

*Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”*

*División de Agronomía*



*Caracterización de 43 Colectas de Maíz del Sureste de  
Coahuila con base en Atributos de Calidad del Grano*

*Por:*

*Rogelio Hernández Zul*

*Tesis*

*Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:*

*Ingeniero en Agrobiología*

*Buenavista, Saltillo, Coahuila, México*

*Octubre de 2004*

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

CARACTERIZACIÓN DE 43 COLECTAS DE MAÍZ DEL SURESTE DE COAHUILA  
CON BASE EN ATRIBUTOS DE CALIDAD DEL GRANO

POR

ROGELIO HERNÁNDEZ ZUL

TESIS

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

APROBADA

EL PRESIDENTE DEL JURADO

---

DR. FROYLÁN RINCÓN SÁNCHEZ

---

DRA. NORMA A. RUÍZ TORRES  
SINODAL

---

DR. JUAN DE DIOS FIGUEROA CÁRDENAS  
SINODAL

---

Q:F:B. MARCELA GAYTÁN MARTÍNEZ  
SINODAL

EL COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

---

M.C. ARNOLDO OYERVIDES GARCÍA

## CONTENIDO

CONTENIDO .....	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTOS .....	vii
RESUMEN .....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.2. OBJETIVOS .....	4
1.3. HIPÓTESIS .....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. El maíz en México.....	5
2.1.1. Compuestos raciales.....	5
2.1.2. Importancia del cultivo de maíz en México.....	6
2.1.3. Usos del maíz.....	7
2.2. Calidad del maíz.....	10
2.2.1. Composición físico-química del grano de maíz.....	10
2.2.2. Proteínas.....	12
2.2.3. Lípidos.....	12
2.2.4. Almidón.....	13
2.2.4.1. Gelatinización.....	13
2.2.4.2. Viscosidad relativa del almidón.....	14
2.2.4.3. Retrogradación del almidón.....	14
2.2.4.4. Propiedades térmicas del almidón.....	15
2.3. Métodos para Determinar la Calidad del Grano.....	15
2.3.1. Peso de 1000 granos.....	16
2.3.2. Densidad.....	16
2.3.3. Susceptibilidad al rompimiento.....	16
2.3.4. Dureza del grano.....	17
2.4. Equipo de cocimiento Óhmico.....	17
2.5. Calidad nixtamalera.....	18
2.6. Harinas Nixtamalizadas.....	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Material genético.....	19

3.2. Desarrollo del trabajo .....	19
3.3. Caracterización del grano de maíz.....	19
3.3.1. Determinaciones físicas.....	19
3.3.1.1. Peso hectolítrico (PesoH).....	20
3.3.1.2. Humedad del grano (Hgrano) .....	20
3.3.1.3. Color del grano (CLG, CaG, y CbG).....	20
3.3.1.4. Dimensiones del grano.....	22
3.3.1.5. Peso de mil granos (PMG).....	22
3.3.1.6. Dureza del grano (DUR).....	23
3.3.1.7. Índice de flotación (IF) .....	23
3.4. Determinación del tiempo de cocción para nixtamalización tradicional.....	24
3.5. Composición del grano (pericarpio, endospermo y germen) .....	24
3.6. Calidad de nixtamalización .....	24
3.6.1. Método tradicional .....	24
3.6.2. Volumen y pH de nejayote (Vol_nel y pH_nej) .....	25
3.6.2.1. Humedad de nejayote (Porcentaje de Sólidos).....	25
3.6.3. Dureza del grano nixtamalizado (Dur_nix).....	25
3.6.4. Molienda.....	25
3.6.5. Capacidad de absorción de agua (CAAN) .....	26
3.6.6. Color nixtamal (CLN, CaN y CbN) .....	26
3.6.7. Cohesión y adhesión en masa.....	26
3.6.7.1. Humedad de la masa (H_mas) .....	26
3.6.7.2. pH de masa (PH_mas) .....	26
3.6.8. Elaboración de tortillas.....	27
3.6.8.1. Tensión de tortilla (TENN).....	27
3.6.8.2. Corte de la tortilla .....	27
3.6.8.3. Actividad de agua (aw) .....	27
3.6.8.4. Humedad de la tortilla (H_tor).....	28
3.6.8.5. Color de tortilla (CLT, CaT y CbT).....	28
3.6.8.6. pH de tortilla (PH_tor).....	28
3.7. Cocimiento Óhmico.....	28
3.7.1. Preparación y cocimiento del maíz .....	28
3.7.2. Evaluación de las Muestras por Medio de la Elaboración de Tortillas.....	29
3.7.2.1. Elaboración de harina instantánea .....	29
3.7.2.2. Capacidad de absorción de agua (CAA).....	29
3.7.2.3. Elaboración de tortilla.....	30
3.7.2.4. Pérdida relativa de peso de la tortilla durante el cocimiento (PPOH) .....	30
3.7.2.5. Rendimiento de masa y tortilla (RTOH y RMOH).....	30
3.7.2.6. Corte de tortilla .....	30
3.8. Características térmicas del grano de maíz.....	31
3.8.1. Perfil amilográfico.....	31
3.8.2. Calorimetría diferencial de barrido .....	32
3.8.3. Temperaturas de gelatinización obtenidas a partir del cocimiento óhmico .....	32
3.9. Análisis estadístico.....	33

