



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

“CALIDAD NIXTAMALERA-TORTILLERA Y VALOR
NUTRICIONAL DEL GRANO Y TORTILLA DE MAÍCES BLANCOS”

**ARTICULO ESPECIALIZADO PARA
PUBLICAR EN REVISTA INDIZADA**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA

MIGUEL ÁNGEL VELÁZQUEZ JUÁREZ

ASESORES:

Dr. Manuel González Ronquillo

Quim. María de Guadalupe Gutiérrez-Martínez

TOLUCA, MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2017.



AGRADECIMIENTOS

A mi asesor el Dr. Manuel González Ronquillo por brindarme la oportunidad para la realización del trabajo de investigación, le agradezco la confianza que deposito en mi persona y sin duda el apoyo que requerí de su parte. A la Químico María de Guadalupe Gutiérrez-Martínez por guiarme en el quehacer científico de la generación nuevos conocimientos y brindarme de su valioso tiempo en asesorías cuyo fin primordial fue mejorar y enriquecer el trabajo con su vasta y larga experiencia en la investigación.

Al Ing. Jacinto encargado de las parcelas experimentales del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (I.C.A.M.E.X.). Por proporcionarme el grano de los once genotipos empleado en la presente investigación.

DEDICATORIAS

A DIOS

Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A MIS PADRES

Miguel Velázquez Sánchez y Juliana Juárez Casas, por haberme dado la vida y por haberme brindado la oportunidad de estudiar.

Papa gracias por tu apoyo, la orientación que me has dado, por iluminar mi camino y darme la pauta para poder realizarme en mis estudios y mi vida. Agradezco los consejos sabios que en el momento exacto has sabido darme para no dejarme caer y enfrentar los momentos difíciles.

Mama, tú eres la persona que siempre me ha levantado los ánimos tanto en los momentos difíciles de mi vida estudiantil como personal. Gracias por tu paciencia y esas palabras que siempre tienes para mis enojos, mis tristezas y mis momentos felices, te quiero mucho.

A MI ESPOSA Y MI HIJO

Por estar siempre en las buenas y malas, por tu apoyo incondicional y por tu paciencia rosario te amo.

Ángel posiblemente en este momento no comprendas mis palabras, pero cuando seas capaz, quiero que te des cuenta de lo que significas para mí. Eres la razón por el que cada día me esfuerzo a ser mejor, eres mi principal motivación. Muchas gracias hijo.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN.....	3
III. REVISION DE LITERATURA.....	5
IV. HIPOTESIS.....	14
V. OBJETIVOS.....	15
VI.	
JUSTIFICACIÓN.....	216
VII. MATERIALES Y METODOS.....	17
VIII. RESULTADOS.....	21
IX. CONCLUSIONES.....	32
X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	33

I. RESUMEN

CALIDAD NIXTAMALERA-TORTILLERA Y VALOR NUTRICIONAL DEL GRANO Y TORTILLA DE MAÍCES BLANCOS

Miguel Ángel Velázquez Juárez. Universidad Autónoma del Estado de México.
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

En el presente estudio fue evaluada la calidad nixtamalera – tortillera que presenta el grano de once genotipos mejorados sembrados en dos zonas del Estado de México. Se encontraron tres grupos por sus características químicas y de dureza, los genotipos Hit-9, Hit 11 y Hit 15 (grupo 1) presentaron una estructura interna del grano con mayor porcentaje dentro de su área total de grano de endospermo cristalino y en consecuencia es un grano muy duro enfocado a la producción de harinas. Los genotipos Buho, Hit-17, Hit-7 (Grupo 2) son granos duros y se orientaría su consumo en fresco. En cambio Aculco, HC-8, Prec-7,H-40 y Prec-4 (Grupo 3) presentan un mayor porcentaje de endospermo harinoso dentro de su área total del grano y en consecuencia son granos intermedios, los cuales cumplirían con las características que demanda la industria del nixtamal y la tortilla. Químicamente los genotipos presentaron (g/100g MS) una humedad promedio del 10.5, cenizas 1.4, proteína 7.9 – 10.0, y extracto etéreo 4.9 g/100 g MS. El componente con menores dimensiones dentro del área total del grano correspondió al pedicelo con 3.6%, embrión de 12.3%, endospermo harinoso 39.2%, endospermo cristalino con 44.9%. Las dimensiones promedio de los granos fueron; largo: 13.3mm, ancho: 8.7 mm y grosor: 4.7mm. El rendimiento maíz – tortilla que alcanzaron los genotipos en estudio fue 1.6 Kg. Las dimensiones de las tortillas analizadas tuvieron un diámetro de 11.1 cm, un grosor de 2.1 mm. Los maíces que presentaron mejores características para la producción de tortillas fueron Aculco, HC-8, Prec-7,H-40 y Prec-4.

Asesores: Dr. Manuel González Ronquillo¹ Quim. María de Guadalupe Gutiérrez-
Martínez¹

1. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Universitario “El Cerrillo”, El Cerrillo Piedras Blancas Mpio. de Toluca, Méx. Código Postal 50200. Tel. 296 55 42 180 61 94, Ext. 203. E-mail address: mrg@uaemex.mx.

Palabras clave: maíz, grano, nixtamal, nixtamalización, masa, tortilla, genotipo, calidad.

II. INTRODUCCIÓN

El grano de maíz sometido al proceso térmico alcalino denominada “Nixtamalización” le confiere al grano cocido “Nixtamal” un mayor valor nutritivo y cambios funcionales extraordinarios que son claves para la elaboración de la tortilla (Paredes et al., 2009). La gran mayoría de las tortillas consumidas en México se elaboran con masa de maíz procesado por el método tradicional de nixtamalización, el cual incluye las etapas de cocimiento y reposo (Arámbula-Villa *et al.*, 2001). Las preferencias del consumidor se inclinan hacia las tortillas elaboradas en forma tradicional por su sabor, sus propiedades texturales (rollabilidad, suavidad, flexibilidad) y su mejor desempeño durante el recalentamiento, doblado, enrollado y freído (Gasca y Casas, 2007). México alberga 59 razas de maíz de las cuales 25 son empleadas para el consumo humano, las cuales difieren de sus características físicas y funcionales (USDA-ARS, 2005). La generación de materiales genéticamente mejorados con potencial agroindustrial destinados a la producción de masas frescas de maíz nixtamalizado y harinas de maíz nixtamalizado destinadas a la elaboración de tortilla está estrechamente relacionado con la distribución y proporción de los tipos de endospermo (Leyva et al., 2002). En la actualidad la determinación de dichos parámetros se puede llevar a cabo con un 99.9% de confiabilidad empleando el análisis digital de imágenes empleando el Software UTHSCSA Image Tool versión 3.0. Para la determinación de los elementos estructurales del grano se empleó los umbrales “Threshold y Area”. En la zona central de la república mexicana conocida como Valles altos del centro de México integrada por los estados de Hidalgo, México, Puebla, Tlaxcala y Distrito Federal el empleo de variedades mejoradas se limita solo a un 5% del área total destinada a la producción de maíz (Ávila et al., 2009). La producción de maíz en esta zona se lleva a cabo con variedades nativas en un 95%, las cuales no cumplen con las características para la elaboración industrial de tortilla, pero si contribuye en la generación de una gran diversidad genética. El proceso industrial de elaboración de tortilla demanda granos con propiedades físicas específicas como son: un peso hectolítrico >74.0 Kg hl⁻¹, la humedad del nixtamal de 36 y 46%, con un índice de flotación de los granos máximo al 40% que corresponden a granos con una dureza de intermedia a dura, el

coeficiente de rendimiento maíz – tortilla el cual debe ser igual o mayor a 1.5 Kg (Salinas y Vázquez, 2006).

La gran mayoría de las tortillas consumidas en México se elaboran con masa de maíz procesado por el método tradicional de nixtamalización, el cual incluye las etapas de cocimiento y reposo (Arámbula-Villa *et al.*, 2001). Las preferencias del consumidor se inclinan hacia las tortillas elaboradas en forma tradicional por su sabor, sus propiedades texturales (rollabilidad, suavidad, flexibilidad) y su mejor desempeño durante el recalentamiento, doblado, enrollado y freído (Gasca y Casas, 2007). El Estado de México, Tlaxcala, Puebla, Hidalgo y Distrito Federal, existe un consumo potencial de tortilla de 3.2 millones de toneladas anuales al considerar una población superior a los 26.7 millones de habitantes. (INEGI, 2007).

III. REVISIÓN DE LITERATURA

Antecedentes del maíz

El maíz (*Zea mays*), sinónimo americano “corn” es esencialmente un cultivo tropical o subtropical que ha difundido gradualmente. Durante miles de años se ha cultivado permanentemente en América central, el maíz es un alimento básico para muchas naciones entre ellas México, carece de dos aminoácidos esenciales triptófano y lisina (Vaclavick, 2003). El maíz (*Zea mays* L.) constituye la base de la alimentación de la población mexicana, que lo consume principalmente en forma de tortilla.

