

**ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DEL AMBIENTE EN LA
EXPRESIÓN DE LOS ATRIBUTOS FÍSICOS Y DE CALIDAD DE
GRANO DE MAÍZ**

JAVIER GUTIÉRREZ DÍAZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para
obtener el Grado de

**Maestro en Ciencias
en Fitomejoramiento**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

Programa de Graduados

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2008

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIRECCIÓN DE POSTGRADO

**ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DEL AMBIENTE EN LA EXPRESIÓN DE LOS
ATRIBUTOS FÍSICOS Y DE CALIDAD DE GRANO DE MAÍZ**

TESIS

Por

JAVIER GUTIÉRREZ DÍAZ

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito
parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

Comité particular

Asesor principal:

Dr. Froylán Rincón Sánchez

Asesor:

Dr. Humberto De León Castillo

Asesor:

Dra. Norma A. Ruíz Torres

Asesor:

Dr. Juan de Dios Figueroa Cárdenas

Dr. Jerónimo Landeros Flores

Director de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Diciembre de 2008.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el apoyo otorgado por medio de la beca en el transcurso de mis estudios de postgrado.

Al Dr. Froylán Rincón Sánchez por haber provisto todo lo necesario para la realización de este trabajo y por la asesoría provista en el análisis e interpretación de los datos, en la revisión del trabajo.

A la Dra. Norma A. Ruiz Torres, por al apoyo otorgado así como la atención prestada en la revisión del trabajo.

Al Dr. Humberto de León Castillo por la atención prestada en la revisión del presente trabajo.

Al Dr. Juan de Dios Figueroa Cárdenas por la participación en la revisión de este trabajo.

A las Técnicas Académicas L.C.Q. Magdalena Olvera Esquivel y Beatriz Jaime Gil por el apoyo e interés mostrado en la realización del trabajo de laboratorio.

DEDICATORIA

A mis Padres:

A mi Padre Javier Gutiérrez Pérez

A mi Madre Delker Díaz Parra

A mis Hermanos:

Sergio Gutiérrez Díaz

Iván Gutiérrez Díaz

A mi novia Rosa Mónica Elizabeth Guerrero García por su apoyo incondicional y por inmenso amor.

A mis amigos: Alberto Peña, Víctor Manuel Hernández, Melesio De León, Miguel Ángel Pérez, Gustavo González, Diego Barbosa, José Manuel Alcalá y a todos los demás que me acompañaron en el transcurso de mis estudios.

A mi grandes amigas María del Lourdes, Olga y Carmen por su apoyo incondicional que me brindaron en mi estancia en esta Universidad.

A mi ALMA MATER por todo lo que me ha dado.

COMPENDIO

ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DEL AMBIENTE EN LA EXPRESIÓN DE LOS ATRIBUTOS FÍSICOS Y DE CALIDAD DE GRANO DE MAÍZ

POR

JAVIER GUTIÉRREZ DÍAZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. DICIEMBRE DE 2008

Dr. Froylán Rincón Sánchez ---Asesor---

Palabras clave: *Zea mays* L., calidad de grano, cruza simple, efectos ambientales.

Las características de calidad de grano son determinadas por factores genéticos y por condiciones de producción y de manejo. Los objetivos del estudio fueron: analizar la expresión de los atributos físicos y de calidad de semilla F_2 en respuesta al efecto ambiental de producción y determinar sus interrelaciones. Se analizaron las propiedades físicas y de calidad de grano de treinta y cinco cruza simple, obtenidas a partir de la combinación de líneas de dos grupos germoplásmicos: el primero corresponde al grupo Enano (7 líneas) y el segundo a maíces de alta calidad de proteína (QPM) (5 líneas). Adicionalmente se incluyó incrementos de semilla F_2 procedentes de Tepalcingo Mor.

Se determinaron atributos físicos (porcentaje de desgrane, contenido de humedad, índice de flotación, tipo de endospermo, peso de mil semillas, peso hectolítrico) y de calidad (capacidad de absorción de agua, rendimiento de tortilla, temperatura inicial y final de gelatinización del almidón y tiempo de cocimiento). Se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) entre localidades, en el porcentaje de desgrane y peso de mil semillas, y diferencia estadística ($P \leq 0.05$) en el índice de flotación y peso hectolítrico. No se encontró diferencias estadísticas en los atributos de calidad. Las localidades El Mezquite y Derramadero tuvieron una mejor transformación de los asimilados de la planta durante la etapa de llenado del grano, por consiguiente en un incremento en el tamaño y peso del grano, el cual se vio reflejado en el peso de mil semillas y peso hectolítrico. La semilla de los materiales genéticos procedentes de la localidad de Tepalcingo, Mor. poseen un endospermo Duro a diferencia de las localidades El Mezquite y Derramadero, que son de tipo Muy Duro, la dureza del grano es importante ya que esta, influye en el tiempo de cocimiento y en la temperatura de gelatinización del almidón. Se encontró variación en la expresión del fenotipo en los diferentes ambientes evaluados, en las propiedades físicas y de calidad del grano, esto indica que la expresión de estos, son afectados por variaciones ambientales como altitud, temperatura y precipitación promedio. En general, no se encontró diferencia estadística entre los materiales genéticos en los atributos de calidad de grano. Se encontró que la semilla de las cruzas 11x41, 17x42 poseen un alto índice de flotación (entre 38 y 62) y por lo tanto tienen un endospermo de tipo intermedio, además tienen un bajo peso hectolítrico (entre 81 y 84 kg hl⁻¹). Sin embargo, la semilla de las cruzas 11x42 y 19x56 poseen un tipo de grano duro (índice de flotación entre 13 a 37) y las demás cruzas son de endospermo muy duro (índice de flotación entre 0 y 12). La interacción localidades x genotipos fue importante ($P \leq 0.01$) en el porcentaje de desgrane y en el peso de mil semillas ($P \leq 0.05$). De lo anterior se deduce que la variación de los materiales genéticos en su expresión es atribuible a las propiedades físicas del grano, que están relacionadas con la dureza y el peso. En el análisis de componentes principales corroboró los efectos del ambiente en la expresión de la calidad de grano. La semilla procedente de las localidades El Mezquite, N.L. y Derramadero, Coah. mostraron mayor temperatura de gelatinización del almidón (tipo de grano duro), la cual se reflejo en un índice de flotación menor

comparado con la semilla de la localidad de Tepalcingo, Mor. Dentro de cada localidad, la semilla de los materiales genéticos estuvo diferenciada por la capacidad de absorción de agua y rendimiento de tortilla asociadas negativamente con el peso hectolítrico. En el análisis de correlaciones se encontró que la capacidad de absorción de agua correlacionó con el rendimiento de tortilla ($r= 0.761^{**}$), el índice de flotación correlacionó con la mayoría de las variables estudiadas de forma negativa, excepto con el rendimiento de tortilla ($r= 0.193^{*}$). La temperatura inicial y final de gelatinización están estrechamente correlacionadas entre sí ($r=0.903^{**}$) y además correlacionaron positivamente con la mayoría de las variables estudiadas. Se puede concluir que la expresión del fenotipo de la semilla de los materiales genéticos evaluados, están fuertemente influenciados por el efecto ambiental y su expresión puede variar según las condiciones de manejo, cosecha y clima.

ABSTRACT

**ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL RESPONSE ON GRAIN PHYSICAL
AND QUALITY TRAITS IN MAIZE**

BY

JAVIER GUTIÉRREZ DÍAZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. DICIEMBRE DE 2008

Dr. Froylán Rincón Sánchez ---Adviser---

Key words: *Zea mays*, grain quality, single crosses, environmental effects

Grain quality characteristics are determined by genetic factors and production and management conditions. The objectives of the study were to analyze the physical attributes and quality expression of F₂ seed as a response to the environmental production effect and to determine their relationships. Physical properties and grain quality of thirty five single crosses obtained by the combination of lines from two germplasm groups were analyzed: the first group is the Dwarf (7 lines) and the second a

high quality protein maize (QPM) (5 lines). Additionally, F₂ seed increases in Tepalcingo, Mor. was included. Physical attributes (shelling percentage, moisture content, flotation index, endosperm type, weight of thousand kernels, weight per volume index) and quality traits (water absorption capacity, tortilla yield, initial and final starch gelatinization temperature and cooking time). Statistical differences ($P \leq 0.01$) between locations on shelling percentage and weight of thousand kernels, whereas statistical difference ($P \leq 0.05$) on flotation index and weight per volume index were found. There was not statistical differences on quality attributes. Seed obtained from locations El Mezquite and Derramadero had better nutrient transformation during grain filling stage, therefore they showed an increase on the grain size and weight, which is demonstration on weight of thousand kernels and weight per volume index. Seed of the genetic material from Tepalcingo, Mor. location was classified as hard endosperm, unlike seed from locations El Mezquite and Derramadero, which were characterized as very hard type; grain hardness is important because it affects the cooking time and starch gelatinization temperature. There was a variation of the phenotype expression on the different environments evaluated on physical properties and grain quality, which indicates that the expressions of these traits are affected by environmental changes such as altitude, temperature and precipitation. In general, there were not statistical differences between the genetic materials on the grain quality attributes. Seed from crosses 11x41 and 17x42 had a high flotation index (38 and 62), therefore they have an intermediate endosperm type, with a low weight per volume index (81 and 84 kg hl⁻¹). However, seeds of crosses 11x42 and 19x56 have a hard grain type (flotation index between 13 to 37), the remaining crosses, a very hard endosperm (flotation index between 0 and 12). The locations x genotypes interaction was significant ($P \leq 0.01$) on shelling percentage and weight of thousand kernels ($P \leq 0.05$). Results above indicate that the variation accounted in the genetic materials expression is attributable to the grain physical properties, which are related to the hardness and weight. The principal component analysis confirmed that the environmental effects on the grain quality expression. Seeds from El Mezquite, N.L and Derramadero, Coah. locations showed higher starch gelatinization temperature (hard grain type), which was demonstration as lower flotation index compared to seed from Tepalcingo, Mor. Within each location, seed of the genetic

materials was differentiated by the water absorption capacity and tortilla yield, negative associated to weight per volume index. Correlation analysis showed that the water absorption capacity correlated with tortilla yield ($r= 0.761^{**}$); flotation index correlated negatively with most of the variables, except tortilla yield ($r= 0.193^*$). The initial and final starch gelatinization temperature were closely correlated ($r= 0.903^{**}$) and were positively correlated with most of the variables studied. It can be concluded that the phenotype expression of seed of the genetic material evaluated, are strongly influenced by the environmental effects and their expression may vary depending on management, harvesting and climate conditions.