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	34
4.1. Asociación entre grupos de características .....	34
4.2. Análisis de correlación .....	38
4.3. Análisis de la variación genética .....	41
V. CONCLUSIONES .....	43
VI. LITERATURA CITADA .....	44
APENDICE .....	48

### ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales usos de algunas razas de maíz en México. ....	8
Cuadro 2. Composición promedio del grano de maíz.....	10
Cuadro 3. Composición del grano de maíz de diferentes materiales genéticos.....	11
Cuadro 4. Contenido de las diferentes fracciones de proteínas en el endospermo de maíz común, opaco-2 y harinoso-2. ....	12
Cuadro 5. Poblaciones criollas del sureste de Coahuila y lugar de origen. ....	21
Cuadro 6. Tiempos de cocción del maíz.....	24
Cuadro 7. Coeficiente de correlación canónica y significancia entre los pares de grupos de variables.....	34
Cuadro 8. Coeficiente de correlación entre las variables de cocimiento óhmico y nixtamalización. Correlación de Pearson (arriba de la diagonal; Correlación de orden, abajo de la diagonal). ....	39
Cuadro 9. Medias de las características de los métodos de cocimiento óhmico y de nixtamalización (tradicional).....	41
Cuadro 10. Vectores característicos y proporción de la varianza explicada en los tres primeros componentes principales.....	44
Cuadro A. 1. Características físicas de las 43 colectas de maíz evaluadas.....	49
Cuadro A. 2. Características térmicas de las 43 colectas de maíz evaluadas. ....	50
Cuadro A. 3. Características Ohmicas de las 43 colectas de maíz evaluadas.....	51
Cuadro A. 4. Variables de nixtamalización tradicional de las 43 colectas de maíz evaluadas.....	52

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Colorímetro Portátil Miniscan (a) y escala de colores de las determinaciones (b). ....	22
Figura 2. Dimensiones del grano: longitud (a), espesor (b) y ancho (c).....	22
Figura 3. Analizador de textura Universal TA-XT2.....	23
Figura 4. Equipo de cocimiento óhmico. ....	29

Figura 5. Viscomilograma (a) y (b) Rapid Visco Analyser 3C Newport Cientific PTY LTD, Sydney Australia. ....	31
Figura 6. Termograma: (T0-T) Temperatura inicial (Tp-T) Temperatura pico y (Tf-T) Temperatura final. ....	32
Figura 7. Perfil térmico del proceso de cocimiento (a) y (b) determinación de la derivada de la Resistencia (R) respecto a la Temperatura, para obtener la temperatura de gelatinización pico (TGELOH) del almidón utilizando el cocimiento óhmico. ....	33
Figura 8. Asociación entre los grupos de características físicas y óhmicas de semillas de maíz. ....	35
Figura 9. Asociación entre los grupos de características físicas y de nixtamalización en semillas de maíz. ....	36
Figura 10. Asociación entre los grupos de características térmicas y óhmicas en semillas de maíz. ....	37
Figura 11. Asociación entre los grupos de características óhmicas y de nixtamalización en semillas de maíz. ....	37
Figura 12. Dispersión de los 43 materiales genéticos con base en los dos componentes CP1-CP2. ....	42

## **DEDICATORIA**

A mis padres: Francisca Zul Vásquez y Juan Hernández Lázaro; por el apoyo incondicional, durante mis estudios y quienes son la razón de mi existir.