La apertura comercial, la competencia de agricultores nacionales con agricultores extranjeros altamente tecnificados y las necesidades propias de la industria han propiciado que los programas de mejoramiento incluyan aspectos de calidad industrial Cutiño-Estrada *et al.*, (2008). De las 436 razas de maíz reportadas en el continente americano, 50 se encuentran en México Goodman y Brown, (1988). De las 50 razas existentes en México, 25 son utilizadas para consumo humano, las cuales difieren en características físicas y funcionales USDA-ARS (2005).

El Estado de México, Tlaxcala, Puebla, Hidalgo y Distrito Federal, existe un consumo potencial de tortilla, de 3.2 millones de toneladas anuales al considerar una población superior a los 26.7 (INEGI, 2007)

La gran mayoría de las tortillas consumidas en México se elaboran con masa de maíz procesado por el método tradicional de nixtamalización, el cual incluye las etapas de cocimiento y reposo Arámbula-Villa *et al.*, (2001). Las preferencias del consumidor se inclinan hacia las tortillas elaboradas en forma tradicional por su sabor, sus propiedades texturales (rollabilidad, suavidad, flexibilidad) y su mejor desempeño durante el recalentamiento, doblado, enrollado y freído Gasca y Casas (2007).

Clasificación general del grano de maíz

Mundialmente se reconocen cinco tipos de maíz diferenciados por características físico-químicas del grano: dentado, cristalino, dulce, harinoso, reventador, ceroso (Watson, 1987).

El Maíz dentado constituye la mayor cosecha de los Estados Unidos de Norteamérica. Al madurarse los granos presentan una concavidad pronunciada debido al encogimiento del endospermo a medida que pierde humedad. Los granos son duros, pero no tanto como los del maíz duro (Desrosier, 1998). El maíz dentado se derivó de la cruce entre maíces tipo cristalino y harinoso, por lo que la textura de su endospermo puede ser calificada en función de la relación entre los dos tipos que el grano presente. Cuando la parte cristalina aumenta el grano es más duro, en cambio sí la que incrementa es la parte harinosa, el grano es suave (Watson, 1987).

El maíz cristalino se siembra ampliamente en Europa, Asia, Centroamérica, Sudamérica, en general estos granos son duros, lisos y contienen poco almidón suave. Sin embargo, las cantidades relativas de almidón suave y corneo varían en diferentes variedades (Jugenheimer, 1981).

El maíz dulce es una variedad comestible en la que la mayor parte del almidón ha sido sustituida por polímeros de glucosa de bajo peso molecular equivalentes a las dextrinas. Finalmente existen los tipos para harina cuyos granos son más blandos y pueden ser fácilmente molidos (Muller y Tobin, 1986).

El maíz harinoso Se cultiva en Sudamérica y América central principalmente, los granos son grandes y blandos y el endospermo se desmenuza con facilidad. Estas características permiten que el grano se muele fácilmente, formando harina, lo que es ventajoso en los métodos de preparación domésticos (Desrosier, 1998).

El maíz palomero o reventador tienen un porcentaje elevado de endospermo duro que estalla al calentarlo (Hawthorn, 1983).

El maíz ceroso debe su nombre a la apariencia por el alto contenido de amilopectina, mientras que el almidón común es aproximadamente el 75% y 25% de amilopectina. (Desrosier, 1998).

E. Razas no bien definidas: razas o tipos que han sido recolectados recientemente o de los cuales han reunido poca información para justificar su clasificación y la presentación de sus genealogías con un grado suficiente de seguridad.

Estructura física y composición interna del grano de maíz

Botánicamente el grano de maíz recibe el nombre de cariósipide y comúnmente se le conoce como semilla es seca e indehiscente con semillas individuales en el fruto (Kent y Evers, 1994). La semilla de maíz está formada por el pericarpio, el endospermo, el germen y el pedicelo como se observa en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Estructura típica del grano de maíz

Grano de maíz			
Pericarpio	Semilla		
Epidermis	Endospermo	Germen	
Mesocarpio	Capa de la aleurona Endospermo Corneo Endospermo Harinoso	Escutelo	Eje Embrionario
Celulas Cruzadas		Epitelium	Plúmula
Tubo Celular		Almacén de Aceite	Mesocotilo
Cubierta de la semilla		Tejidos Vasculares	Raiz Primaria

Gomes, (1993)

Pericarpio.

El pericarpio es la pared del ovario maduro y comprende todas las capas exteriores de la célula hasta el recubrimiento de la semilla. A lo largo de su superficie interior se adhiere a la cubierta de la semilla o testa. El pericarpio representa del 5 – 6 % del peso seco del

grano, las capas del pericarpio están compuestas por células muertas, epidermis, células cruzadas y tubulares (Watson y Ramstad, 1987)

Endospermo.

Constituye del 82 – 84 % del peso seco del grano y el 86 – 89 % en peso del almidón del endospermo. Está compuesto de paquetes de células alargadas con gránulos de almidón de 5 – 30 μ empotradas en una unión continua de proteínas. El almidón del endospermo es dos tipos harinoso y corneo (Watson y Ramstad, 1987).

Germen.

El germen está compuesto por el embrión y el escutelo. El escutelo funciona como un órgano nutritivo del embrión, constituye del 10 – 12% del peso seco del grano. El germen es el mejor depósito de lípidos, el cual contiene el 83% del total de lípidos en el grano. El germen es, potencialmente metabolizado en el tejido activo, contiene el 70% de azúcar en el grano y el 26% de proteína del mismo (Watson y Ramstad, 1987).

Cuadro 4. Composición de la estructura interna del grano (%)

Estructura Interna del Grano	Composición de la Estructura Interna del Grano (%)					
	% en peso seco del grano entero	Almidón	Grasa	Proteína	Ceniza	Azúcar
Endospermo	82.9	87.6	0.8	8	0.3	0.6
Germen	11.1	8.3	33.2	18.4	10.5	10.8
Pericarpio	5.3	7.3	1.0	3.7	0.8	0.34
Tapa superior	0.8	5.3	3.8	9.1	1.6	1.6
Grano entero	100	73.4	4.4	9.1	1.4	1.9

(Watson y Ramstad, 1987)

Composición química de los granos de cereales

La composición química del grano de maíz, y por ende su valor nutritivo, depende del genotipo de la variedad, el ambiente y las condiciones de siembra.

Proteína

En promedio el contenido de proteína del maíz es de 10% y una buena parte se encuentra en el germen del grano. No obstante, tanto el endospermo como el pedicelo llegan a tener hasta el 9% de proteínas – clasificadas en cuatro tipos de acuerdo con su solubilidad: albuminas (solubles en agua), globulinas (solubles en soluciones de sales), prolaminas (solubles en soluciones alcohólicas) y gluteínas (solubles en soluciones alcalinas o acidas diluidas). En el maíz las prolaminas, se encuentran principalmente en el endospermo y han recibido el nombre de zeínas, mientras que las gluteínas se encuentran en la matriz proteica de la misma estructura; ambas proteínas constituyen cerca del 90% de las proteínas del grano completo. Por lo contrario, las del germen son casi en su totalidad albuminas y globulinas (Paredes et al, 2009).

Lípidos

En cuanto al contenido de lípidos, el grano de maíz contiene alrededor del 5%, principalmente en el germen. Se ha encontrado que el aceite de maíz, como la mayoría de los aceites de origen vegetal, contiene bajos niveles de grasas saturadas, las cuales se han relacionado desde un punto de vista epidemiológico con problemas cardiovasculares. El contenido de ácidos grasos saturados, como el palmítico y el esteárico, es relativamente bajo en comparación con los ácidos grasos no saturados, como el oleico y el linoleico, los cuales presentan la mayoría total de los lípidos contenidos en el grano de maíz.(Paredes et al, 2009).

Vitaminas

En cuanto a vitaminas, se sabe que el maíz amarillo contiene principalmente dos vitaminas solubles en grasa, β – caroteno o provitamina y α – tocoferol o vitamina E, y la mayoría de la vitaminas solubles en agua (Paredes et al, 2009).

Minerales

El germen del grano contiene 78% de los minerales, probablemente porque son esenciales durante el crecimiento del embrión, de los cuales el componente inorgánico más abundante es el fosforo, principalmente en las sales de potasio y magnesio del ácido fítico. Este compuesto llega a representar hasta el 1% de la masa del grano. El azufre es

el cuarto elemento más abundante en el grano, está contenido en forma orgánica como parte de los aminoácidos metionina y cisteína (Paredes et al, 2009).