ÍNDICE CONTENIDO

COMPENDIO	v
ABSTRACT	viii
ÍNDICE CONTENIDO	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE CUADROS	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	3
Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Importancia del maíz como alimento.....	4
2.2. Estructuras y componentes del grano de maíz.....	5
2.3. Importancia del almidón.....	6
2.4. Propiedades del almidón “Gelatinización”.....	6
2.5. Propiedades físicas del maíz.....	8
2.6. Mejoramiento genético en maíz.....	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13

3.1. Material genético.....	13
3.2. Evaluación agronómica.....	14
3.2.1. Desarrollo de material genético.....	14
3.2.2. Evaluación agronómica y obtención de semilla.....	14
3.3. Material experimental para análisis de calidad.....	15
3.4. Análisis de laboratorio.....	15
3.5. Parámetros físicos.....	15
3.5.1. Porcentaje de desgrane (DESG).....	15
3.5.2. Contenido de humedad del grano (HUM).....	16
3.5.3. Índice de flotación (IF).....	16
3.5.4. Tipo de endospermo (TE).....	17
3.5.5. Pesó hectolítrico (PSHL).....	17
3.5.6. Pesó de mil semillas (PSMIL).....	18
3.6. Harina instantánea.....	18
3.6.1. Preparación de la harina para el óhmico.....	18
3.6.2. Capacidad de absorción de agua (CAA).....	18
3.6.3. Preparación y elaboración de tortillas.....	19
3.6.4. Pérdida de pesó relativo durante el cocimiento de la tortilla (PRT)	19
3.6.5. Rendimiento de masa (RM).....	20

3.6.6. Rendimiento de tortilla (RT).....	20
3.7. Características térmicas.....	21
3.7.1. Cocimiento óhmico.....	21
3.7.2. Funcionamiento del equipo y generación de datos.....	21
3.7.3. Análisis de los datos e interpretación.....	22
3.7.4. Tiempo de cocimiento.....	22
3.8. Diseño experimental y análisis de datos.....	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1. Análisis de varianza.....	25
4.2. Comparación de medias.....	27
4.3. Análisis de componentes principales.....	31
4.4. Análisis de correlaciones.....	34
V. CONCLUSIONES.....	38
VI. RESUMEN.....	39
VII. LITERATURA CITADA.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

3.1. Perfil térmico del proceso de cocimiento óhmico (a), y determinación de la primera derivada de la Corriente (V) respecto a la Temperatura (b), para obtener la temperatura inicial (Ti) y final de gelatinización (Tf).....	23
4.1. Agrupación de las localidades El Mezquite N.L. (M), Derramadero, Coah. (D) y Tepalcingo, Mor, (T) en base a los dos primeros componentes principales. CP1: Temperatura inicial y final de gelatinización (+), Índice de flotación (-), Tipo de endospermo, (-); CP2: Capacidad de absorción de agua (+), Rendimiento de tortilla (+), Tiempo de cocimiento (+), Pesó de hectolítrico (-).....	33

ÍNDICE DE CUADROS

2.1. Relación del índice de flotación con la dureza y el tiempo de cocción de granos de maíz.....	9
4.1. Cuadrados medios del análisis de varianza de los atributos físicos y de calidad de grano.....	25
4.2. Comparación de medias en los atributos físicos y de calidad de grano en las localidades evaluadas.....	28
4.3. Comparación de medias entre los materiales genéticos para atributos físicos y de calidad de grano.....	29
4.4. Vectores característicos y proporción de la varianza explicada en los dos primeros componentes principales.....	31
4.5. Coeficientes de correlación simple Pearson de los atributos de calidad de grano en semillas procedentes de cruza simple de maíz (F ₂).....	35

I. INTRODUCCIÓN

La producción de maíz en México en el año 2007, se estimó con un cierre de cosecha alrededor de 22,616.5 t cultivada en los ciclos de otoño – invierno (06/07) y primavera – verano (07). Del cual sólo 11,564.9 t son comercializadas para consumo humano (SIAP, 2008).

El maíz es un cultivo importante en México, cada año se siembran 8.5 millones de hectáreas, lo que representa 60 % de la producción total de granos; proporciona 59 % de la energía necesaria (1,363 kilocalorías) y 39 % de la proteína (29 gramos) (Espinoza *et al.*, 2003). Sin embargo, no proporciona suficiente lisina y triptófano, aminoácidos esenciales para el ser humano y animales, que en ausencia o limitación de estos elementos, no es posible completar las funciones metabólicas, el crecimiento y el desarrollo (Morris y López, 2000).

La tortilla de maíz es el alimento más consumido en México, y esta se ha incrementado en los Estados Unidos de América y en parte de América Central. En zonas rurales de México, la tortilla provee aproximadamente el 50 % de las proteínas, 70 % de las calorías y 49 % del calcio consumido por la población (Serna *et al.*, 1990; Flores *et al.*, 2000). En México la tortilla forma parte de la dieta de todos los estratos sociales, con un consumo anual aproximado de 12 millones de toneladas (INEGI, 2000).

En México los productos elaborados a partir del maíz son tortillas, totopos, pinole, atoles y otros, de los cuales la tortilla constituye el principal producto y su consumo se ha estimado en 328 g diarios *per capita* (Figuroa *et al.*, 2001b).

Entre las propiedades importantes para uso alimentario del maíz están el tamaño, gravedad específica y dureza del grano, así como la capacidad de absorción de agua, el rendimiento de masa y tortilla, la pérdida de peso durante la cocción de la tortilla y la resistencia al corte de la tortilla (Mauricio *et al.*, 2004).

El maíz es un grano que tiene numerosos y diversos usos nutricionales e industriales. De particular importancia resulta su condición de materia prima renovable y no contaminante. La diversidad de aplicaciones requerirá de características específicas en la calidad de sus granos, muchas de las cuales pueden obtenerse mediante mejoramiento genético (Cirilo y Andrade, 1998).

La demanda cada vez más exigente por parte de la industria procesadora de maíz, impone el desarrollo de alternativas de manejo y producción de cultivos que contemplen no solo el rendimiento sino también la calidad del grano que está en función de su destino, y se haya asociada a su constitución física (textura o dureza) y a su composición química como es su valor nutricional y propiedades tecnológicas. La diversidad genética que existe para la dureza y para tamaño de grano que presentan los híbridos de maíz, están fuertemente relacionadas con el estado fisiológico del cultivo durante la etapa de llenado y los factores ambientales que sobre ella influyen (temperatura, radiación, disponibilidad hídrica y nutricional) determinan modificaciones en el nivel y tipo de proteínas y en el contenido y composición del almidón que se deposita en el grano (Cirilo *et al.*, 2003).

OBJETIVOS

Analizar la expresión de los atributos físicos y de calidad de grano en respuesta al efecto ambiental de producción.

Analizar los atributos de calidad de semilla (F_2) obtenida de cruzas simples de maíz.

Estudiar las correlaciones entre los atributos físicos y de calidad de grano.

HIPÓTESIS

En la determinación de la calidad del grano de maíz, influyen los efectos ambientales, las diferencias genéticas, así como la interacción genética y el ambiente de producción.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del maíz como alimento

El maíz (*Zea mays* L.) representa en muchos países como México, Guatemala y Costa Rica, el principal alimento en gran parte de la población, sobre todo la de escasos recursos económicos, se consume en formas variadas pero esencialmente como tortilla (Bressani *et al.*, 1990).

A pesar de que el maíz nixtamalizado pierde materia seca, su calidad nutritiva es mayor que la de la materia prima, pues el proceso mejora la biodisponibilidad de lisina, glutelina y triptofano. La destrucción parcial de leucina hace que su relación con la isoleucina mejore y se incremente el aprovechamiento de ambas; la gelatinización propicia que el almidón sea mejor utilizado por el organismo humano (Badui, 1999). Para ser aceptada, la tortilla debe reunir ciertas características de aroma, sabor y tener flexibilidad y textura adecuada para poderla doblar y enrollar para comerla como “taco” (Cortéz y Wild-Altamarino, 1972).

Las características de calidad de las tortillas de maíz varían entre las regiones de México, y mucho más, fuera del país. Existen tortillas delgadas, con pesos de 18 a 23 g y gruesas, de 28 a 34 g, algunas son infladas durante la cocción, mientras que otras se prefieren sin inflar; sin embargo, es importante y necesario la flexibilidad y firmeza para usarse como taco o cuchara. La superficie no debe ser porosa, debe tener suficiente humedad para recalentarse y mantenerse flexible, ya que las tortillas de baja humedad se hacen rígidas. La tortilla en general, pierde humedad, después de enfriarse, en virtud de

la pérdida de gomas naturales durante el proceso nixtamalización, razón por la cual, se le agregan gomas para conservar la humedad y flexible (Almeida y Rooney, 1996).

2.2. Estructuras y componentes del grano de maíz

El grano de maíz presenta un contenido de proteína que varía de 7 % a 12 %, dependiendo del maíz de que se trate, en general los de endospermo suave tienen menor contenido de proteína que los de endospermo duro (Salinas *et al.*, 1992b). Del total de la proteína del grano entero, alrededor de 52 % son prolaminas (zeínas), y se localizan principalmente en el endospermo del grano, el resto lo constituyen las albúminas y globulinas (22 %), las cuales se concentran en el germen, y las glutelinas (25 %) que se encuentran tanto en el germen como en el endospermo (Watson, 1987).

El grano de maíz está compuesto por cuatro partes principales que son: el pericarpio, germen, endospermo y el pedicelo. El pericarpio está compuesto de un conjunto de capas externas que rodean el grano y representan el 5.5 % del total del grano. El germen representa el 11.5 % del peso del grano, en él se localiza el 83 % de los lípidos, el 70 % de los azúcares y el 26 % de las proteínas del grano. La mayoría de las proteínas del germen son albúminas o globulinas y probablemente componentes del sistema enzimático de la célula. El endospermo representa el 81.5 % del total del grano y contiene el 75 % del total de las proteínas que se encuentran en el grano entero, que son principalmente proteínas insolubles a las que se les atribuye la dureza del endospermo. Solo el 1.5 % del total del grano corresponde al pedicelo (Allen, 1984).

2.3. Importancia del almidón

Los carbohidratos representan la principal fracción en los cereales, donde alcanzan entre el 50 -70 % del peso seco del grano. Aproximadamente entre el 86 – 89 % del endospermo del maíz es almidón que se encuentra organizado en partículas discretas conocidas como gránulos, cuya morfología, tamaño y características moleculares son propias de cada especie botánica (French, 1984). Químicamente el almidón es un polímero de glucosa y está compuesto de dos macromoléculas de diferentes estructuras: la amilosa que es el componente esencialmente lineal y la amilopectina que es el componente ramificado. Dentro de los gránulos, el almidón se encuentra en un arreglo semicristalino, en que el carácter cristalino se debe al ordenamiento de las cadenas de amilopectina, así como también a su longitud (Oates, 1997).

El almidón es el principal polisacárido de reserva de la mayoría de los vegetales, y la principal fuente de calorías de la mayoría de la humanidad. Es importante como constituyente de los alimentos en los que está presente, tanto desde el punto de vista nutricional como tecnológico. Gran parte de las propiedades de la harina y de los productos de panadería y repostería pueden explicarse conociendo el comportamiento del almidón (García *et al.*, 2005).

2.4. Propiedades del almidón “Gelatinización”

La gelatinización del almidón por calentamiento en medio acuoso es un fenómeno bien conocido durante el cual los gránulos pierden su semicristalinidad y se hinchan. Los estudios de difracción de rayos X en almidones gelatinizados indican que se produce una pérdida del orden semicristalino cuando los gránulos se fusionan y los métodos calorimétricos muestran que la estructura asociada y altamente cooperativa se pierde (Evans y Haisman, 1982; Tian *et al.*, 1991).

Los gránulos de almidón no sufren cambios cuando están en suspensión en agua fría, manteniendo sus propiedades ópticas, incluida la refracción de luz polarizada. Este comportamiento se debe a fuertes uniones intermoleculares en las áreas cristalinas de los gránulos, que resisten a la disolución en agua. Los cambios se aprecian cuando las temperaturas alcanzan 60 a 70 °C, momento en que los gránulos se hinchan aumentando el volumen debido a una absorción de agua por los grupos polares hidroxilos, generando nuevos enlaces que envuelven moléculas de agua (Cheftel y Cheftel, 1976; Stone y Lorenz, 1984). Los gránulos de almidón dependiendo de su origen pueden variar en su tamaño, su composición y el grado de cristalinidad, lo que provoca que unos sean más resistentes que otros a los factores gelatinizantes del medio (Karaptansions *et al.*, 2000).