A mis hermanos: Maria Irene

Grissel

Enrique

A mi ALMA TERRA MATER, por darme la oportunidad de continuar preparándome, para mi vida futura.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haber otorgado la beca tesis a través del proyecto de investigación 41264 A-1.

Al Dr. Froylán Rincón Sánchez, por darme la confianza en la participación en este proyecto, así como la ayuda del análisis estadístico e interpretación de datos, como en la revisión del presente trabajo.

A la Dra. Norma A Ruiz Torres, por la atención en la revisión del presente trabajo.

Al Dr Juan de Dios Figueroa, por darme la oportunidad de realizar el trabajo de laboratorio en tan prestigiada institución (CINVESTAV-IPN unidad Querétaro).

A la Q.F.B. Marcela Gaytan y al ING. Juan Vélez, por su apoyo en la realización del trabajo de laboratorio.

A mis compañeros de generación Juan Carlos y Ricardo Trinidad; como a mis amigos durante mi estancia en esta institución: Alaín, Erick, Enrique, Francisco Javier, Sergio, Serjio Rdz y Raúl por todos esos momentos que vivimos juntos.

## RESUMEN

El cultivo del maíz en México sin duda es uno de los más importantes, donde se tiene un consumo de 200 kg anuales per cápita, siendo su principal uso en forma de tortilla. Por lo tanto, el conocimiento de los atributos de la calidad del grano permite definir su uso final. En el presente trabajo se estudiaron las muestras de semilla de 43 materiales genéticos, los cuales fueron analizados en el laboratorio, usando 47 diferentes características, clasificadas en cuatro grupos de variables: Físicas (14), Térmicas (7), Óhmicas (6) y de Nixtamalización (20). Se realizó un análisis de correlación entre grupos de variables para determinar su asociación. Asimismo, se obtuvieron los coeficientes de correlación simple (Pearson) y correlación de orden (Spearman rank order correlation) entre los caracteres del método tradicional y no convencional para la determinación de la calidad de tortilla. Se encontró asociación significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre los grupos de variables óhmicas con físicas y térmicas, y entre las físicas y nixtamalización ( $P \leq 0.01$ ). En tanto que la asociación entre las variables similares de los grupos óhmicas y de nixtamalización fue de  $r = 0.609$  ( $P \leq 0.10$ ). La contribución relativa de las variables en la asociación entre los grupos depende de la comparación *per se*, por lo tanto, es importante analizar en detalle la asociación entre y dentro de los grupos de variables de interés. Se encontró una asociación dentro de los grupos de variables óhmicas y de nixtamalización, sin embargo, al analizar la correlación entre las mismas variables de los dos métodos, sólo se encontró asociación entre las variables capacidad de absorción de agua y rendimiento de masa con valores de  $r = 0.309^*$  y  $r = 0.309^*$ , respectivamente. Por otro lado, se encontró asociación directa entre las variables de cocimiento óhmico y el rendimiento de tortilla por el método tradicional, excepto entre el rendimiento de tortilla de los dos métodos. La correlación de orden entre los grupos de variables mostró consistencia con el análisis de correlación simple. En el caso del rendimiento de tortilla, se encontró asociación ( $P \leq 0.05$ ) con la capacidad de absorción de agua y el rendimiento de masa, con valores de correlación de  $r = 0.360^*$  y  $r = 0.360^*$ , del cocimiento óhmico, respectivamente. Tomando en cuenta que el método de cocimiento óhmico es una técnica indirecta y rápida, además que utiliza poca semilla, los resultados del presente estudio, el análisis de correlación directa y la correlación de orden, permiten inferir que el método