Cuadro 5. Composición aproximada del grano maíz en bruto y de las tortillas de fabricación casera e industrial.

Product o	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasas (%)	Cenizas (%)	Fibra cruda (%)	Hidratos de carbono (%)	Calorías (por 100 g).
Maíz							
Blanco	15.9	8.1	4.8	1.3	1.1	70.0	356
Amarillo	12.2	8.4	4.5	1.1	1.3	73.9	370
Blanco	13.8	8.3	-	1.2	-	-	-
Tortilla casera							
Blanco	47.8	5.4	1.0	0.8	0.7	44.5	204
Amarillo	47.8	5.6	1.3	0.8	0.6	44.4	212
Blanco	41.9	5.8	-	0.9	-	-	-
Tortilla industrial							
Blanco	40.5	5.8	0.9	1.1	1.4	50.3	226
Amarillo	44.0	5.3	3.4	1.2	0.7	42.8	215
Blanco	45.2	5.2	3.1	1.4	1.1	41.1	206

Fuente: (FAO, 2007).

Nixtamalización

López y Segurajaúregui (1986), definen a la nixtamalización como el tratamiento térmico alcalino con cal (derivado del nahutl “nixtli”, cenizas de cal, y “tamalli”, masa de maíz), es una técnica de lixiviación empleada para obtener una masa para la elaboración de tortillas y otros productos tradicionales.

Factores que influyen en el proceso de la nixtamalización

Los factores que influyen en el proceso de la nixtamalización son: tiempo y temperatura de cocimiento, clase y concentración de cal, características físicas y químicas del maíz (tipo de endospermo, estructura del grano, dureza, homogeneidad en tamaño, porcentaje de grano dañado, relación amilosa: amilopectina, etc.) frecuencia de agitación durante el cocimiento, así como el procedimiento de lavado y reposo (Báez y Martínez, 1990).

Aumento del valor nutritivo

La cocción alcalina y el remojo provocan la disolución y el hinchamiento de las capas del pericarpio, esto hace que las paredes celulares y los componentes de la fibra dietaria de esta parte del grano se vuelvan frágiles, facilitando su remoción, lo cual obviamente disminuye el contenido de fibra dietaria insoluble. Sin embargo, y por fortuna, en este proceso la fibra dietaria soluble pasa a 0.9% en el maíz a 1.3% en la masa, y a 1.7% en la tortilla. La nixtamalización también provoca que la estructura que une las células del endospermo, llamada lamina media, y las paredes celulares se degraden y solubilicen parcialmente. La mayoría del germen permanece en el grano durante la nixtamalización, lo que permite que la calidad de la proteína de los productos de la masa no se ve afectada. Otro aspecto sobresaliente es que la membrana semipermeable que esta alrededor del grano, denominada aleurona, permanece sobre el mismo durante este tratamiento, lo que minimiza la pérdida de nutrimentos hacia el nejayote por el fenómeno llamado lixiviación.

Efectos del proceso de cocción alcalino

La cocción alcalina altera la estructura y solubilidad de las proteínas del maíz, la nixtamalización y la cocción de tortilla reduce la solubilidad de las albuminas y globulinas, y lo mismo ocurre con la solubilidad de las prolaminas: asimismo, se observa la aparición de gluteinas de alto peso molecular. Estos cambios se deben al enlazamiento de proteínas y a la ruptura de su estructura, que es estabilizada por diversas fuerzas de atracción. El contenido de proteína no se ve afectado sensiblemente después que el maíz ha sido nixtamalizado y se produce la tortilla. Las diferencias en los contenidos de proteínas en los reportes existentes se deben a que hay diferencias en el contenido de proteína entre diferentes materiales de maíz.

Cambios del almidón durante la nixtamalización

El almidon es insoluble en agua fría, pero puede solubilizarse con el calentamiento durante la nixtamalización del maíz (Gómez et al. 1992). Gómez et al, (1991) menciona que al exponerse el almidon a daños mecanicos, gelatinización y retrogradación, se produce un incremento en la solubilidad del mismo.

Fenómenos que modifican el grano de almidón durante la nixtamalización.

Gelatinización

Hidalgo (1994), menciona que la gelatinización del almidón es un proceso que toma lugar cuando los granulos de almidón son calentados en presencia de agua, resultando una disrupción del orden molecular dentro del granulo de almidón. El proceso se manifiesta por cambios irreversibles en propiedades tales como hinchamiento granular, fundición de los cristales nativos, pérdida de birrefringencia, y solubilidad del almidón. La gelatinización se requiere para producir funcionalidades deseadas del almidón en un sistema de alimento. Las propiedades de la gelatinización dependen de la solubilización de la amilosa y del hinchamiento de los granulos de almidón gelatinizados.

Retrogradación.

Ward, et al. (1994) define a la retrogradación del almidón como un proceso el cual ocurre cuando al comprimir las moléculas de almidón gelatinizado para reasociarse en una estructura ordenada. Sin embargo para Gómez et al. (1992) la retrogradación de un almidón son los cambios en el gel del almidón, tal como agregación de cadena y/o recristalización, ocurriendo inmediatamente durante el enfriamiento.

Procesos de nixtamalización

El cocimiento del grano de maíz en una solución alcalina tiene como propósito principal solubilizar el pericarpio e hidratar el grano para que se pueda tener una masa con características favorables para la elaboración de tortilla. La dureza del grano del maíz es el principal factor a considerar al momento de definir el tiempo de nixtamalización que se le dará al grano (Salinas y Vázquez, 2006).

Método tradicional

El molinero tradicional inicia sus labores alrededor de tres o cuatro de la tarde en donde cierne el grano para eliminar las impurezas tales como tamo, olote, cañuela, piedras,

metales etc. una vez hecho lo anterior se agrega el maíz limpio a tinas de cocimiento en las cuales se adiciona una solución de agua con 1.5% de cal en base al peso del maíz. La temperatura de la solución varía de 70 a 80 °C, en donde se va a precocer por un lapso de tiempo aproximado de 2 a 3 horas dependiendo de la dureza del grano, fuerza de cal y temperatura del agua (Dirección Corporativa de Producción, 1993). Una vez que el grano se ha cocido se pasa a tinas de lavado en donde se elimina el material flotante (maíz podrido, impurezas, maíz picado, etc.) en esta parte también se elimina la parte del pericarpio del grano, el pedicelo, y muy poco germen. La pérdida o remoción del pericarpio es un factor muy importante en el cocimiento alcalino porque este contribuye a la pérdida de materia seca. Después de esto, se deja reposar el nixtamal durante toda la noche y alrededor de las 5 o 6 de la mañana empieza la etapa de la molienda, para lo cual se emplean molinos de piedra volcánica, los que por sus mismas características tendrán variables como: mayor o menor filo para el picado de la piedra y mayor o menor eficiencia de la molienda por la carga a la que se someta. Finalmente la masa obtenida se prepara en maleas, las cuales son entregadas posteriormente al cliente. Este método tiene un porcentaje de mermas que oscila entre un 15 al 30% dependiendo de las condiciones de operación, la calidad del grano, temperatura ambiente, etc.

IV. HIPÓTESIS

La hipótesis que guío a este trabajo fue “De los once genotipos evaluados en dos ambientes del Valle de Toluca – Atlacomulco. Estado de México., mediante el la determinación de la calidad nixtamalera-tortillera correlación con todas las variables evaluadas en cada una de las fases de investigación habrá alguno o algunos genotipos de maíz que no cumplan con los atributos deseables para la elaboración de tortilla”

V. OBJETIVOS

Evaluar los genotipos de maíz mejorados en cuanto a su calidad nixtamelera y tortillera.

Determinar la calidad nixtamalera- tortilla del grano de los genotipos maíz blanco sembrados en dos ambientes del Valle de Toluca – Atlacomulco. Estado de México, empleados para la elaboración de tortillas.

Determinar : las propiedades físicas (índice de flotación, dureza, tiempo de nixtamalización, humedad, materia seca peso hectolítrico); tamaño de grano (largo, ancho y grosor); químicas (proteína, extracto etéreo, cenizas); estructura interna del grano (endospermo harinoso, embrión, pedicelo y endospermo cristalino) en la nixtamalización (volumen de nejayote, sólidos totales, humedad del nixtamal, humedad del nixtamal sin pericarpio, pericarpio remanente, pericarpio retenido; en masa (humedad de masa, textura en masa); en tortilla (peso de la tortilla cosida, diámetro, grosor, humedad de tortilla, rendimiento tortillero, textura en tortilla después de 2, 24 y 48 h de elaboración) y la composición química de la tortilla (proteína, extracto etéreo, cenizas) en función del análisis se determinó el aporte nutrimental de cada uno de los materiales genéticos en estudio.