Los maíces con alta capacidad de absorción de agua muestran un alto rendimiento de masa; sin embargo, para obtener un alto rendimiento de tortilla se requiere que el agua absorbida sea retenida durante la cocción y que haya una pérdida de peso (Mauricio *et al.*, 2004).

La capacidad de retención de agua de la masa de maíz es afectada por los cambios bioquímicos provocados por la gelatinización de los gránulos de almidón y por las interacciones moleculares entre éstos con las proteínas y con los lípidos que la constituyen (Bedolla y Rooney, 1982).

Los atributos térmicos y funcionales del grano de maíz son función del tamaño del gránulo de almidón y del contenido de amilosa (Seetharaman *et al.*, 2001). Las propiedades específicas del almidón en cada genotipo, afectan características como textura, volumen, consistencia, humedad y la vida de anaquel de los alimentos (Raeker *et al.*, 1998).

Los genotipos que registraron temperatura de gelatinización arriba de 76 °C se pueden utilizar en la producción de harinas de maíz para elaborar tortillas, debido a las altas temperaturas usadas durante su procesamiento. Aquellos con menores temperaturas

de 73.4 °C y entalpías de 3.3 J g⁻¹ de gelatinización se usarían para elaborar tortillas mediante el proceso tradicional de nixtamalización, ya que se ahorraría energía (Méndez *et al.*, 2005).

2.5. Propiedades físicas del maíz

El peso hectolítrico, porcentaje de flotación y relación de molienda están asociados a la dureza del endosperma. La dureza es una propiedad intrínseca del grano que se expresa en su resistencia a la acción mecánica, vinculada a la presencia de endosperma córneo y asociada a su mayor densidad. Esa densidad, y su mayor vitrosidad, dependerían de un fuerte ligamento entre el almidón y las proteínas de reserva (esencialmente las zeínas ricas en aminoácidos azufrados) en la fracción córnea del endosperma (Robutti *et al.*, 1994).

Algunos informes sugieren que también el almidón podría tener incidencia en la dureza endospermica del maíz, los maíces de endospermo suave presentan densidades más bajas que las de endospermo duro (Watson, 1987).

La dureza es un indicador de la composición del endospermo y es establecida por la densidad del grano y el índice de flotación, el tiempo de cocimiento depende de la dureza de un grano (Salinas *et al.*, 1992a; Mauricio *et al.*, 2004).

La dureza de un grano y el tiempo de cocción para la nixtamalización pueden ser determinada de manera indirecta con el índice de flotación. Este método se basa en el principio de que los granos duros son de mayor densidad y por lo tanto flotan en menor cantidad que los granos de menor densidad. De acuerdo a la norma oficial mexicana, la dureza y el tiempo de cocción en maíz pueden ser estimados con base en el índice de flotación (Cuadro 2.1).

Cuadro 2.1. Relación del índice de flotación con la dureza y el tiempo de cocción de granos de maíz.¹

Granos flotantes (IF)	Dureza	Tiempo de cocción (min)
0-12	Muy duros	45
13-37	Duros	40
38-62	Intermedios	35
63-87	Suaves	30
88-100	Muy suaves	25

¹(Norma Oficial Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI, 2002)

El peso de mil granos es un indicador del tamaño y la densidad del grano, características importantes para los productores de harina porque estos granos contienen mayor proporción de endospermo que los pequeños, de modo que rinden más harina (Freeman, 1973).

La calidad de uso del maíz está determinada principalmente por la estructura y composición del grano. Las diferencias en estructura y composición dependen del cultivar así como de las prácticas de manejo, el clima, el suelo y los métodos de cosecha y poscosecha (Cirilo y Andrade, 1998).

La capacidad de absorción de agua está relacionada con la dureza del endospermo. En el endospermo duro, los gránulos de almidón se agrupan en una red de proteína que restringe la absorción de agua (Salinas *et al.*, 1992a).

La dureza del endospermo está altamente correlacionada con el poder de hinchamiento y la consistencia de retrogradación del almidón. Esto es debido a que la matriz proteica del endospermo controla el proceso de hinchamiento de las partículas de harina durante el proceso de cocción. Las harinas de maíces de endospermo más duros, hinchan menos que las provenientes de maíces blancos (González *et al.*, 2005).

La dureza del grano determina en gran medida el tiempo de nixtamalización requerido por un maíz para obtener una masa con características de calidad adecuadas para preparar tortillas, de manera que los maíces duros requieren tiempos de cocimiento más largos que los suaves (Gómez, 1993). En los maíces duros, el acceso del agua y los agentes gelatinizantes hacia el gránulo de almidón se dificulta más que en los maíces suaves, por encontrarse embebidos en una densa matriz proteínica y completamente rodeados por numerosos cuerpos de zeína, lo que le confiere al endospermo una estructura sólida y compacta (Watson, 1987). Al prolongar el tiempo de cocimiento en estos maíces, se busca lograr la gelatinización parcial de los almidones que permita que la masa adquiera las propiedades de adhesividad y cohesividad necesarias para poder elaborar las tortillas, por lo que los tiempos asignados deben ser los adecuados para permitir que cada maíz exprese su máximo potencial en la elaboración de tortillas (Arámbula *et al.*, 2001).

El nivel y la uniformidad de la calidad del grano maíz empleado como materia prima para la nixtamalización es importante en la calidad del producto final. Las características de calidad del grano son determinadas por factores genéticos y por condiciones de producción y de manejo. Entre estas características están: tipo de maíz usado como semilla, dureza del endospermo, color del pericarpio (casquilla) y olote, facilidad con que se pierde el pericarpio durante el cocimiento, tamaño del grano, porcentaje de granos dañados, fracturados y quebrados, y las proporciones de materia extraña, como oletes y espigas (Almeida y Rooney, 1996).

2.6. Mejoramiento genético en maíz

En el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) se están mejorando los maíces para aumentar los niveles de lisina y triptófano, incorporando el gene Opaco-2 (o2). Actualmente hay maíces QPM (Quality Protein Maize) que tienen el gene o2 modificado para producir endospermo cristalino y duro. Estos maíces han presentado rendimientos iguales o superiores a sus homólogos comerciales. También en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agropecuarias y Pecuarias (INIFAP) se ha trabajado en el mejoramiento genético de la calidad tortillera y componentes de nutrición en genotipos de maíces (Vázquez y Salinas, 1996).

En el maíz Opaco-2, el cambio resultante en la proteína del endospermo de maíces opaco parece ser consecuencia de una inhibición en la síntesis de zeína (proteína de muy baja calidad), y un aumento en las fracciones proteicas de mejor calidad, como las gluteinas, albúminas y globulinas, modificando así el balance de aminoácidos (Espinoza *et al.*, 2003).

Los programas de mejoramiento genético de maíz se centran sus estudios principalmente en áreas como son: mayor rendimiento por hectárea, resistencia a plagas y estrés hídrico, mayor contenido y calidad de las proteínas del grano. Debido a su gran diversidad genética los maíces no tienen la misma composición química, presentan diferencias en sus propiedades y en su utilización final. Así, el maíz puede utilizarse en la producción de hojuelas para el desayuno y botanas (Salinas *et al.*, 2003), para la fabricación de harinas nixtamalizadas (De Sinibaldi y Bressani, 2001), para la industria molinera-tortillera (Salinas *et al.*, 2003), y para aislamiento de almidón, el cual es materia prima en diversas industrias (Ji *et al.*, 2003).

Las características genéticas del grano de maíz (como en los híbridos) tienen efectos importantes en las propiedades físicas y químicas del almidón, como cambios en el tamaño de gránulo de almidón, en la estructura química, en la cristalinidad y la organización de las moléculas (amilosa y amilopectina) dentro del gránulo (Ji *et al.*, 2003).

El mejoramiento genético por retrocruza limitada permite modificar las características físicas del grano y la calidad de las tortillas. A partir de maíces criollos originales se pueden obtener maíces mejorados más rendidores que el criollo original, que cumplan con las especificaciones de calidad de la norma comercial para maíces destinados al proceso de nixtamalización, y que produzcan tortillas de buena calidad (Vázquez *et al.*, 2003).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Material genético

El trabajo experimental se desarrollo con 12 líneas endogámicas correspondientes a dos grupos germoplásmicos. En el primer grupo intervinieron siete líneas representativas de la población Enana (11, 13, 15, 16, 17, 18, 19), las cuales fueron proporcionadas por el Programa del Bajío del Instituto Mexicano del Maíz. El segundo grupo de cinco líneas han sido seleccionadas para alta calidad de proteína (QPM), identificadas con los números (41, 42, 52, 53, 56), proporcionadas por el Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT).

El grupo de maíz Enano, cuyas líneas fueron derivadas de una población de plantas braquíticas, las cuales tienen características agronómicas deseables: soportan altas densidades de población; responden positivamente a la aplicación de insumos y muestran una gran plasticidad de adaptación en combinaciones híbridas. Tienen madurez diversa por lo que se pueden encontrar líneas precoces a intermedias, entrenudos cortos debajo de la mazorca, tendencia a la prolificidad, hojas cortas y erectas, y espigas compactas (De León *et al.*, 2005).

De León *et al.* (2005) evaluaron cinco grupos germoplásmicos (QPM, Enano, Exótico, Arquetípico, Tropical), donde el maíz Enano fue versátil al colocar sus cuatros combinación entre los cinco grupos evaluados. La combinación germoplásmica con mejor respuesta de rendimiento y con estabilidad en la región de El Bajío fue Enano x

Tropical, la cual se considera como un patrón heterótico para la región, seguida por la combinación Enano x QPM.

3.2. Evaluación agronómica

3.2.1. Desarrollo de material genético

Se realizaron los cruzamientos entre las líneas en el ciclo otoño - invierno 2005-2006, en la estación experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Tepalcingo, Mor. (altitud de 1160 msnm, con una temperatura promedio de 23 °C y una precipitación anual de 942 mm). Las cruzas fueron obtenidas mediante polinización controlada entre los dos grupos de líneas, obteniéndose 35 cruzas simples, posteriormente fueron evaluados en dos localidades contrastantes: El Mezquite Galeana, N.L y Derramadero Saltillo, Coah.

En el ciclo primavera - verano 2006 en Tepalcingo, Mor., fueron sembradas las cruzas simples para generar la F₂ mediante cruzas fraternales planta a planta (TEP1).

3.2.2. Evaluación agronómica y obtención de semilla

En ciclo primavera - verano 2006, fueron sembradas las cruzas simples para evaluación en dos localidades contrastantes: El Mezquite, Galeana, N. L. (altitud de 1890 msnm, temperatura media de 19 °C y una precipitación de 393 mm anuales), bajo condiciones de riego y Derramadero, en Saltillo, Coah. (altitud de 1750 msnm, con una temperatura media de 21.3 °C y una precipitación anual de 369 mm). En ésta última localidad, se aplicó riego para el establecimiento del cultivo y posteriormente el cultivo se desarrolló bajo condiciones de temporal. A partir de la evaluación agronómica se

obtuvo la semilla para la evaluación de los parámetros físicos y de calidad del grano (semilla F_2 , sin control de polinización). Se obtuvo semilla de las parcelas experimentales (dos repeticiones de cada localidad).

3.3. Material experimental para análisis de calidad

El material genético para el estudio de las propiedades físicas y de calidad del grano consta de la semilla obtenida de los incrementos de semilla F_2 (TEP1) y de las parcelas experimentales en El Mezquite, Galeana, N.L. (MEZ) y en Derramadero, Saltillo, Coah. (DER).

3.4. Análisis de laboratorio

Los análisis de laboratorio fueron realizados en los Laboratorios de Genética del Departamento de Fitomejoramiento y Laboratorio de Fisiología y Bioquímica del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Previo a la determinación de los atributos físicos y de calidad de grano, se realizó una estancia de capacitación en el Laboratorio de Propiedades Físicoquímicas de Materiales en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Querétaro.

