad. En estas características también hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre las razas de maíz (Cuadro 3). La mayor fuerza al corte la presentaron las tortillas elaboradas con masa del maíz tipo Jala (1523 g), y el menor en las elaboradas con el tipo Tuxpeño (891 g). Los valores del Tuxpeño son similares a los reportados por Rangel-Meza *et al.* (2004) para la tortilla de maíz blanco elaborada de manera tradicional, cuya dureza promedio es de 800 g. Los maíces que poseen características para tortilla se caracterizan por tener valores altos de peso de mil granos, ancho del grano, y de rendimiento de tortilla, así como baja resistencia al corte de tortilla (Mauricio *et al.*, 2004).

CONCLUSIONES

El maíz Tuxpeño superó a las demás razas evaluadas en dureza y peso hectólitrico. En general, la humedad de la masa de todos los maíces nixtamalizados se encontró en el rango considerado adecuado para producir tortillas (54.2 a 58.0 %), lo que aseguró se produjeran tortillas con buena humedad con valores que oscilaron de 42.30 a 44.28 %. En la textura de las tortillas producidas, el maíz Tuxpeño fue el que presentó la menor resistencia tanto a la tensión como al corte, lo que dio como resultado la mejor tortilla elaborada.

BIBLIOGRAFÍA

- American Association of Cereal Chemists, AACC (1998) Approved Methods of the AACC. The Association. 10th ed. St. Paul, Minnesota. 1200 p.
- Arámbula V G, S R Mauricio A, J D Figueroa C, J González Hernández, F C Ordorica A (1999) Corn masa and tortillas from extruded instant corn flour containing hydrocolloids and lime. *J. Food Sci.* 64:120-124.
- Arámbula V G, M Yáñez L, Y Vorobiev, J González H (2000) Coeficiente efectivo de difusión de agua en masas de maíz nixtamalizado por extrusión. *Agrociencia* 34:717-727.
- Arámbula V G, J González H, C A Ordorica J (2001b) Physicochemical structural and textural properties of tortillas from extruded instant corn flour supplemented with various types of corn lipids. *J. Cereal Sci.* 33:245-252.
- Arámbula V G, L Barrón A, J González H, E Moreno M, G Luna B (2001a) Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano, masa y tortillas de maíz. *Arch. Latinoam. Nutr.* 51:187-194.
- Bedolla S, L W Rooney (1984) Characteristics of U.S. Mexican instant maize flour for tortilla and snack preparation. *Cereal Food Wld.* 29:732-735.
- Goodman M N, L W Brown (1988) Races of corn. In: G F Sprague, J W Dudley (eds). *Corn and Corn Improvement*. ASA Monograph 18 ASA, Madison, Wisconsin. pp:33-79.
- Mauricio S R A, J D Figueroa, S Taba, M L Reyes, F Rincón, A Mendoza (2004) Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:213-222.
- Rangel Meza E, A Muñoz Orozco, G Vázquez-Carrillo, J Cuevas-Sánchez, J Merino-Castillo, S Miranda-Colín (2004) Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México. *Agrociencia* 38:53-61.
- Ramírez-Wong B, VE Sweat, I Torres P, Rooney (1994) Cooking time, grinding, and moisture content effect on fresh masa texture. *Cereal Chem.* 71:337-343.
- Sánchez F C, Y Salinas M, G Vázquez M, G Velázquez A, G Aguilar M (2007) Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la tortilla. *Arch. Latinoam. Nutr.* 57:295-301.
- SAS Institute (2002) SAS User's Guide. Version. 9.0, SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.
- Secretaría de Economía (2001) NHMX-FF-034-2001-SCFI. Productos alimenticios no industrializados-para consumo humano-Cereales-Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado-Especificaciones y métodos de prueba. Dirección General de Normas. SA-GARPA. México D.F. 18 p
- Serna S O, M Gómez H, L W Rooney (1990) Technology, chemistry and nutritional value of alkaline-cooked corn products. In: *Advances in Cereal Science and Technology*, Vol. X. Y Pomeranz (ed). American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. pp: 243-307.
- USDA ARS. (2005) Races of Maize Collection. North Central Regional Plant Introduction Station. Iowa State University; Ames, Iowa. Digital compilation (<http://www.ars.usda.gov/pandp/people/publications.htm.personid=12358>) (28 de noviembre de 2007).

Caracas, 08 de junio de 2010

M en C Oralia Antuna Grijalva
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Unidad Laguna. Torreón
Coahuila, México.

S/R 6-2010

Apreciada M en C. Antuna Grijalva

Hemos recibido el trabajo titulado **COMPONENTES GENETICOS DE CARACTERES AGRONOMICOS DE RAZAS DE MAIZ Y SU PROGENIE HIBRIDA** por Antuna Grijalva, Oralia ; Rodríguez Herrera, Sergio Alfredo; Palomo Gil, Arturo ; Espinoza Banda, Armando; Reta Sánchez, David G.; Gutiérrez del Río, Emiliano; Navarro Orona, Edson Francisco; Camacho Inzunza, Francisco Ariel.

El Comité Editorial de Interciencia lo revisará en primera lectura para determinar si el material recibido se ajusta a las áreas prioritarias de la Revista y si procede a su arbitraje.

Atentamente,



Ana Raquel Picon
Gerente Editorial