VI. JUSTIFICACIÓN

La razón que motiva este proyecto es el hecho de que el grano de maíz ha sido desde el México prehispánico hasta el México contemporáneo actual el alimento predilecto del pueblo mexicano, siendo la tortilla un producto derivado del maíz de mayor consumo y demanda. Sin embargo hoy en día es necesario producir granos de maíz con usos específicos. No sólo que presenten buenos rendimientos y adaptación a un medio ambiente determinado, esto quiere decir, que será necesario obtener granos con un conjunto de características de calidad que constituyan su vocación específica, por ejemplo para la elaboración de tortillas, para fines de consumo en platillos tipo “pozole”, para su transformación industrial a través de la molienda, etc.

Esta investigación permitirá conocer la calidad nixtamalera – tortillera del grano de once genotipos de maíz blanco bajo dos ambientes de estudio con la finalidad de ver el comportamiento que tienen los mismos genotipos bajo condiciones climatológicas influenciadas por una mayor altitud. Una vez identificando cual o cuales genotipos son ideales para la elaboración de tortilla el agricultor podrá producir maíz en sus parcelas con vocación específica para la elaboración de tortilla sembrando solo y exclusivamente los genotipos que les sean más rentables desde el punto de vista costo beneficio.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

Se emplearon once genotipos mejorados (Aculco, Buho, H-40, Hc-8, Hid-15, Hit-11, Hit-17, Hid-7, Hit-9, Prec-4 y Prec-7) y dos testigos (Palomero y Cacahuacintle). El grano empleado fue proporcionado por el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (I.C.A.M.E.X.). Sembrado y cosechado en dos zonas del Estado de México: Zona 1 = Rancho el Arroyo Municipio de Almoloya de Juárez (19° 33' N y 99° 56' O), con lluvias en verano, una precipitación media anual de 788.1 mm, la temperatura media anual de 12.5°C, una temperatura máxima extrema de 27.1°C, una temperatura mínima extrema de 3.8°C y una altura de 2600 m sobre el nivel del mar; Zona 2 = Rancho Tiacaqué (19° 48' N, y 100° 00' O), con lluvias en verano, una precipitación media anual de 1,008.52 mm³, la temperatura media anual de 13.2°C, una temperatura máxima de 31°C, una temperatura mínima de 4°C y con una altura de y 2,770 m altura sobre el nivel del mar (García, 1988), Municipio de Jocotitlán.

DISEÑO DE PARCELAS EXPERIMENTALES

En la siembra se utilizó la fórmula de fertilización (184-92-60 de NPK respectivamente), empleando 399 Kg de urea, 199 Kg de superfosfato triple y 100 Kg de cloruro de potasio por ha⁻¹. Cada unidad experimental tuvo una dimensión de 80 m², constituida por 8 surcos, de los cuales solo se tomó muestra del surco 4 y 5, cada surco con 80 cm de ancho por 50 m lineales, ocupando una superficie rectangular de 320 m². En el muestreo se recolectaron 10 m lineales de los surcos 4 y 5 con el objeto de reducir el efecto heterotico entre las unidades experimentales, buscando obtener muestras puras de cada variedad mejorada de maíz blanco en estudio.

ANÁLISIS FÍSICOS

Las propiedades físicas evaluadas fueron: índice de flotación (Salinas y Vázquez, 2006) fue correlacionado con la escala propuesta por Gómez (1993) que establece la dureza y tiempo óptimo de nixtamalización, peso hectólitrico (Salinas y Vázquez, 2006), tamaño de grano tamaño de grano (Vázquez et al. 1990).

ESTRUCTURA INTERNA DEL GRANO

Con la finalidad de conocer la distribución de la estructura interna del grano (embrión, pedicelo, endospermo harinoso y endospermo cristalino) se empleó el análisis digital de imágenes propuesto por Leyva et al. (2002), con las modificaciones realizadas por Martínez, (2009).

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO

En la composición química del grano las variables a evaluar fueron: Humedad, materia seca, cenizas, proteína cruda y extracto etéreo (AOAC, 2000 método 44-1).

NIXTAMALIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD NIXTAMALERA

El tiempo óptimo de nixtamalización asignado fue: granos intermedios 35 min (Aculco); granos duros 40 min (Buho, HC – 8, H – 40, Hid – 15, Hit – 11, Prec – 4, Prec – 7); granos muy duros (Hit – 7, Hit – 9, Hit – 17); testigos empleados: cacahuacintle, muy suave con 25 min; reventador, muy duro 45min. La cantidad de muestra procesada fue: 100 g de grano limpio, 200 mL de agua destilada y 1 g de hidróxido de calcio. Las variables en estudio fueron: volumen de nejayote, sólidos totales, humedad del nixtamal, humedad del nixtamal sin pericarpio, pericarpio retenido, pericarpio remanente (Salinas y Vázquez, 2006).

MOLIENDA DEL NIXTAMAL, OBTENCIÓN DE MASA FRESCA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO Y ELABORACIÓN DE TORTILLAS

Después de 17 horas de reposo, las muestras se molieron en un molino de piedras. La masa obtenida fue amasada manualmente, se pesaron porciones de 30 g por muestra y se elaboraron las tortillas empleando una prensa tortilladora manual. Posteriormente fueron cocidas en una placa previamente calentada hasta que se produce el inflado de una película denominada ampolla, indicando el fin de la cocción. Se determinó: humedad en masa, humedad en tortilla, rendimiento tortillero, peso de la tortilla cocida, Tamaño de tortilla midiendo el diámetro y grosor de la misma (Salinas y Vázquez, 2006).

PRUEBAS DE TEXTURA EN MASA Y TORTILLA

Para la evaluación de la dureza y adhesividad. Para estas variables se empleó el Texturometro Texture Analyzer TA – XT2 (Texture Technologies Corp, 18 Fairview Road, Scardales, N.Y./Stable Micro System, Godalming, Surrey, U.K.). En masas se empleó el método propuesto por Gasca y Casas (2007). En las tortillas se determinó extensibilidad de estas después de 2, 24 y 48 horas de almacenamiento, se empleó objetivamente el método propuesto por Gontard et al. (1994).

VALOR NUTRICIONAL DE LA TORTILLA DE MAÍZ ELABORADA CON MASA FRESCA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO.

Las variables evaluadas en la tortilla fueron: humedad en tortilla, cenizas, proteína cruda y extracto etéreo (AOAC, 2000, método 44-1).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La base de datos generada fue analizada empleando un análisis de varianza combinado de dos zonas de estudio para las 36 variables evaluadas y la comparación de medias entre las variables se efectuó una prueba de Tukey al nivel de significancia del 5%. El análisis estadístico se realizó con el paquete SAS ver. 9.1.3. (SAS Institute, 2003), y se consideró a los ambientes (A), genotipos (G) y la interacción G X A como factores fijos. Desde una perspectiva multivariada se hizo un análisis de componentes principales y una rotación Varimax en los componentes resultantes para determinar la correlación entre las variables originales con cada uno de los componentes principales, además se realizó un análisis de conglomerados con base a las distancias euclidianas al cuadro y una definición de grupos a una distancia de 50.0%, según el método del vecino más lejano aplicado sobre la matriz de datos compuestos por cada uno de los genotipos y los promedios a través de los ambientes de evaluación de las 35 variables.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL GRANO

Los valores obtenidos del análisis fisicoquímico del grano de once genotipos empleando como control dos testigos se muestran en el Cuadro 1. En cada variable analizadas se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los ambientes (A), los genotipos de maíz (G) y su interacción (IGA). En el análisis físico del grano se encontraron diferencias ($P < 0.0001$) en cuanto al índice de flotación, dureza, tiempo de nixtamalización, materia seca y peso hectolítrico. El IF fue superior ($P < 0.0001$) para C1: Cacahuacintle, Aculco, Prec-7 y HC-8 con respecto al resto. El C1: Cacahuacintle presento una dureza de grano muy suave con 25 min de nixtamalización; Aculco presento dureza intermedia con 35 min de nixtamalización; Buho, HC-8, H-40, Hid-15, H-11, Prec-4, Prec-7 son granos duros con 40 min de nixtamalización; Control 2: reventador, Hit-7, Hit-9, Hit-17 son granos muy duros con 45 min de nixtamalización. Con respecto al peso hectolítrico todos los genotipos sin excepción cumple con el mínimo establecido por NMX-034 (2002) de 74.0 Kg hl^{-1} , sin embargo solo Aculco cumple con el índice de flotación óptimo $< 40.0\%$, clasificándolo según la escala propuesta por Gomes, (1993) con una dureza intermedios, con un tiempo óptimo de nixtamalización de 35 minutos. En cuanto al contenido de humedad presente en los genotipos mejorados (g/100g) Hit-17 fue mayor ($P < 0.0005$) con respecto a Hid-15 que presento el menor contenido. La concentración de proteína en los genotipos en estudio vario de 7.5 a 11.2 g/100g MS, mostrando la mayor concentración ($P < 0.0001$) C2: Reventador, Hit-9, Hit-15, Hit-7 > Hit-11 la menor concentración de PC la presentaron C1: Cacahuacintle y HC-8. Con respecto al contenido de extracto etéreo presentado fue superior ($P < 0.0001$) para Aculco, Hit-11 > Hit-9, la menor concentración la presento C1: Cacahuacintle y Prec-4. Los valores obtenidos de la composición química del grano con respecto al contenido de humedad máximo reportado por la NMX-034 (2002) de 14% ningún genotipo en estudio supero este porcentaje, el contenido proteico de los granos fueron iguales al 10.0% reportado por Paredes et al. (2009), Zepeda et al. (2009) y 8.1 de la FAO (2007). El

extracto etéreo es similar al 5.0% citado por Paredes et al. (2009). En cuanto al efecto debido a la zona y su interacción con los genotipos mostraron diferencias ($P < 0.05$) para el peso hectolitrico, materia seca, materia orgánica y extracto etéreo.