3.5. Parámetros físicos

3.5.1. Porcentaje de desgrane (DESG)

Se obtuvieron dos mazorcas representativas por parcela experimental en las localidades del Mezquite y Derramadero, se pesaron ambas en una báscula de marca Precisa modelo BJ 610, se desgranaron y se pasaron por una tamiz para quitar la basura

del grano, después se pesó solo el grano, se expresó en porcentaje de desgrane, utilizando la siguiente expresión:

$$\% \text{ Desgrane} = \left(\frac{\text{Peso de grano}}{\text{Peso de mazorca}} \right) * 100$$

3.5.2. Contenido de humedad del grano (HUM)

Se determinó el porcentaje de humedad en la semilla por el método de secado a la estufa. Se pesó la caja y su tapa, se vertió de 10 a 15 g de muestra e inmediatamente se pesó. Después sin tapar la caja fueron sometidas a secado en una estufa a 145 °C por un periodo de dos horas; después del periodo de secado en la estufa se procedió a tapar las cajas sin sacarla de la estufa y se colocaron en un desecador para que se enfriaran sin ganar humedad, después se pesó, en una balanza marca Ohaus con una precisión de 0.01 gramos. Se calculó el porcentaje de humedad del grano con la siguiente expresión.

$$\% \text{ Hum} = \left[\frac{P1 - P3}{P1 - P2} \right] * 100$$

Donde: % Hum = Humedad del grano en porcentaje; P1 = Pesó de la caja y tapa; P2 = Pesó de la caja, tapa y semilla; P3 = Pesó después del secado en la estufa de la muestra.

3.5.3. Índice de flotación (IF)

Se realizó la prueba de índice de flotación, la cual consiste en un conteo de los granos que flotaron y los que no flotaron al introducir 100 granos al azar de cada muestra en una solución de nitrato de sodio ajustada a 1.250 g/ml, medida con un picnómetro (Salinas *et al.*, 1992a). Se empleó un volumen de 250 - 300 ml, contenidos

en un vaso de precipitado de 600 ml, el conteo se realizó un minuto después de introducir los granos a la solución de nitrato de sodio. Durante ese tiempo, la sustancia fue constantemente agitada, separando los granos de maíz con la ayuda de un agitador de vidrio. Para obtener una solución de densidad de 1.25 g/ml se ajustó la solución de nitrato de sodio al 41 % (marca Jalmek), porcentaje que puede variar de acuerdo a la pureza del reactivo. Los resultados se expresaron en por ciento. Para el cálculo del por ciento de granos que flotaron se utilizó la siguiente expresión:

$$IF = \left(\frac{\text{Granos flotantes}}{\text{Total de granos}} \right) * 100$$

3.5.4. Tipo de endospermo (TE)

El tipo de endospermo fue determinado en base al índice de flotación de acuerdo al Cuadro 2.1. Designando valores de 1 al 5 al tipo de endospermo; 1 como muy duros, 2 duros, 3 intermedios, 4 suaves, 5 muy suaves.

3.5.5. Pesó hectolítrico (PSHL)

Se realizó la prueba de pesó hectolítrico, en un recipiente de volumen conocido (100 ml), se pesó del recipiente vacío y se taró, después se llenó de granos de maíz. Se pesó con una balanza de marca Precisa modelo BJ 610. Por diferencia de pesos se calculó el pesó de la muestra para el volumen del recipiente, con el dato anterior fue posible calcular el pesó del maíz en 100 litros de volumen, el resultado fue expresado en kg/hl.

Se utilizó la siguiente expresión:

$$\text{PSHL} = \left(\frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen del recipiente}} \right) * 100$$

Posteriormente, el pesó hectolítrico fue estandarizado al 12 % debido a que la humedad de las muestras es diferente. Por lo cual se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{PSHL } 12 \% = (\text{Pshl}) * \left(\frac{100 - \text{humedad}}{100} \right) * \left(\frac{100}{88} \right)$$

3.5.6. Pesó de mil semillas (PSMIL)

Se determinó el pesó de mil semillas. Se pesaron 100 granos seleccionados al azar de cada muestra, se utilizó una balanza marca Precisa modelo BJ 610, el pesó de los 100 semillas fue multiplicado por diez para estimar el pesó de 1000 semillas. Se estandarizó la humedad del grano al 12 % el pesó de mil semillas.

3.6. Harina instantánea

3.6.1. Preparación de la harina para el óhmico

Se molió 40 g de maíz de cada una de las muestras en un molino de café marca Braun. Una vez molidas la muestra con todas las partes del grano, se tamizó en una malla US 60. Posteriormente dicha harina se utilizó en el cocimiento óhmico.

3.6.2. Capacidad de absorción de agua (CAA)

La masa obtenida después del óhmico se deshidrató en una estufa a 120 °C por 2 horas y se molió en un molino de café. Posteriormente se determinó el pesó de la

harina obtenida del óhmico de cada muestra y se agregó agua con una bureta mezclando manualmente hasta que la masa adquirió la consistencia adecuada para troquelar tortillas, y se registró en litros de agua por kilogramo de harina (L/kg). Para calcular este parámetro se utilizó la siguiente expresión:

$$CAA = \left(\frac{\text{ml de agua absorbida}}{\text{Gramo de harina}} \right)$$

3.6.3. Preparación y elaboración de tortillas

Una vez que la harina se le añadió el agua necesaria y la masa adquirió la consistencia adecuada (sin fisuras al manipularse). Se procedió a la realización de tortillas con una máquina tortilladora manual de rodillos, se calibró la abertura de los rodillos a 1.2 mm, después se troqueló una tortilla de la que se cortaron círculos de tortillas de 2.5 cm de diámetro y 1.2 mm de espesor, se registraron el peso de cada tortilla, con una balanza marca Ohaus con 0.01 g de precisión.

3.6.4. Pérdida de peso relativo durante el cocimiento de la tortilla (PRT)

Las tortillas sin cocer, se sometieron a cocimiento en un comal a 270 grados durante 30 s por una cara, y de 20 s por la otra cara, para formar la capa delgada y 10 segundos por la primera cara para completar el cocimiento y lograr el inflado. Las tortillas cocidas se enfriaron a temperatura ambiente y se obtuvo el peso de las tortillas antes y después del cocimiento con una balanza Ohaus de 0.01 gramos de precisión. Con la siguiente expresión se calculó la pérdida de peso relativo de la tortilla.

$$PRT = \left(\frac{PT1 - PT2}{PT1} \right) * 100$$

Donde: PRT = Pérdida de peso relativo de la tortilla durante el cocimiento; PT1 = Peso de la tortilla antes del cocimiento; PT2 = Peso de la tortilla después del cocimiento.

3.6.5. Rendimiento de masa (RM)

Es un parámetro del resultado de sumar el peso de la harina obtenida después del cocimiento óhmico más el peso del agua, para llevarla a un estado óptimo para la elaboración de tortillas. Se calculó con el valor obtenido en la capacidad de absorción de agua sumándole la unidad y se reportó como kg de masa/kg de harina instantánea.

$$RM = CAA + 1$$

Donde: RM = Rendimiento de masa; CAA = Capacidad de absorción de agua.

3.6.6. Rendimiento de tortilla (RT)

Es el peso de las tortillas obtenidas a partir de cierta cantidad de harina y se reportó como kg de tortilla/kg de harina instantánea.

Se calculó basándose en la siguiente fórmula:

$$RT = RM * \left(1 - \left(\frac{PRT}{100} \right) \right)$$

Donde: RT = Rendimiento de tortilla; RM = Rendimiento de masa; PRT = Pérdida de peso relativo de la tortilla.

3.7. Características térmicas

3.7.1. Cocimiento óhmico

La harina tamizada después de haberse molido en el molino Braun se tomaron 7 g a la cual se añadió 4.9 ml de agua. Se mezcló manualmente, después la mezcla se colocó en una celda de Nylamine y se sometió a cocimiento con un voltaje constante de 70 V hasta alcanzar una temperatura de 120 °C en el equipo óhmico, obteniéndose las gráficas de los perfiles térmicos de cada una de las muestras.

El cocimiento óhmico es un método rápido en el cual una corriente eléctrica se pasa a través de la muestra generando calor (efecto Joule) por vibraciones moleculares de los constituyentes del alimento. Por tanto, el alimento puede ser considerado como una resistencia de un circuito, en la cual la energía eléctrica es transformada directamente en energía calorífica. Durante el cocimiento óhmico, los cambios estructurales pueden ser medidos *in situ* mediante la evolución del perfil térmico de los procesos dependientes de temperatura/tiempo o mediante un cambio en la conductividad o resistividad eléctrica. En éste sistema el control del grado de cocimiento o perfil de calentamiento y el flujo de energía se pueden monitorear y controlar con gran precisión permitiendo un mayor control del grado de cocimiento del alimento (Karaptansions *et al.*, 2000; Figueroa *et al.*, 2001a).

3.7.2. Funcionamiento del equipo y generación de datos

El equipo de cocimiento óhmico fue diseñado para cuantificar la temperatura de inicio y final de gelatinización, en el lenguaje de programación gráfica LabView. El software está constituido por dos partes: una de adquisición de datos y la otra de procesamiento o manejo de datos. Este software permite el control del equipo desde la computadora. La pantalla de adquisición controla los perfiles deseados de voltaje y

recolecta los datos generados (corriente, voltaje y temperatura) cada segundo durante el proceso de cocimiento. La pantalla de manejo de datos permite graficar la información, suavizar y el manejo de derivadas, para determinar temperatura inicial y final de gelatinización, tiempo de cocimiento y entalpía (Figuroa *et al.*, 2001a). El perfil térmico del proceso de cocimiento óhmico se puede visualizar en la Figura 3.1(a) en tanto que la determinación de la temperatura inicial y final de gelatinización se indica en la Figura 3.1 (b).

Durante el cocimiento óhmico se puede monitorear indirectamente el cambio de estructura de la muestra. En el cocimiento del maíz, el principal cambio que se presenta es la gelatinización del almidón. Esta reacción de gelatinización puede ser monitoreada midiendo la evolución de la corriente en el tiempo, o midiendo la temperatura vs tiempo en el equipo de cocimiento óhmico. La gráfica de medición de cambio de corriente vs tiempo, es llamada diagrama de cocimiento óhmico ó conductigrama. El diagrama puede representar gráficamente los cambios de fase en la gelatinización del almidón (Figuroa *et al.*, 2001a).

3.7.3. Análisis de los datos e interpretación

De cada una de las curvas del perfil térmico, se derivó la intensidad de corriente respecto a la temperatura, con el paquete computacional Origin 3.5, obteniendo la temperatura inicial gelatinización (primera intersección con el cero del eje Y) y la temperatura final de gelatinización (segunda intersección con el cero del eje Y) para cocer una cantidad de harina, para cada una de las diferentes muestras de maíz.

3.7.4. Tiempo de cocimiento (TC)

Cada una de las muestras sometidas al cocimiento del óhmico tiene diferente tiempo para su cocimiento, la temperatura máxima que alcanza la masa es de 120 °C y el equipo del óhmico termina de tomar lecturas, estas misma son tomadas cada segundo. Se realizó la conversión de segundos a minutos de esta forma se obtuvo el tiempo de cocimiento.