ESTRUCTURA INTERNA DEL GRANO

La determinación de la estructura interna del grano con respecto al área del embrión no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$). Dentro del área del pedicelo del grano esta vario ($P < 0.0001$) de 2.6 a 5.3% siendo mayor Aculco con respecto a Prec-7. El área del endospermo harinoso dentro del área total del grano HC-8 fue mayor ($P < 0.001$) en relación a Hit-9. El mismo caso fue para el área del endospermo cristalino en donde Hit-9 con un 52.8% del área total del grano fue superior a HC-8 con un 39.4%. Los resultados obtenidos del análisis digital de la estructura interna del grano concuerdan con Zepeda et al. (2009) al encontrar un área embrionaria del grano de 5.6%, porcentaje de pedicelo de 12.7, área del endospermo harinoso con un 37-46% y finalmente un área del endospermo cristalino del 36-46%. Martínez (2009) mostro que el área del endospermo harinoso (44.1%); área del endospermo cristalino (32.6%) fue similar al presente estudio. La similitud de estos resultados posiblemente se deba a que se utilizó la metodología propuesta por Leyva et al. (2002) y en sus determinaciones se han empleado materiales genéticos mejorados adaptados para la zona de Valles Altos del Centro de la República Mexicana siendo similares a los del presente estudio (Cuadro 2).

NIXTAMALIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD NIXTAMALERA

En la nixtamalización del grano no presentaron diferencia ($P > 0.05$) para las variables evaluadas (Cuadro 3) sólidos totales, humedad de nixtamal, humedad del nixtamal sin pericarpio, pericarpio retenido y pericarpio remanente. En relación al volumen de

nejayote, Prec-4 con 68.1 mm de agua de residuo del proceso térmico alcalino de cocción “nixtamalización” conocido como nejayote fue mayor ($P < 0.001$) con respecto a los 20.8 mm de nejayote de Hit-9.

CALIDAD TORTILLERA

El contenido de humedad en las masas (Cuadro 4) de los once genotipos (g/100g) fue mayor para Prec-7 ($P < 0.001$) con respecto a Hit-7. Buho presenta el mayor contenido de humedad en tortilla. Aculco y H-40 presentaron un coeficiente de rendimiento menor al 1.5 Kg que demanda la NMX-034 (2002) para ser un material genético empleado en la elaboración de tortilla. Las dimensiones promedio de las tortillas analizadas fueron: Peso de la tortilla cocida (21.8cm); Diámetro de la tortilla (11.1cm) y Grosor (2.1mm) mostrando diferencias significativas ($P < 0.05$) entre genotipos.

COMPOSICIÓN QUÍMICA, TEXTURA EN MASA Y TORTILLA

En el análisis de textura en masa y tortilla después de 2, 24 y 48 horas de elaboración se encontraron diferencias significativas ($P < 0.0001$). La dureza en masa fue superior ($P < 0.0001$) para Hit-7 con respecto a Prec-7. No se encontró diferencia ($P > 0.05$) en las tortillas analizadas después de dos horas. A las 24 horas las tortillas presentaron una dureza mayor ($P < 0.0001$) para H-40 y Hit-7 y menor para Buho. Después de 48 horas las tortillas presentaron una dureza mayor ($P < 0.0001$) para H-40 con respecto a Buho.

Después del proceso térmico alcalino de cocción del grano, la obtención de masa fresca de maíz nixtamalizado y el proceso de cocción de las tortillas elaboradas con el grano de once genotipos, los cuales se diferencian uno del otro ya que poseen diferente dureza de grano (Cuadro 4). El contenido de humedad de las tortillas elaboradas de forma tradicional, almacenadas envueltas con servilleta de tela, protegidas en una bolsa de polietileno conocidas como sip lock y puestas a refrigeración con una temperatura interna del frigorífico de 9°C fue mayor ($P < 0.001$) HC-8 con respecto a H-40. El cuanto al

contenido de cenizas (g/100g) Hit-9 fue mayor ($P < 0.0001$) con respecto a Prec-7. El contenido de proteína de Hit-9 fue superior ($P < 0.0001$) a Buho y el contenido de extracto etéreo fue superior para Aculco ($P < 0.01$) con respecto a Prec - 7 no mostrando diferencias significativas ($P > 0.05$) para el resto de los genotipos.

CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS, TAMAÑO Y ESTRUCTURA INTERNA DEL GRANO.

Con el fin de obtener indicadores de la calidad nixtamalera-tortillera y valor nutritivo de los granos, se obtuvieron las correlaciones lineales entre cada variable evaluadas (Cuadro 5). Como se observa existe una correlación negativa entre el índice de flotación y la dureza del grano que se traduce en el hecho que cuando un grano presenta un menor índice de flotación es porque los granos presentan una mayor distribución de endospermo cristalino y por tanto son granos más duros y en consecuencia el tiempo de nixtamalización será mayor. Por otra parte el peso hectolítrico y el contenido de materia seca están correlacionados positivamente a mayor contenido de materia seca el peso hectolítrico de los granos será menor, por el bajo contenido de humedad. Químicamente se relacionaron de manera positiva el contenido de proteína del grano con el contenido del extracto etéreo del grano. Esto indica que entre mayor contenido de proteína en el grano también será mayor el contenido de extracto etéreo.

La Matriz de correlación de la estructura interna del grano (Cuadro 6), existe una correlación negativa entre el endospermo harinoso y el cristalino que se traduce en el hecho de que cuando un grano aumenta el porcentaje de endospermo harinoso disminuye el cristalino.

AGRUPAMIENTO DE LOS GENOTIPOS

En la figura 1 se observa que se encontraron tres grupos por sus características químicas y de dureza, los genotipos Hit-9, Hit 11 y Hit 15 (grupo 1) presentaron una estructura interna del grano con mayor porcentaje dentro de su área total de grano de endospermo cristalino y en consecuencia es un grano muy duro enfocado a la producción de harinas. Los genotipos Buho, Hit-17, Hit-7 (Grupo 2) son granos duros y se orientaría su consumo en fresco. En cambio Aculco, HC-8, Prec-7, H-40 y Prec-4 (Grupo 3) presentan un mayor porcentaje de endospermo harinoso dentro de su área total del grano y en consecuencia son granos intermedios, los cuales cumplirían con las características que demanda la industria del nixtamal y la tortilla.

COMPONENTES PRINCIPALES

De la variabilidad total observada en los once genotipos mejorados de maíz blanco con base a las 36 variables registradas (Figura 2), los dos primeros componentes principales explicaron que los genotipos Prec-7 y Buho tienen relación cercana entre la prueba de sólidos totales y peso hectolitrico. Sin embargo Hit-9 y Hit-17 comparten el tiempo de nixtamalización y en consecuencia su dureza. En el cuarto cuadrante observamos que químicamente los genotipos Hit-7 y Hit-11 son afines en el contenido de extracto etéreo y humedad, mientras que HC-8, Prec-4 y H-40 son similares en el índice de flotación y volumen de nejayote.

Cuadro 1. Análisis fisicoquímico y composición química (g/100g) del grano de once genotipos de maíz blanco para la zona de valles altos del centro de México

Genotipos (G)	Físico				Composición Química (g/100g MS)				
	IF (%)	Dureza (%)	TN (min)	PH (Kg/hL-1)	Humedad	MS	MO	PC	EE
Aculco	38.3 ^b	I	35.0 ^{abc}	84.6 ^e	13.1 ^{ab}	86.8 ^{ef}	98.8 ^{ab}	8.8 ^d	5.7 ^{ab}
Buho	16.8 ^{de}	D	40.0 ^{ab}	90.3 ^a	9.7 ^{efhg}	90.0 ^{ab}	98.9 ^{ab}	8.2 ^{ef}	5.1 ^{cde}
HC-8	32.3 ^{bc}	D	40.0 ^{ab}	88.8 ^{abcd}	9.2 ^{fhg}	90.8 ^{ab}	98.9 ^{ab}	7.9 ^{fg}	4.8 ^{ef}
H-40	18.7 ^{de}	D	40.0 ^{ab}	88.3 ^{cd}	10.1 ^{defg}	89.3 ^{bc}	90.0 ^a	8.6 ^{de}	4.9 ^{ef}
Hid-15	19.2 ^{dc}	D	40.0 ^{ab}	87.8 ^d	9.1 ^{hg}	90.8 ^{ab}	98.8 ^{ab}	9.8 ^{bc}	5.1 ^{cde}
Hit-7	12.0 ^e	MD	45.0 ^a	88.5 ^{bcd}	11.1 ^{cd}	89.0 ^{cd}	98.8 ^{ab}	9.8 ^{bc}	5.2 ^{cd}
Hit-9	10.3 ^e	MD	45.0 ^a	89.5 ^{abc}	12.3 ^{bc}	87.7 ^{de}	98.7 ^b	10.0 ^b	5.4 ^{abc}
Hit-11	14.8 ^e	D	40.0 ^{ab}	88.5 ^{bcd}	10.5 ^{def}	89.5 ^{bc}	98.8 ^{ab}	9.5 ^c	5.7 ^a
Hit-17	11.3 ^e	MD	45.0 ^a	88.9 ^{abcd}	14.0 ^a	86.0 ^f	98.7 ^b	8.8 ^c	5.3 ^{bc}
Prec-4	24.8 ^{cd}	D	40.0 ^{ab}	89.9 ^{ab}	10.6 ^{de}	89.5 ^{bc}	98.9 ^{ab}	8.0 ^{fg}	4.5 ^f
Prec-7	32.5 ^{bc}	D	40.0 ^{ab}	88.7 ^{bcd}	9.3 ^{efhg}	90.8 ^{ab}	98.9 ^{ab}	8.0 ^{fg}	4.9 ^{de}
Cacahuacintle	89.0 ^a	MS	25.0 ^{abcd}	61.49 ^f	8.5 ^h	91.5 ^a	97.0 ^d	7.5 ^g	3.4 ^h
Reventador	0.0 ^f	MD	45.0 ^a	88.8 ^{abcd}	9.5 ^{efhg}	90.5 ^{ab}	97.9 ^c	11.2 ^a	3.7 ^g
EEM	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
P-Value	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Zona (Z)									
R.Arroyo	21.6 ^a	D	40.0 ^a	79.7 ^b	12.4 ^a	87.6 ^b	98.6 ^b	8.9 ^a	5.0 ^a
R.Tiacaque	22.0 ^a	D	40.0 ^a	93.2 ^a	8.7 ^b	91.1 ^a	98.7 ^a	8.9 ^a	4.7 ^b
Media	21.8	D	40.0	86.5	10.5	89.5	98.6	8.9	4.9
CV(%)	20.6	-	3.3	0.8	6.4	0.8	0.1	3.0	3.6
G*Z									
EEM	0.3	0.01	0.05	0.09	0.7	0.7	0.01	0.2	0.1
P-Value	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.4	<0.0001	<0.0001

IF = índice de flotación, DZ = dureza, TN = tiempo de nixtamalización, PH = peso hectolítrico, MS = materia seca del grano, MO = materia orgánica del grano, PC = proteína cruda del grano, EE = extracto etéreo del grano.

^{abcdefg} Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05)

EEM, error estándar de la media

Cuadro 2. Estructura interna (%) y tamaño del grano (mm) de once genotipos de maíz blanco para la zona de valles altos del centro de México

Genotipos (G)	Estructura interna del grano (%)				Tamaño del grano (mm)		
	Embrión	Pedicelo	EHarinoso	ECristalino	Largo	Ancho	Grosor
Aculco	10.0	5.3 ^{ab}	32.4 ^{de}	52.2 ^{bc}	14.4 ^a	8.2 ^d	4.9 ^a
Buho	12.5	3.4 ^{bc}	42.6 ^{bc}	44.5 ^{efg}	12.7 ^c	8.8 ^{bcd}	4.7 ^{ab}
HC-8	11.9	2.9 ^c	45.7 ^b	39.4 ^g	13.2 ^{cb}	8.4 ^{cd}	4.5 ^a
H-40	13.0	2.8 ^c	35.0 ^{de}	49.2 ^{bcde}	13.0 ^c	9.3 ^{ab}	4.7 ^{ab}
Hid-15	12.5	3.6 ^{bc}	36.9 ^{cde}	46.8 ^{bcdef}	13.4 ^{cb}	8.8 ^{abc}	4.6 ^{ab}
Hit-7	11.3	2.9 ^c	34.5 ^{de}	51.2 ^{bcd}	13.8 ^{ab}	8.5 ^{cd}	4.7 ^{ab}
Hit-9	12.9	3.8 ^{bc}	30.9 ^{ef}	52.8 ^b	13.3 ^{cb}	8.7 ^{cd}	4.7 ^{ab}
Hit-11	12.7	3.9 ^{bc}	31.0 ^{ef}	52.2 ^{bc}	13.4 ^{cb}	8.9 ^{abc}	4.4 ^b
Hit-17	11.4	3.8 ^{bc}	38.5 ^{cd}	46.3 ^{cdef}	13.2 ^{cb}	8.7 ^{cd}	4.5 ^{ab}
Prec-4	13.8	2.9 ^c	37.8 ^{cde}	45.4 ^{defg}	12.8 ^c	8.2 ^d	4.8 ^{ab}
Prec-7	12.3	2.6 ^c	42.6 ^{bc}	42.4 ^{fg}	13.2 ^{cb}	9.4 ^a	4.4 ^b
Cacahuacintle	13.4	6.9 ^a	79.7 ^a	0.0 ^h			
Reventador	12.1	2.1 ^c	24.6 ^f	61.1 ^a			
EEM	0.002	0.002	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
P-Value	0.1584	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.008
Zona (Z)							
R.Arroyo	11.9 ^a	3.7 ^a	40.1 ^a	44.2 ^a	13.1 ^b	8.8 ^a	4.7 ^a
R.Tiacaqué	12.7 ^a	3.6 ^a	38.2 ^b	45.5 ^a	13.5 ^a	8.8 ^a	4.7 ^a
Media	12.3	3.6	39.2	44.9	13.3	8.7	4.7
CV(%)	32.7	52.8	17.1	13.5	5.7	6.8	9.1
G*Z							
EEM	0.02	0.007	0.05	0.04	0.004	0.01	0.002
P-Value	0.0141	0.4561	0.0001	0.0006	0.13	0.004	0.09

EHarinoso = endospermo harinoso, HCristalino = endospermo cristalino

^{abcdefg} Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05)

EEM, error estándar de la media

Cuadro 3. Análisis físico del nixtamal, masa y tortilla del grano de once genotipos de maíz blanco para la zona de valles altos del centro de México

Genotipos (G)	Nixtamal (g/100g)						Masa y Tortilla (%)		
	VN (ml)	ST	HN	HNSP	PRN	PDO	HM	HT	RT (Kg)
Aculco	51.3 ^{abcd}	1.0	45.3	18.9	87.6	12.3 ^a	58.6 ^{abc}	48.0 ^{ab}	1.4 ^c
Buho	44.5 ^{bcd}	1.1	40.1	20.4	89.3	10.6 ^{ab}	56.5 ^{bc}	51.4 ^a	1.8 ^a
H-40	64.6 ^{ab}	0.9	38.9	24.1	88.0	11.9 ^a	57.1 ^{bc}	46.1 ^{abc}	1.4 ^{bc}
HC-8	58.3 ^{abcd}	0.9	38.5	23.2	90.8	9.1 ^a	60.2 ^{ab}	39.1 ^c	1.6 ^{abc}
Hid-15	43.0 ^{bcde}	1.0	46.8	18.9	89.0	10.9 ^a	54.1 ^{bc}	47.8 ^{ab}	1.6 ^{abc}
Hit-11	35.3 ^{de}	1.0	38.9	29.0	87.4	12.5 ^a	52.7 ^c	43.7 ^{abc}	1.6 ^{abc}
Hit-17	38.5 ^{cde}	0.9	41.6	18.1	79.7	11.9 ^a	59.1 ^{abc}	45.2 ^{abc}	1.6 ^{abc}
Hit-7	60.3 ^{abc}	0.9	36.9	18.4	89.4	10.5 ^a	52.4 ^c	42.7 ^{bc}	1.6 ^{abc}
Hit-9	20.8 ^e	1.0	52.2	18.9	89.0	10.9 ^{ab}	55.4 ^{bc}	45.7 ^{abc}	1.6 ^{abc}
Prec-4	68.1 ^a	0.9	43.3	21.8	90.9	9.0 ^b	57.2 ^{bc}	46.7 ^{abc}	1.6 ^{abc}
Prec-7	38.3 ^{cde}	1.8	35.9	19.9	91.2	8.7 ^b	64.4 ^a	47.9 ^{ab}	1.7 ^{ab}
EEM	0.01	0.008	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
P-Value	<0.0001	0.75	0.007	0.01	0.30	0.0005	<0.0001	0.0008	0.002
Zona (Z)									
R. Arroyo	50.1 ^a	1.1 ^a	45.5 ^a	23.8 ^a	89.2 ^a	10.7 ^a	59.7 ^a	46.3 ^a	1.6 ^a
R. Tiacaqué	45.0 ^a	0.9 ^a	37.9 ^b	18.3 ^b	87.6 ^a	10.8 ^a	54.5 ^b	45.4 ^a	1.6 ^a
Media	47.6	1.1	41.7	21.0	88.4	10.8	57.1	45.8	1.6
CV (%)	24.7	70.5	20.3	27.6	7.5	12.4	6.1	8.5	7.9
GXZ									
EEM	0.5	0.01	0.2	0.1	0.1	0.02	0.1	0.1	0.003
P-Value	<0.0001	0.49	0.024	0.19	0.41	0.39	0.0001	0.001	0.026