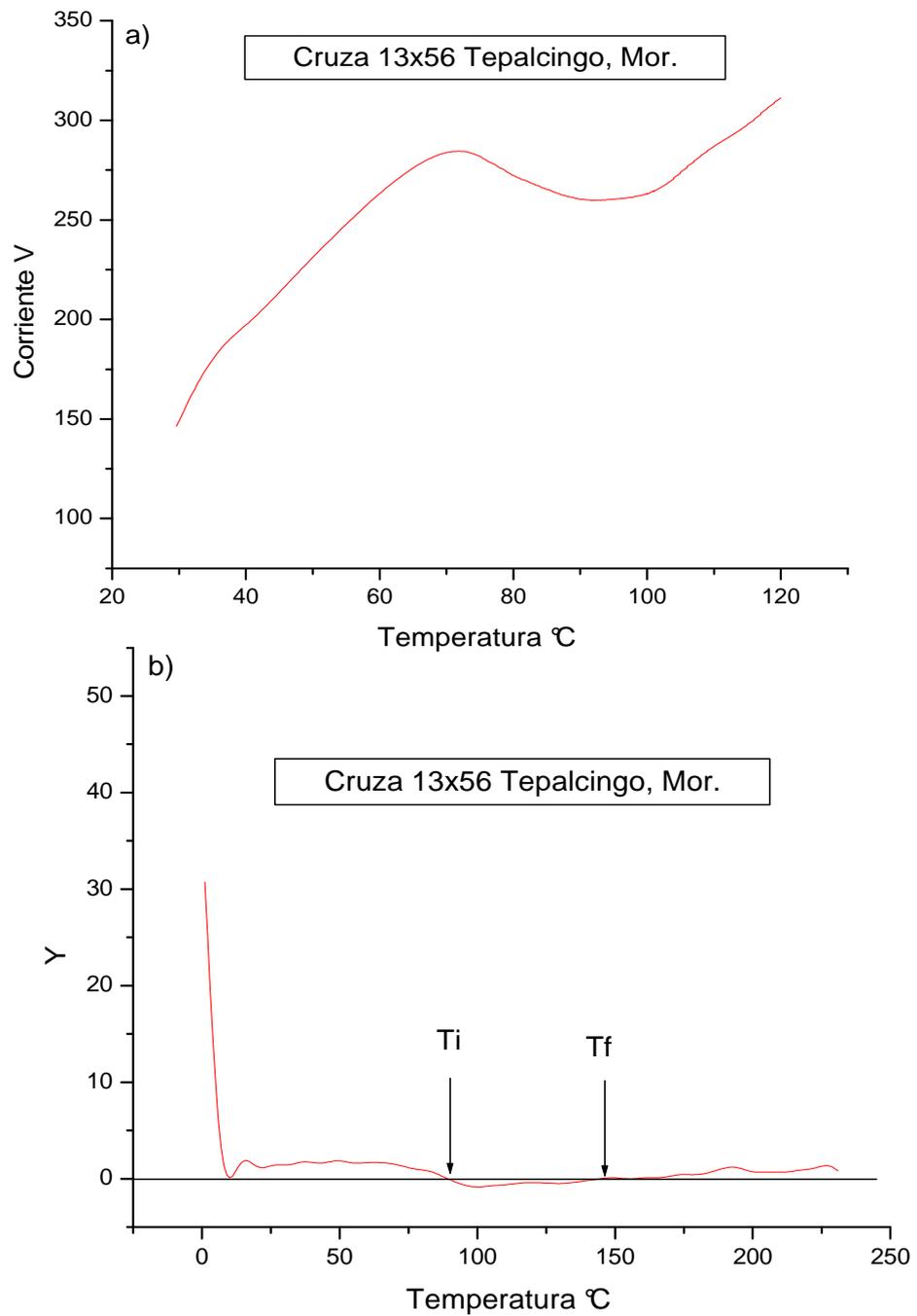


Figura 3.1. Perfil térmico del proceso de cocimiento óhmico (a), y determinación de la primera derivada de la Corriente (V) respecto a la Temperatura (b), para obtener la temperatura inicial (T_i) y final de gelatinización (T_f).

3.8. Diseño experimental y análisis de datos

Se realizó un análisis de varianza a través de localidades, bajo el diseño de bloques completamente al azar para las variables de propiedades físicas y calidad del grano, utilizando el siguiente modelo lineal.

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + B_{j(i)} + G_k + GL_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = Variable de respuesta; μ = Efecto de la media general; L_i = Efecto de la i -ésima localidad; $B_{j(i)}$ = Efecto del j -ésimo bloque dentro de la i -ésima localidad; G_k = Efecto del k -ésimo genotipo (semilla F_2 de cruza simple); GL_{ik} = Efecto del k -ésimo genotipo por la i -ésima localidad; ε_{ijk} = Error experimental.

Se realizó la comparación múltiple de medias a través de una prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), además se realizó una comparación con respecto a la media en los materiales genéticos, donde se usó la $\mu \pm 2 * E.E$ mediante el procedimiento PROC MIXED. Se obtuvo la matriz de correlación de Pearson, y un análisis de componentes principales (ACP) (Manly, 2000) mediante los procedimientos PROC CORR y PROC PRINCOM del programa SAS (SAS Institute, 1999) para la interpretación conjunta de los datos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de varianza

En general se encontraron diferencias significativas para las localidades de estudio en propiedades físicas del grano, sin embargo no se encontró significancia en los atributos de calidad (Cuadro 4.1). Estas diferencias entre las localidades son debido a que son contrastantes y por lo tanto, existen diversos factores dentro de cada ambiente que influyen en la expresión, principalmente en los componentes físicos de grano.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios del análisis de varianza de los atributos físicos y de calidad de grano.

Atributos	gl	Loc	Amb/Loc	gl	Gen	gl	Loc x Gen	gl	Error	C.V. (%)
<u>Físicos</u>										
Desgrane (%)	2	64.537 **	0.116	31	26.322 **	52	7.634 **	58	0.395	1.78
Contenido de humedad (%)	2	74.633	6.484 **	31	0.285	58	0.351	58	0.454	9.13
Índice de flotación (%)	2	6257.526 *	289.669	31	498.944 **	58	158.670	58	119.563	81.33
Tipo de endospermo	2	10.908	0.513	31	0.993 **	57	0.467	48	0.343	42.36
Pesó de mil semillas (g)	2	144934.669 **	884.202	31	5261.069 **	58	1862.370 *	58	1179.256	9.51
Pesó hectolítrico (kg hl ⁻¹)	2	123.367 *	5.096	31	18.989 **	58	6.141	58	5.304	0.79
<u>Atributos de calidad</u>										
Capacidad de absorción de agua (l/gr)	2	0.051	0.2131 **	31	0.003	58	0.006	58	0.012	9.4
Rendimiento de tortillas (kg)	2	0.071	0.4130 **	31	0.004	58	0.005	58	0.009	6.07
Temperatura de inicio (°C)	2	24710.492	4096.723 **	31	919.671 *	58	333.036	58	556.363	17.71
Temperatura final (°C)	2	9410.492	3982.162 **	31	763.472	58	422.498	58	551.445	15.31
Tiempo de cocimiento (min)	2	8.097	1.273 *	31	0.456	58	0.275	58	0.289	14.02

** , * Significancia al 0.01 y 0.05 nivel de probabilidad, gl= grados de libertad, Amb= ambiente, Loc = localidad, Gen= genotipo

C.V (%) coeficiente de variación.

En los ambientes dentro de las localidades no se encontró diferencia estadística en las propiedades físicas del grano, excepto en la variable de contenido de humedad. Sin embargo, se encontró diferencia estadística en los atributos de calidad del grano (Cuadro 4.1). Lo anterior indica que dentro de las localidades hay factores propios del ambiente que influyen en los componentes de calidad, en tanto que en los atributos físicos no se presentó un nivel de incidencia, no obstante la humedad del grano varía entre los ambientes evaluados dentro de la localidad.

Algunos estudios mencionan que las condiciones de manejo del cultivo y factores ambientales (temperatura, radiación, disponibilidad hídrica y nutricional) pueden influir en los cambios en la dureza y el tamaño del grano durante la etapa de llenado que determinan modificaciones en el nivel y tipo de proteínas y en el contenido y composición del almidón que se deposita en el grano (Cirilo *et al.*, 2003).

En la fuente de variación de los materiales genéticos (Gen) en forma general se encontró diferencia altamente significativa en las propiedades físicas del grano, con excepción del contenido de humedad. En general no se encontró diferencia significativa en los atributos de calidad, excepto en la temperatura inicial de gelatinización del almidón se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) ver Cuadro 4.1. Lo anterior indica que los materiales evaluados muestran variación en la expresión, principalmente en las propiedades físicas del grano, en tanto que los atributos de calidad las características son similares entre ellos.

En la fuente de variación de la interacción de localidad x genotipos se encontró diferencia ($P \leq 0.01$) en el porcentaje de desgrane y diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en el peso de mil semillas. De lo anterior se deduce que la variación de los materiales genéticos en su expresión es atribuible a las propiedades físicas del grano, que están relacionadas con la dureza, y el peso. Esto indica que bajo las condiciones del estudio, la semilla procedente de la evaluación de los materiales genéticos de maíz, no presentó variación en los atributos de calidad (temperatura de gelatinización del almidón, la

capacidad de absorción de agua, tiempo de cocimiento y el rendimiento de tortilla) En general, la respuesta de los materiales genéticos tiene un componente similar en los dos ambientes evaluados (El Mezquite y Derramadero) (Cuadro 4.1).

4.2. Comparación de medias

En la comparación de medias para las localidades El Mezquite, Derramadero y Tepalcingo, en las variables evaluadas en este estudio, se presentan en el Cuadro 4.2. No se presentó diferencia estadística en los atributos de calidad esto concuerda con el análisis de varianza (Cuadro 4.1.).

Las variables porcentaje de desgrane, pesó de mil semillas y peso hectolítrico mostraron mejor comportamiento en El Mezquite y Derramadero. Esto indica que las mazorcas en estas localidades tuvieron mejor transformación de los asimilados de la planta durante la etapa de llenado del grano, por consiguiente se obtuvo un incremento en el tamaño y pesó del grano, lo cual se ve reflejado en un mayor pesó de mil semillas y pesó hectolítrico, en comparación con la localidad de Tepalcingo. No obstante el pesó de mil semillas y el pesó hectolítrico se encontró que en las localidades El Mezquite y Derramadero son inversos sus valores entre ambas variables. En cuanto a la variable de contenido de humedad, no se observaron diferencias dado que esta humedad se obtuvo en laboratorio y cuando el material genético estaba seco. Es importante conocer el contenido de humedad para ver si tiene un efecto en las demás características físicas del grano (Cuadro 4.2).

En el Cuadro 4.2 las variables índice de flotación y tipo de endospermo en las localidades El Mezquite y Derramadero son similares en sus medias e inferiores a la localidad Tepalcingo. Se observó que los maíces muy Duros de las localidades El

Mezquite y Derramadero tardaron más tiempo en cocer sus harinas y además presentaron una temperatura inicial y final de gelatinización del almidón superior a la localidad de Tepalcingo que poseen un tipo de endospermo intermedio. Algunos estudios mencionan que la dureza es un indicador de la composición del endospermo y es establecida por la densidad del grano y el índice de flotación, el tiempo de cocimiento depende de la dureza de un grano (Salinas *et al.*, 1992a; Mauricio *et al.*, 2004).

Cuadro 4. 2. Comparación de medias en los atributos físicos y de calidad de grano en las localidades evaluadas.

LOC	DESG (%)	HUM (%)	IF (%)	TE †	PSMIL (g)	PSHL (kg hl ⁻¹)	CAA ††	RT †††	TI (°C)	TF (°C)	TC (min)
MEZ	82.368 a	8.506 a	8.413 b	1.127 b	408.437 a	86.763 ab	1.202 a	1.575 a	143.520 a	161.437 a	4.093 a
DER	81.943 a	6.334 a	9.754 b	1.213 ab	345.004 b	88.599 a	1.147 a	1.580 a	139.440 a	155.090 a	3.864 a
TEP	80.199 b	7.120 a	32.138 a	2.137 a	291.583 c	85.287 b	1.166 a	1.654 a	97.340 a	132.017 a	3.194 a
Media	81.863	7.377	13.444	1.352	360.997	87.241	1.173	1.591	133.150	153.330	3.831
Tukey	0.460	3.164	21.149	0.913	36.951	2.858	0.574	0.799	79.536	78.416	1.402

DESG= Desgrane de maíz, HUM= humedad del grano, IF= índice de flotación, TE= tipo de endospermo (†NMX-FF-034/1-SCFI, 2002), PSMIL= peso de mil semillas, PSHL= peso hectolítrico, CAA= capacidad de absorción de agua (††l de agua/kg de harina), RT= rendimiento de tortilla (†††kg de tortillas/kg de harina instantánea), TI= temperatura inicial de gelatinización, TF= temperatura final de gelatinización, TC= tiempo de cocimiento, LOC= Localidad, MEZ= Mezquite, DER= Derramadero, TEP= Tepalcingo. Los valores con la misma letra de cada columna son estadísticamente iguales.

En el Cuadro 4.3 se aprecia en forma general que en los materiales genéticos no se encontró diferencia al considerar el valor crítico obtenido $\mu \pm 2E.E$ en las variables de humedad, capacidad de absorción de agua, rendimiento de tortilla, temperatura inicial de gelatinización y tiempo de cocimiento. Esto indica que la semilla procedente de las diferentes localidades en promedio se comportó de forma similar en sus atributos de calidad del grano, desde el punto de vista de calidad estas variables están relacionadas con el tipo de almidón. Los atributos térmicos y funcionales del grano de maíz se encuentran en función al tamaño del gránulo de almidón y el contenido de amilosa (Seetharaman *et al.*, 2001). Además las propiedades específicas del almidón en cada genotipo, afectan características como textura, consistencia, humedad y vida de anaquel de los alimentos (Raeker *et al.*, 1998).

Cuadro 4. 3. Comparación de medias entre los materiales genéticos para atributos físicos y de calidad en grano en maíz.

Gen	DESG (%)	HUM (%)	IF (%)	TE †	PSMIL (g)	PSHL (kg hl ⁻¹)	CAA ††	RT †††	TI (°C)	TF (°C)	TC (min)
11x41	81.024	7.633	40.000 **	2.500 **	361.880	81.994 **	1.183	1.600	108.500	134.000	3.221
11x42	82.284	7.963	32.400 **	2.200 **	337.600	82.247 **	1.149	1.582	99.000	134.800	3.628
11x52	80.880	7.178	11.600	1.500	316.330	88.870	1.134	1.502	133.500	153.600	3.445
11x53	83.941 *	7.156	16.500	1.500	416.260 **	85.779	1.186	1.600	107.130	124.500	3.129
11x56	78.437 **	7.320	19.200	1.600	445.520 **	85.519	1.211	1.653	124.300	146.600	3.558
13x41	82.365	7.418	8.200	1.200	377.610	88.217	1.206	1.624	137.500	163.300	3.758
13x52	81.522	7.215	7.400	1.200	315.450	89.509	1.166	1.597	149.200	163.600	3.943
13x53	83.495 *	7.527	9.000	1.000	369.490	87.680	1.126	1.582	134.630	153.880	3.533
13x56	79.786 *	7.473	12.400	1.200	407.840	86.516	1.169	1.542	152.800	172.500	4.348
15x41	82.645	7.414	18.750	1.500	362.030	86.351	1.162	1.578	122.130	138.130	3.553
15x42	82.674	7.227	13.000	1.200	336.140	86.175	1.150	1.591	124.800	144.200	4.130
15x52	81.431	7.601	12.000	1.200	310.020 **	87.360	1.180	1.604	140.200	158.000	3.533
15x53	82.272	7.272	8.000	1.200	387.480	87.823	1.181	1.637	128.100	145.300	3.682
15x56	80.492 *	7.273	24.200	1.600	349.790	86.331	1.155	1.564	133.200	152.100	3.653
16x41	84.282 **	7.830	7.800	1.000	361.500	87.049	1.219	1.628	125.300	148.400	3.880
16x42	87.339 **	7.394	5.500	1.000	345.170	88.869	1.119	1.556	149.880	171.750	4.017
16x52	80.153	6.960	7.400	1.250	330.430	90.456	1.160	1.613	150.300	168.400	3.912
16x53	84.672 **	7.287	8.600	1.250	363.630	88.830	1.182	1.570	135.700	156.500	4.107
17x41	82.410	7.391	12.600	1.400	374.130	87.883	1.153	1.560	124.200	137.300	3.417
17x42	83.742 *	7.559	41.200 **	2.600 **	303.490 **	84.088	1.150	1.590	109.800	138.200	4.068
17x52	80.729 *	7.077	6.400	1.250	314.320	89.915	1.166	1.567	131.700	148.600	3.503
17x53	83.321 *	7.162	12.800	1.200	344.270	87.501	1.174	1.578	127.600	146.300	3.680
17x56	80.912	7.731	14.000	1.500	396.660	86.179	1.189	1.579	150.000	168.000	4.012
18x41	81.653	7.692	6.000	1.000	391.810	87.186	1.210	1.614	139.000	155.500	4.040
18x42	84.253 **	7.475	1.600	1.000	357.140	89.329	1.171	1.609	155.800 **	180.100	4.225
18x52	79.920 *	7.235	6.400	1.000	316.390	89.516	1.113	1.542	147.200	158.400	3.672
18x53	85.940 **	7.498	2.600	1.000	351.150	86.285	1.173	1.601	131.500	142.100	3.660
18x56	78.973 **	7.646	14.200	1.400	418.420 **	86.887	1.227	1.618	145.800	169.500	4.542
19x41	80.411 *	7.240	9.000	1.200	397.550	88.642	1.239	1.664	147.500	162.400	4.283
19x42	82.444	7.105	12.000	1.333	385.720	86.498	1.151	1.563	114.750	140.500	3.906
19x52	77.397 **	6.949	6.400	1.000	327.080	90.614	1.181	1.618	137.500	157.700	3.913
19x56	76.988 **	7.246	25.800 **	1.800	400.700	85.316	1.194	1.601	131.100	161.400	4.355
Media	81.863	7.377	13.440	1.352	361.000	87.241	1.173	1.590	133.150	153.330	3.830
E.E.	1.090	0.577	5.963	0.240	24.424	1.713	0.096	0.111	20.576	20.335	0.423

DESG= Desgrane de maíz, HUM= humedad del grano, IF= índice de flotación, TE= tipo de endospermo (NMX-FF-034/1-SCFI, 2002), PSMIL= peso de mil semillas, PSHL= pesó hectolítrico, CAA= capacidad de absorción de agua (††) de agua/kg de harina, RT= rendimiento de tortilla (†††kg de tortillas/kg de harina instantánea), TI= temperatura inicial de gelatinización, TF= temperatura final de gelatinización, TC= tiempo de cocimiento, σ = error estándar, Gen= genotipo, **= diferencia considerando la $\mu \pm 2E.E.$

Se encontró diferencia con el valor crítico $\mu + 2E.E$ en los materiales genéticos 11x41, 11x42 y 17x42 para el índice de flotación y tipo de endospermo, con excepción del genotipo 19x56 y que fue significativo solo para el índice de flotación. De acuerdo a la norma oficial mexicana (NMX-FF-034/1-SCFI, 2002), los genotipos 11x41 y 17x42 tienen un tipo de endospermo intermedio, y los genotipos 11x42, 11x53, 11x56, 15x41, 15x42, 15x56, 17x56, 18x56 y 19x56 son de tipo duro, los demás genotipos poseen un tipo de endospermo muy duro (Cuadro 4.3). La calidad de uso del maíz está determinada principalmente por la estructura y composición del grano. Las diferencias en estructura y composición dependen del cultivar así como las prácticas de manejo, clima, el suelo y métodos de cosecha (Cirilo y Andrade, 1998).

Para el genotipo 11x53 se encontró diferencia significativa con el valor crítico $\mu + 2E.E$ en las variables de porcentaje de desgrane y peso de mil semillas. Esto indica que este genotipo poseen un buen tamaño y densidad de grano (Freman, 1973) y además el tamaño del grano está en función de la demanda que este genere en la etapa de llenado del grano (Cirilo *et al.*, 2003), lo que se traduce en un buen porcentaje de desgrane. Sin embargo, en los genotipos 11x56 y 18x56 se encontró diferencia con el valor crítico $\mu - 2E.E$ en el porcentaje de desgrane e inversamente se encontró diferencia con el valor crítico $\mu + 2E.E$ en el peso de mil semillas, con excepción del genotipo 17x42 que fue significativo con el valor crítico $\mu + 2E.E$ en porcentaje de desgrane y inversamente en peso de mil semillas. Además se encontró diferencia con el valor crítico $\mu + 2E.E$ en el índice desgrane en los genotipos 16x41, 16x42, 16x53, 18x53 y 18x42, este último genotipo fue significativo para este valor crítico en la temperatura inicial de gelatinización y con diferencia con el valor crítico $\mu - 2E.E$ en los genotipos 13x56, 18x56, 19x52 y 19x56 en el porcentaje de desgrane (Cuadro 4.3).

En la variable peso hectolítrico sólo se encontró diferencia con el valor crítico $\mu - 2E.E$ en los genotipos 11x41 y 11x42 y además se encontró la misma diferencia en las variables índice de flotación y tipo de endospermo (Cuadro 4.3). Lo que indica que el peso hectolítrico, porcentaje de flotación y relación de molienda están asociados a la dureza del endospermo. La dureza es una propiedad intrínseca del grano que se expresa

en su resistencia a la acción mecánica, vinculada a la presencia de endosperma córneo y asociada a su mayor densidad (Robutti *et al.*, 1994).

4.3. Análisis de componentes principales

Se analizaron sólo los dos primeros componentes principales, los cuales explican en conjunto un 51 % de la variación total acumulada en las 11 variables de estudio (Cuadro 4.4). Se presentan los vectores característicos y la proporción de la varianza explicada en los dos primeros componentes. Se consideraron los valores de los coeficientes más altos, en cada componente, estos describen las características de los atributos físicos y de calidad en las localidades de estudio.

La dispersión de las tres localidades en base a los dos primeros componentes se presenta en la Figura 4.1, en donde en el primer componente principal con coeficientes más altos se ubicó en las variables de temperatura inicial y final de gelatinización con características opuestas el índice de flotación y tipo de endospermo. En el segundo componente se representa la asociación positiva de los atributos de calidad como capacidad de absorción de agua, rendimiento de tortilla y tiempo de cocimiento que estos a su vez tienen una asociación negativa con el peso hectolítrico.

Cuadro 4.4. Vectores característicos y proporción de la varianza explicada en los dos primeros componentes principales.

Atributos	CP1	CP2
Físicos		
Desgrane (%)	0.093	-0.080
Humedad (%)	0.048	0.315
Índice de flotación (%)	-0.420 *	0.252
Tipo de endospermo	-0.399 *	0.234
Peso de mil semillas (g)	0.229	0.225
Peso hectolítrico (kg)	0.343	-0.361 *
Calidad		
Capacidad de absorción de agua (l/kg)	-0.021	0.484 *
Rendimiento de tortilla (kg)	-0.132	0.346 *
Temperatura inicial (°C)	0.442 *	0.206
Temperatura final (°C)	0.393 *	0.285
Tiempo de cocimiento (min)	0.342	0.343 *
Proporción de varianza relativa (%)	0.331	0.182

* Coeficiente que determinan las características de cada componente principal.