VN = volumen de nejayote, **ST** = sólidos totales, **HN** = humedad del nixtamal, **HNSP** = humedad del nixtamal sin pericarpio, **PRN** = pericarpio remanente, **PDO** = pericarpio retenido, **HM** = humedad en masa, **HT** = humedad en tortilla, **RT** = rendimiento tortillero (kg).

^{abcde} Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05)

EEM, error estándar de la media

Cuadro 4. Composición química (g/100g), y características de la masa y tortilla once genotipos de maíz blanco para la zona de valles altos del centro de México.

Genotipos (G)	Composición química de la tortilla				Tamaño de tortilla (mm)			Textura en masa y tortilla (N)			
	Humedad	Cenizas	PC	EE	PTF(g)	Diámetro		TM	TT2h	TT24h	TT48h
						Grosor					
Aculco	46.3 ^{ab}	1.6 ^{bcd}	3.8 ^{de}	3.2 ^a	22.2 ^{bc}	11.2 ^{ab}		21.3 ^{cde}	1.2	1.5 ^{bc}	2.0 ^{ab}
Buho	49.2 ^{ab}	1.7 ^{abc}	3.6 ^e	2.8 ^{ab}	21.5 ^{bcd}	11.4 ^a		17.5 ^{ef}	1.1	1.4 ^c	1.4 ^c
H-40	43.0 ^b	1.5 ^d	5.2 ^a	2.6 ^{ab}	18.1 ^{de}	11.2 ^{ab}		23.5 ^{bcd}	1.5	1.9 ^a	2.2 ^a
HC-8	51.6 ^a	1.6 ^{bcd}	4.0 ^{ede}	2.6 ^{ab}	22.1 ^{bc}	11.1 ^{ab}		18.0 ^{def}	1.2	1.7 ^{abc}	1.8 ^{abc}
Hid-15	44.3 ^{ab}	1.6 ^{abcd}	4.5 ^{bc}	2.5 ^{ab}	22.7 ^{ab}	11.0 ^{ab}		23.4 ^{bcd}	1.4	1.6 ^{abc}	1.7 ^{bc}
Hit-11	44.8 ^{ab}	1.7 ^{abc}	4.5 ^{bc}	2.4 ^{ab}	23.8 ^a	10.8 ^b		27.4 ^{ab}	1.5	1.6 ^{abc}	1.5 ^{bc}
Hit-17	50.7 ^{ab}	1.7 ^{abc}	4.4 ^{bcd}	2.6 ^{ab}	21.1 ^{cd}	11.3 ^{ab}		17.6 ^{ef}	1.4	1.7 ^{abc}	2.0 ^{ab}
Hit-7	45.7 ^{ab}	1.6 ^{bcd}	4.5 ^{bc}	2.2 ^{ab}	22.4 ^{abc}	11.0 ^{ab}		29.8 ^a	1.3	1.5 ^{bc}	1.8 ^{abc}
Hit-9	43.8 ^b	1.8 ^a	4.8 ^{ab}	2.6 ^{ab}	22.9 ^{ab}	10.8 ^a		23.6 ^{bcd}	1.2	1.5 ^{bc}	1.8 ^{abc}
Prec-4	45.0 ^{ab}	1.6 ^{bcd}	4.1 ^{bcd}	2.4 ^{ab}	20.5 ^d	11.2 ^{ab}		24.4 ^{abc}	1.4	1.6 ^{abc}	2.0 ^{ab}
Prec-7	48.4 ^{ab}	1.5 ^{cd}	4.0 ^{ede}	2.1 ^b	22.8 ^{ab}	11.0 ^{ab}		15.0 ^f	1.4	1.7 ^{abc}	1.8 ^{abc}
EEM	0.01	0.01	0.01	0.01	0.008	0.007		0.008	0.006	0.007	0.007
P-Value	0.0005	<0.0001	<0.0001	0.3079	<0.0001	<0.0001		<0.0001	0.01	<0.0001	<0.0001
Zona (Z)											
R. Arroyo	47.5 ^a	1.8 ^a	4.2 ^a	2.6 ^a	22.0 ^a	11.3 ^a		19.2 ^b	1.2 ^b	1.7 ^a	1.7 ^b
R. Tiacaqué	45.7 ^a	1.5 ^b	4.4 ^a	2.5 ^a	21.7 ^a	10.9 ^a		24.7 ^a	1.4 ^a	1.6 ^a	1.8 ^a
Media	46.61	1.7	4.3	2.53	21.8	11.1		21.9	1.3	1.6	1.8
CV (%)	8.4	3.4	7.1	20.0	4.9	2.9		17.3	28.7	17.5	16.5
GXZ											
EEM	0.1	0.002	0.01	0.007	0.030	0.003				0.006	0.006
P-Value	0.0004	<0.0001	<0.0001	0.60	<0.0001	0.28		<0.0001	0.0007	0.02	<0.0001

PTF = peso de la tortilla fría, TM = textura en masa, TT2h = textura en tortilla después de 2h de elaboración, TT24h = textura en tortilla después de 24h de elaboración, TT48h = textura en tortilla después de 48h de elaboración.

^{abcdef} Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05)

EEM, error estándar de la media

Cuadro 5. Correlación entre las variables fisicoquímicas del grano (Spearman correlation coefficient P- values)

	IF	D	TN	PH	HG	MSG	MOG	PCG
D	-0.70*	1.00						
TN	-0.87*	0.76*	1.00					
PH	-0.43*	0.10	0.38*	1.00				
HG	-0.03**	0.04**	0.13	-0.30*	1.00			
MSG	0.04**	-0.04**	-0.14	0.03*	-1.00*	1.00		
MOG	-0.25	-0.10	0.24	0.68*	0.07**	-0.06**	1.00	
PCG	-0.69*	0.53*	0.68*	0.22	0.14	-0.04**	-0.04**	1.00
EEG	-0.19**	0.08**	0.29*	0.20	0.51*	-0.51*	0.06*	0.31*

*,P<0.05; ** P<0.01; IF=Índice de flotación; D=dureza; TN=tiempo de nixtamalización; PH=peso hectolitrico; HG=humedad en grano; MSG=materia seca del grano; CZ=cenizas del grano; PCG=proteína cruda del grano; EEG=extracto etéreo del grano

Cuadro 6. Matriz de correlación de la estructura interna del grano.

	Endospermo harinoso	Embrión	Pedicelo
Embrión	-0.16	1.00	
Pedicelo	0.023*	0.21 *	1.00
Endospermo cristalino	-0.94*	-0.15*	-0.42*

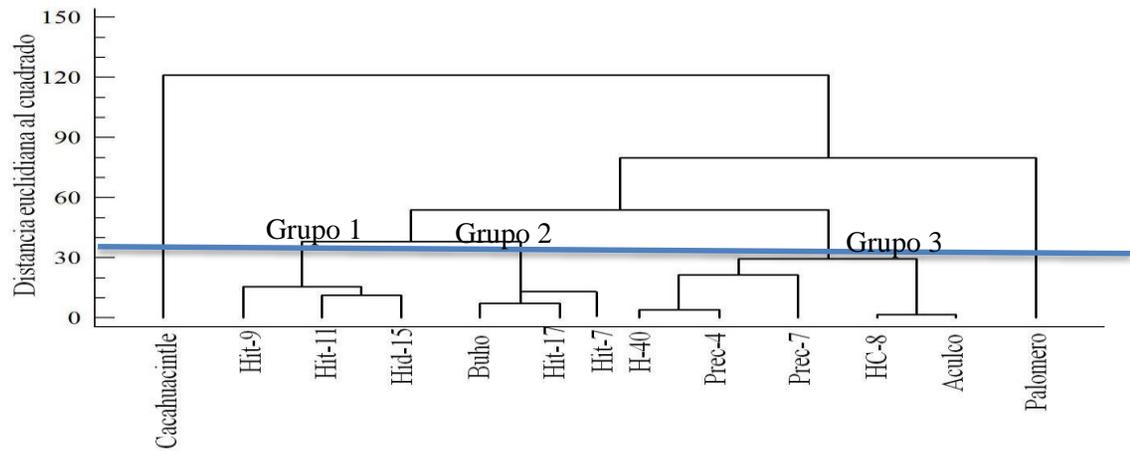


Figura 1. Agrupamiento de genotipos en función de las variables evaluadas.