Al considerar los vectores característicos del primer componente la localidad El Mezquite (M), su distribución se ubica principalmente al extremo derecho de la Figura 4.1 y de la misma forma la localidad Derramadero (D), esto es debido a que sus medias son superiores en las variables de temperatura inicial y final de gelatinización y con características opuestas en las variables de índice de flotación y tipo de endospermo en la localidad de Tepalcingo (T). Esto indica que en las localidades El Mezquite y Derramadero su grano es duro y por lo tanto se refleja en una mayor temperatura inicial y final de gelatinización del almidón.

Con respecto al segundo componente principal, los atributos de calidad como es la capacidad de absorción de agua, tiempo de cocimiento y rendimiento de tortilla en la localidad El Mezquite (M), fue superior a la localidad Derramadero (D). La variable de peso hectolítrico en la localidad El Mezquite en promedio obtuvo una media superior al ambiente Derramadero, además se observa una interacción entre ambas localidades (Figura 4.1). Con respecto a la localidad de Tepalcingo (T) tiene una dispersión amplia para el segundo componente en las variables de calidad.

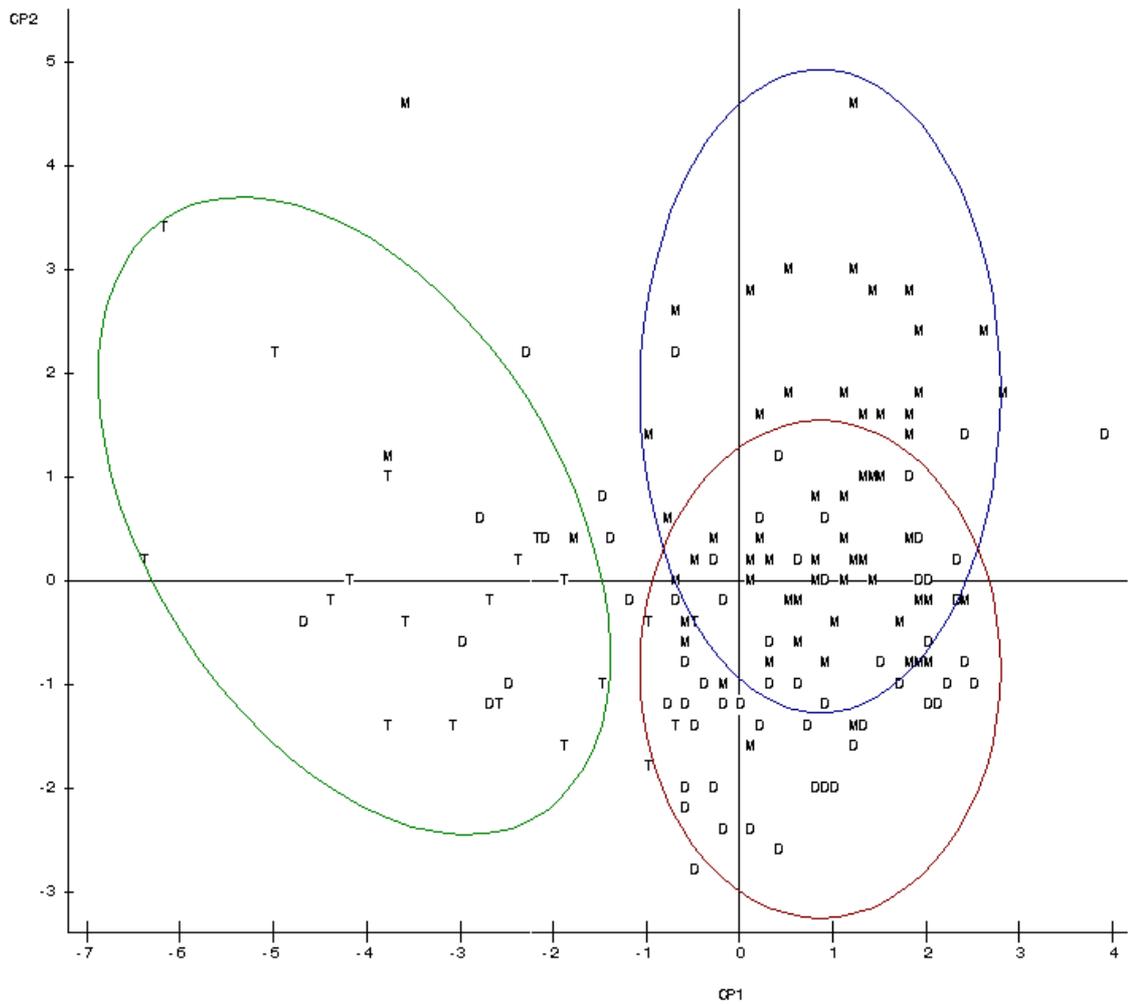


Figura 4.1. Agrupación de las localidades El Mezquite N.L. (M), Derramadero, Coah. (D) y Tepalcingo, Mor. (T) en base a los dos primeros componentes principales. CP1: Temperatura inicial y final de gelatinización (+), Índice de flotación (-), Tipo de endospermo (-); CP2: Capacidad de absorción de agua (+), Rendimiento de tortilla (+), Tiempo de cocimiento (+), Pesó de hectolítrico (-).

4.4. Análisis de correlaciones

Se realizó un análisis de correlación simple de Pearson para determinar las interrelaciones entre los atributos físicos y de calidad de grano en 32 materiales genéticos (F_2).

El contenido de humedad correlacionó positivamente con el peso de mil semillas $r= 0.436^{**}$, y negativamente con peso hectolítrico y rendimiento de tortilla ($r= -0.389^{**}$ y $r= -0.160^*$, respectivamente) (Cuadro 4.5). Las propiedades específicas del almidón en cada genotipo, afectan características como textura, volumen, humedad y la vida de anaquel de los alimentos (Raeker *et al.*, 1998).

El índice de flotación correlacionó negativamente con el porcentaje de desgrane, peso de mil semillas, peso hectolítrico y tiempo de cocimiento ($r= -0.185^{**}$, $r= -0.382^{**}$; $r= -0.706^{**}$ y $r= -0.234^{**}$, respectivamente) (Cuadro 4.5). Es decir, que a mayor flotación de los granos menor va ser la densidad de estos al ser evaluados. Algunos informes sugieren que también el almidón podría tener incidencia en la dureza endospermica del maíz (Watson, 1987). La dureza es un indicador de la composición del endospermo y es establecido por la densidad del grano y el índice de flotación, el tiempo de cocimiento depende de la dureza del grano (Salinas *et al.*, 1992a; Mauricio *et al.*, 2004). Además se encontró que el tiempo de cocimiento correlacionó positivamente con el peso de mil semillas ($r= 0.307^{**}$).

En el Cuadro 4.5 se encontró correlaciones en el índice de flotación con variables de calidad como la temperatura inicial y final de gelatinización del almidón y rendimiento de tortilla ($r= -0.475^{**}$; $r= -0.289^{**}$ y $r= 0.193^*$, respectivamente), la dureza del grano determina en gran medida el tiempo de nixtamalización requerido por un maíz para obtener una masa con características de calidad adecuadas para preparar tortillas, de manera que los maíces duros requieren tiempos de cocimientos más largos que los suaves (Gómez, 1993).

Cuadro 4.5. Coeficientes de correlación simple Pearson de los atributos de calidad de grano en semillas procedentes de cruza simples de maíz (F₂).

	HUM	IF	PSMIL	PSHL	CAA	RT	TI	TF	TC
DESG	0.121	-0.185 **	-0.059	0.026	-0.074	-0.099	0.124	0.103	0.152
HUM		-0.055	0.436 **	-0.389 **	0.139	-0.160 *	0.097	0.093	0.14
IF			-0.382 **	-0.706 **	0.032	0.193 *	-0.475 **	-0.289 **	-0.234 **
PSMIL				-0.017	0.130	-0.128	0.294 **	0.224 **	0.307 **
PSHL					-0.139	-0.121	0.416 **	0.279 **	0.152
CAA						0.761 **	0.058	0.064	0.098
RT							-0.168 *	-0.125	-0.088
TI								0.903 **	0.725 **
TF									0.774 **

DESG= Porcentaje de desgrane, HUM= humedad del grano de maíz, IF=índice de flotación, PMILS=peso de mil semillas, PSHL=peso hectolítrico, RT=rendimiento de tortilla, TI=temperatura inicial de gelatinización, TF=temperatura final del gelatinización TC= Tiempo de cocimiento. **, * Significancia al 0.01 y 0.05 nivel de probabilidad.

La temperatura inicial correlacionó con el peso de mil semillas, peso hectolítrico y tiempo de cocimiento ($r= 0.294^{**}$, $r= 0.416^{**}$ y 0.725^{**} , respectivamente) y negativamente con el rendimiento de tortilla e índice de flotación ($r=-0.475^{**}$ y $r= -0.168^{*}$) (Cuadro 4.5). La temperatura inicial de gelatinización del almidón está influenciada por la dureza del grano, por ello correlacionó positivamente con propiedades físicas del grano. Los cambios se aprecian cuando las temperaturas alcanzan 60 a 70°C, momento en que los gránulos se hinchan aumentando el volumen debido a una absorción de agua a partir de dichas temperaturas empieza la gelatinización del almidón y termina hasta que el almidón de maíz adquiere propiedades de plasticidad para posteriormente hacer tortillas (Cheftel y Cheftel, 1976; Stone y Lorenz, 1984).

En el caso de la temperatura final de gelatinización, su comportamiento fue similar a la temperatura inicial, por lo que su correlación es alta ($r=0.903^{**}$), además se encontró correlación con el tiempo de cocimiento ($r= 0.774^{**}$) y con atributos físicos correlacionó positivamente con peso de mil semillas y peso hectolítrico ($r= 0.224^{**}$ y $r= 0.279^{**}$, respectivamente). Los genotipos con mayor temperatura de gelatinización se pueden utilizar en la producción de harinas de maíz, debido a las altas temperaturas usadas durante su procesamiento. Aquellos con menores temperaturas de gelatinización se usarían para elaborar tortillas mediante el proceso tradicional de nixtamalización, ya que se ahorraría energía (Méndez, 2005). Los gránulos de almidón dependiendo de su origen pueden variar en su tamaño, su composición y el grado de cristalinidad, lo que provoca que unos sean más resistentes que otros a los factores gelatinizantes del medio (Karaptansions *et al.*, 2000).

La capacidad de absorción de agua correlacionó con el rendimiento de tortilla correlacionó de forma positiva ($r= 0.761^{**}$). Esto concuerda con Mauricio *et al.* (2004), donde menciona que los maíces con alta capacidad de absorción de agua muestran un alto rendimiento de masa; sin embargo, para obtener un alto rendimiento de tortilla se requiere que el agua absorbida sea retenida durante la cocción y que haya una pérdida de peso no significativo.

V. CONCLUSIONES

Los atributos físicos del grano que están altamente influenciados por las localidades de evaluación son principalmente el porcentaje de desgrane y peso de mil semillas y en menor magnitud el índice de flotación y peso hectolítrico.

El índice de flotación y tipo de endospermo son los atributos que discriminan a la localidad de Tepalcingo. Los atributos de calidad como capacidad de absorción de agua, rendimiento de masa y tiempo de cocimiento son las variables que discriminan a la localidad El Mezquite con respecto a Derramadero, además existe una interacción ambiental en ambas localidades en el peso hectolítrico.

La variación dentro de ambientes en cada localidad, se manifestó mayormente en los atributos de calidad, provocada por diferencias internas (condiciones hídricas y edáficas) de las localidades.

La semilla (F_2) de los materiales genéticos procedentes de los dos grupos germoplásmicos, sólo mostró diferencia en la temperatura inicial de gelatinización en los atributos de calidad, además mostró diferencias significativas en todas las propiedades físicas, excepto en el contenido de humedad del grano. Además se encontró interacción genotipo-ambiente en el porcentaje de desgrane y peso de mil semillas.

La variable de capacidad de absorción sólo correlacionó con el rendimiento de tortilla. El índice de flotación correlacionó negativamente con la mayoría de las variables. La temperatura inicial y final de gelatinización están estrechamente correlacionadas entre ellas y con las demás variables.

VII. RESUMEN

En este estudio los objetivos fueron: analizar la expresión de los atributos físicos y de calidad de semilla F_2 en respuesta al efecto ambiental de producción y determinar sus interrelaciones. El material genético constó de la semilla F_2 proveniente de la combinación de dos grupos germoplásmicos (Enano y QPM) evaluados en dos localidades contrastantes (El Mezquite, Galeana, N. L. y Derramadero, Saltillo Coah.) e incrementos de semilla F_2 en Tepalcingo Mor. Se determinaron propiedades físicas (porcentaje de desgrane, contenido de humedad, índice de flotación, tipo de endospermo, peso de mil granos y peso hectolítrico) y de calidad (capacidad de absorción de agua, el rendimiento de tortilla, la temperatura inicial y final de gelatinización y tiempo de cocimiento). Los resultados mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre las localidades en las propiedades físicas del grano, en tanto que no se encontró significancia en los atributos de calidad. Dentro de las localidades se encontró diferencia significativa en los atributos de calidad y en las propiedades físicas sólo se encontró diferencia estadística ($P \leq 0.01$) en el contenido de humedad. En los materiales genéticos y la interacción con el ambiente sólo se observó diferencia de consideración en las propiedades físicas. Con base en la dureza del grano, la semilla de las cruces 11x41 y 17x42 fueron clasificados como de tipo intermedio con un bajo peso hectolítrico; las cruces 11x42 y 19x56 son duros y todas las demás cruces son muy duros. La capacidad de absorción de agua correlacionó con el rendimiento de tortilla ($r= 0.761^{**}$); el índice de flotación correlacionó negativamente con la mayoría de las variables estudiadas. La temperatura inicial y final de gelatinización del almidón correlacionaron positivamente con la mayoría de las variables. Se puede concluir que la expresión del fenotipo de la semilla de los materiales genéticos evaluados, están fuertemente influenciados por el efecto ambiental y su expresión puede variar según las condiciones de manejo, cosecha y clima.

VI. LITERATURA CITADA

- Allen, R. D. 1984. Ingredient analysis table. *Feedstuffs*. 56(30):25-30.
- Almeida, H. D. y L. W. Rooney. 1996. Avances en la manufactura y calidad de productos de maíz nixtamalizado. *Industria alimentaria* 18(6)4-13.
- Arámbula V. G., L. Barrón A., J. González H., E. Moreno M., G. Bárcenas L. 2001. 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. Latinoamericanos Nutr.* 51 (2): 187-194.
- Badui D.S. 1999. *Química de alimentos*. Editorial. Alhambra. México. Cuarta Edición. 648 p.
- Bedolla, S. and L. W. Rooney. 1982. Cooking maize for masa production. *Cereal Foods World*. 27(5): 219-221.
- Bressani, R., V. Benavides, E. Acevedo, and M. A. Ortiz. 1990. Changes in selected nutrient contents and in protein quality of common and quality protein maize during tortilla preparation. *Cereal Chem.* 67(6): 515-518.
- Cirilo, A. G. y F. H. Andrade. 1998. Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico. In: *Calidad de Productos Agrícolas*. Aguirrezábal, L. A. N. y Andrade, F. H. (Eds.). Unidad Integrada Balcarce. pp:76-136.

- Cirilo, A. G., A. Masagué y W. Tanaka. 2003. Influencia del manejo del cultivo en la calidad del grano de maíz colorado. *Revista de tecnología agropecuaria*. INTA Pergamino. 7(24):6-9.
- Cortez, A. y C. Wild-Altamirano. 1972. Contribución a la tecnología de la harina de maíz. In: Bressani R., J.E. Braham y M. Béhar (Eds.). *Mejoramiento nutricional del maíz*. Pub. INCAP L-3. Guatemala, INCAP. pp: 90-106.
- Cheftel, J. C. y H. Cheftel. 1976. *Introducción a la Bioquímica y Tecnología de Alimentos*. Vol. 2. Ediciones Acribia. Zaragoza (España). 333 p.
- De León C., H., F. Rincón S., H. Reyes V., D. Sámano G., G. Martínez Z., R. Cavazos C. y J. D. Figueroa C. 2005. Potencial de rendimiento y estabilidad de combinaciones germoplasmicas formadas entre grupos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(2):135-143.
- De Sinibaldi, A. C. B. y R. Bressani. 2001. Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *Arch. Latinoamericanos Nutr.* 51(1): 86-89.
- Espinosa A., N. Gómez, M. Sierra, E. Betanzos, F. Caballero, B. Coutiño, A. Palafox, F. Rodríguez, A. García y O. Cano. 2003. Tecnología y producción de semillas de híbridos y variedades sobresalientes de maíz de calidad proteínica (QPM) en México. *Agronomía Mesoamericana* 14(2): 223-228.
- Evans, L. D., and D. R. Haisman. 1982. The effect of solutes on the gelatinization temperature range of potato starch. *Starch/Stärke*. 34 (7): 224-231.
- Figueroa C., J. D., E. Morales S. y M. Gaytán M. 2001a. Método y equipo alternativo para evaluar la calidad en alimentos. Categoría: Profesional en Tecnología: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N, unidad Querétaro. Consulta en línea:

(http://www.pncta.com.mx/pages/pncta_investigaciones_03i.asp?page=0322)

Fecha de consulta: viernes, 25 de abril de 2008.

Figueroa C., J. D., M. Acero G., N. L. Vasco M., A. Lozano G., L. M. Flores A., y J. González H. 2001b. Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. Arch. Latinoam. Nutrición 51(3):293-302.

Flores F. R, F. Martínez B., Y. Salinas M., Y. Kil-Chang, J. González H., y E. Rios. 2000. Physicochemical and rheological characteristics of commercial nixtamalized mexican maize flours for tortilla. J Sci Food Agric. 80:657-664.

French D. 1984. Organization of starch granules. In: Whistler, R. L., BeMiller. J. N. and Pascall E. F. (Eds.). Starch Chemistry and Technology. Academic Press, New York. pp: 184–242.

Freeman J. E. 1973. Quality factors affecting value of corn for wet milling. Transactions of the American society of Agricultural Engineeres (ASAE). pp: 671-682.

García, R. I., C. Catalina y L. Hernández. 2005. Mundo lácteo y cárnico. In: Ventajas, usos y aplicaciones de los almidones. Editorial. Industrias Alimenticias Fabp. pp. 22 - 23.

Gómez E. J. 1993. Métodos comparativos para determinar dureza en maíz (*Zea mays* L.) y su influencia en el tiempo de nixtamalización. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. México. 82 p

- González R. J., R. Torres, D. De Greef, A. Bonaldo, J. Robutti y F. Borrás. 2005. Efecto de la dureza del endospermo del maíz sobre las propiedades de hidratación y cocción. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 55(4):354-360.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000 Abasto y comercialización de productos básicos. México. Consulta en línea: (www.pncta.com.mx/pages/pncta_investigaciones_07h.asp?page=07e14) Fecha de consulta 10 Junio 2008.
- Ji, Y., K. Seetharaman, K. Wong, L. M. Pollak, S. Duvick, J. Jane, and P. J. White. 2003. Thermal and structural properties of unusual starches from developmental corn lines. *Carbohydrate Polymers* 51: 439-450.
- Karaptansions, T. D., E. P. Sakonidou, and S. N. Raphaelides. 2000. Electrical conductance study of fluid motion and heat transport during starch gelatinization. *J. Food Sci.* 65(1):144-150.
- Manly B. F. J. 2000. *Multivariate statistical methods: A Primer*. Chapman y Hall/ CRC. 2nd ed. New Zeland. 215 p.
- Mauricio S., R. A., J. D. Figueroa C., S. Taba, M. L. Reyes V., F. Rincón S. y A. Mendoza G. 2004. Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(3):213-222.
- Méndez M. G., J. Solorza F., M. Velázquez V., N. Gómez M., O. Paredes L. y L. Bello P. 2005. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia* 39 (3): 267-274.

- Morris, M. L. y M. A. López. 2000. Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina 1996-1997. México D.F. CIMMYT. 45 p.
- Norma Oficial Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano –Cereales- Parte I. Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado – especificaciones y métodos de prueba-. Diario Oficial de la Federación, 22 de Mayo de 2002.
- Oates, C. G. 1997. Towards an understanding of starch granules structure and hydrolysis. Trends Food Sci. Tech. 8: 375-382.
- Raeker M. Ö., C. S. Gaines, P. L. Finney and T. Donelson. 1998. Granule size distribution and chemical composition of starches from 12 soft wheat cultivars. Cereal Chem. 75:172-728.
- Robutti J. L., F. Borrás y J. C. Colazo 1994. Las zeínas de alto contenido de azufre y su relación con la textura endospermica del maíz. Rev. Investigaciones Agropecuarias 25:105-114.
- Salinas M., Y., F. Martínez B., y H. Gómez J. 1992a. Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea mays* L.) Arch. Latinoamer Nutr. 42(1):59-63.
- Salinas M., Y., J. L. Arellano V. y F. Martínez B. 1992b. Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíces híbridos precoces para Valles Altos. Arch Latinoamer Nutr. 42 (1):161-167.

- Salinas M., Y., F. Martínez B., M. Soto H., R. Ortega P. y J. L. Arellano V. 2003. Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados. *Agrociencia* 37: 617-628.
- SAS Institute. 1999. SAS User's Guide. V. 6.0. 4th ed. Vol. 1. Cary, N.C. 943 p.
- Seetharaman K., A. Tziotis, F. Borrás, P. J. White, M. Ferrer, and J. Robutti. 2001. Thermal and functional characterization of starch from Argentinean corn. *Cereal Chem.* 78:379-386.
- Serna S. S.O., M. H. Gómez and 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 Chemist. St. Paul MN. pp: 243-307.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), SAGARPA. 2008. Balanza mundial de disponibilidad – consume. Consulta en línea: (www.siap.gob.mx/). Fecha de consulta 30 de Septiembre del 2008.
- Stone, L. and K. Lorenz. 1984. The Starch of Amaranths Physicochemical Properties and Functional Characteristics. *Starch/Starke*. 36 (7) 232-237.
- Tian, S. J., J. E. Rickard and J. M. Blanshard. 1991. Physicochemical Properties of Sweet Potato Starch. *J. Sci. Food Agric.* 57, 459-491.

- Vázquez C., G. y Y. Salinas M. 1996. El mejoramiento de la calidad de la tortilla de maíz. In: La industria de la masa y la tortilla. UNAM PUAL. Torres, F., E. Moreno. I. Chong y J.P Quintanilla (Eds). pp: 127-138.
- Vázquez C. M. G., L. Guzmán B., J. L. Andrés G., F. Márquez S. y J. Merino C. 2003. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 26 (4):231-238.
- Watson, S. A. 1987. Measurement and maintenance of quality. *In*: Corn Chemistry and Technology. Watson S. A. and P. E. Ramstad (Eds). Am. Assoc. Cereal Chem. St Paul, MN. pp: 125-183.