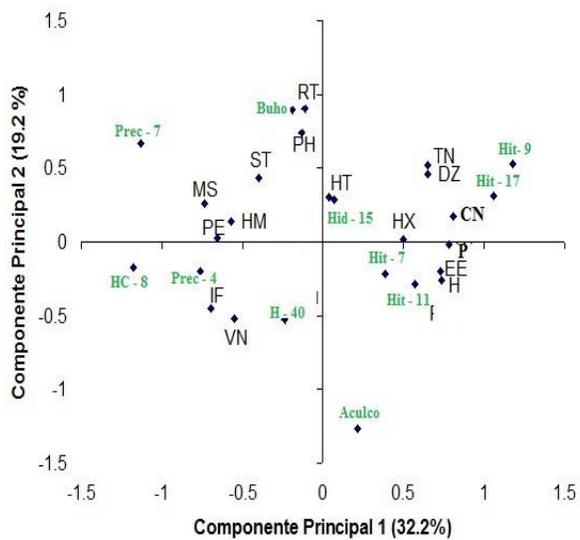


Figura 2. Interrelaciones entre 11 cultivares de maíz y 36 variables de calidad de grano y tortilla (con letras mayúsculas).

IX. CONCLUSIONES

Se encontraron tres grupos por sus características químicas y de dureza, los genotipos Hit-9, Hit 11 y Hit 15 (grupo 1) presentaron una estructura interna del grano con mayor porcentaje dentro de su área total de grano de endospermo cristalino y en consecuencia es un grano muy duro enfocado a la producción de harinas. Los genotipos Buho, Hit-17, Hit-7 (Grupo 2) son granos duros y se orientaría su consumo en fresco. En cambio Aculco, HC-8, Prec-7, H-40 y Prec-4 (Grupo 3) presentan un mayor porcentaje de endospermo harinoso dentro de su área total del grano y en consecuencia son granos intermedios, los cuales cumplirían con las características que demanda la industria del nixtamal y la tortilla, siendo el Prec-7 el genotipo que sobresale de este grupo.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arambúla V G, J González H, C A Ordorica J. 2001.** Physicochemical structural and textural properties of tortilla from extruded instant corn flour supplemented with various types of corn lipids. *J. cereal SO*; 33: 245 – 252.
- Ávila P.M.A.; Arellano V.J.L.; Virgen V.J.; Gómez V.A.J.; 2009.** H – 52 Híbrido de maíz para Valles Altos de la Meseta Central de México. *Rev. Agricultura técnica en México*. Vol. 35(2), 237 – 240.
- Báez-Ramírez, OA.; Martínez-Borrego, A. 1990.** Estudio de la influencia de las condiciones de proceso sobre la calidad de harina de maíz nixtamalizado para tortillas. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo. México.
- Coutiño-Estrada B, A Ortega-Corona, V A Vidal-Martínez, G Sánchez-Grajales, S I García-Acuña. (2008).** Selección recurrente para incrementar el contenido de aceite en maíz comiteco. *Rev. Fitotec. Mex.* 31:5-8.
- Desrosier, N, E. 1998.** Elementos de tecnología de alimentos. Editorial Continental, S.A de C.V, Décima Tercera Reimpresión, México, pp. 155-167.
- FAO. Food and Agriculture Organization. 2007.** FAOSTAT (FAO Stantistical Databases) Agriculture, fisheries, forestry, nutrition. Rome, Italy. <http://faostat.fao.org/default.aspx/>.
- García, E. 1988.** Modificaciones al sistema climatic de Köpen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª ed. Talleres ofset Larios. México, D.F.
- Gasca MJC, Casas ANB. 2007.** Adición de harina de maíz nixtamalizado. Efecto en las propiedades texturales de masa y tortilla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*: 6(3): 317 - 328.
- Goodman, M.M. & Brown, W.L. 1988.** Races of corn. In G.F. Sprague & J.W. Dudley, eds. *Corn and corn improvement*, 3rd ed., p. 33-79. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.
- Gomes, H.J. 1993.** Métodos comparativos para determinar dureza en maíz (*Zea mays* L.) y su influencia en el tiempo de nixtamalización. Tesis de licenciatura. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. Méx. 82 p.
- Gomez M. H.; Mcdonough C. M.; Winaska R. D.; Rooney L. W. 1992.** Corn starch changes during tortilla and tortilla chip processing. *Cereal Chem.* 69(3): 275-279.

- Gómez, M. H., R. D. Waniska and L. W. Rooney. 1991.** Starch characterization of nixtamalized corn flour. *Cereal Chem.* 68: 578- 582.
- Gontard, N., Guilbert, S. 1994.** Bio-packaging: Technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. En: Mathlouthi, M. (ed). *Food. Packaging and Preservation.* Ed. Blackie Academic & Professional, Glasgow, UK.
- Hawthorn J. 1983.** Fundamentos de ciencias de los alimentos. Editorial; Acirbia S.A. Zaragoza España, pp. 61-63.
- INEGI. 2007.** Instituto Nacional de Geografía e informática. <http://www.inegi.org.mx/>
- Jugenheimer, R.W. 1981.** Maíz, Variedades Mejoradas, Métodos de Cultivo y Producción de Semillas. Limusa. México, D.F., México. pp. 357-442.
- Kent, N.L., and Evers, A.D. 1994.** Technology of cereals. (4th Edition). Pergamon Press. U.K.
- Leyva O.O.R. Carballo A., Mejía C. J. A., y Vázquez C.M.G. 2002.** Procesamiento digital de imágenes para la estimulación de textura de endospermo en líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 25 (4): 355-365.
- López M., y Segurajaúregui J. 1986.** Efecto de la variedad del maíz en la cinética de nixtamalización. *Tecnol. Aliment. (MEX.)* 21 (5): 13-18.
- Muller, H.G. y Tobin, G. 1986.** Nutrición y Ciencia de los Alimentos, Editorial; Acirbia S.A. Zaragoza España, pp.133-135.
- Paredes-López, O., Guevara-Lara, F., & Bello-Pérez, L. A. (2009).** La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias*, 92, 60–70
- Salinas M., Y., y G. Vázquez C. 2006.** Metodologías de análisis de calidad nixtamalera-tortillera en maíz. INIFAP. Campo Experimental Valle de México, Chapingo, México. Folleto Técnico No. 24. 91 p.
- United States Department of Agriculture Agricultural Research Service 2005.** Races of maize collection. North central regional. Plant introduction station. Iowa...state University Ames, Iowa. Digital compilation (<http://www.ars.sda.gov/pand/people/publications.htm.personoid=12358>)(2 Noviembre de 2009).
- Vaclavik, Vickie A. 2003.** Fundamentos de ciencia de los alimentos. Editorial; Acirbia S.A., Zaragoza, España, pp.76-89.

Vázquez, C. M. G., A. R. Márquez y F. Márquez S. 1990. Evaluación física, química y tortillera del compuesto pepitilla del maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 13:117-128.

Ward, K. E. J.; Hoseney, R. C. and Seib, P. A. 1994. Retrogradation of amylopectin from maize and wheat starches. *Cereal Chem.* 71(2):150-155.

Watson, A.S. 1987. Structure and Composition. In: *Corn: Chemistry and Technology*. Watson, A.S., and Ramstad, E.P. (Eds.). American Association of Cereal Chemists, Inc. St Paul Minnesota, pp. 55-56.

Watson, S.A., and Ramstad, P.E. 1987. Structure and composition In *corn: Chemistry and Technology*. American Association of cereal chemists, ST. Paul, MN.

Zepeda-Bautista R., A. Carballo-Carballo, A. Muñoz-Orozco, J. A. Mejía-Contreras, B. Figueroa-Sandoval, F. V. González-Cossio y C. Hernández-Aguilar (2009b). Proteína, triptófano y componentes estructurales del grano de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) producidos bajo fertirrigación. *Agrociencia* 43:143-152.