de cocimiento óhmico muestra un potencial de predicción de la calidad de los materiales genéticos en el rendimiento de masa y tortilla. El rendimiento promedio de masa y de tortilla fue menor en el método de cocimiento óhmico con respecto al método tradicional. Por el contrario, la pérdida de peso de tortilla fue mayor en el cocimiento óhmico. Por otro lado, el error estándar como indicador de la variación en los resultados y por consiguiente en la predicción correspondiente, fue mayor en el cocimiento óhmico en la pérdida de peso de la tortilla y el rendimiento de tortilla. Es posible que la variación mayor en la predicción de la calidad de los materiales, usando el método de cocimiento óhmico se deba al tamaño de muestra utilizado en el procedimiento, además del muestreo de la variación intrínseca de la población o material genético en estudio. Adicionalmente, el cocimiento óhmico en este trabajo utiliza el grano integral y no se le adicionó cal por lo que posiblemente estos efectos incrementen en cierta manera la variación en la pérdida de peso durante el cocimiento de la tortilla. La variación genética de los materiales estudiados fue determinada por características agrupadas en los cuatro grupos. Los materiales genéticos fueron agrupados con base en la altitud del lugar de origen, determinándose tres grupos: a) bajos (< 1200 msnm); b) intermedios (1201–2000 msnm) y c) altos (mayor a 2000 msnm). El proceso no convencional cocimiento óhmico y el proceso tradicional de nixtamalización presentaron un grado de asociación en parámetros de calidad, principalmente en rendimiento de masa y capacidad de absorción de agua.

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es el componente más importante de la dieta nacional, tanto para consumo humano, como en la elaboración de alimentos balanceados para animales domésticos, además de generar una importante ocupación de mano de obra dentro del sector agrícola. En México el consumo anual de maíz por persona es aproximadamente 200 kg, esto significa que consume diariamente el equivalente a 16 tortillas, sin embargo, en el medio rural es mucho más alto (Appendini, 1992).

Entre todos los cereales existentes, el maíz es el más versátil debido a la gran cantidad de productos que se pueden elaborar a partir de su grano. Este cereal es la base de la dieta o alimentación mexicana y de otros pueblos latinoamericanos, tiene diversas aplicaciones culinarias y puede consumirse en muy variadas formas, como tortillas, totopos, tostadas, palomitas o rosetas de maíz, pinole entre otros. Los indígenas domesticaron e iniciaron la selección de maíz, contribuyendo relevantemente en la formación de diferentes grupos raciales, los agricultores los han conservado por siglos y los científicos las han estudiado y clasificado para su conservación, mantenimiento y utilización. Estas definiciones se plantean para agrupar a los maíces criollos de acuerdo con sus posibles usos alimentarios.

El grano de maíz se compone por almidón, proteínas, lípidos y fibra cruda (principalmente), y algunos otros compuestos como azúcares libres, minerales y vitaminas. De todos estos, el almidón ocupa el 80 por ciento (base seca) del grano de maíz (Jugenheimer, 1981), por lo cual se le han atribuido los principales cambios en cuanto a propiedades texturales y organolépticas, como la masa y la tortilla (en la industria), espesante en la elaboración de salsa, sopas y en rellenos de otros productos, como formador de gel en la confección de goma de mascar, estabilizante en emulsiones de agua en aceite.

El grano de maíz se compone por almidón, proteínas, lípidos y fibra cruda (principalmente), y algunos otros compuestos como azúcares libres, minerales y vitaminas. De todos estos, el almidón ocupa el 80 por ciento (base seca) del grano de maíz (Jugenheimer, 1981), por lo cual se le han atribuido los principales cambios en cuanto a propiedades texturales y organolépticas, como la masa y la tortilla (en la industria), espesante en la elaboración de salsa, sopas y en rellenos de otros productos, como formador de gel en la confección de goma de mascar, estabilizante en emulsiones de agua en aceite.

Cambells *et al* (1995) sugieren que las propiedades térmicas del almidón, que es el principal componente de la mayoría de los cereales pueden ser utilizadas para predecir las propiedades funcionales (usos finales) de los almidones de diferentes maíces.

Entender esas relaciones puede coadyuvar a evaluar el potencial en la industria de la molienda en seco, al momento de la compra-venta o bien, en la investigación agrícola como criterios de selección en los procesos del mejoramiento genético.

Se ha observado que los factores ambientales influyen en gran medida en la calidad del almidón. En algunas especies de plantas cultivadas se ha indicado que la temperatura durante el llenado del grano, la fertilidad del suelo, la fecha de siembra, año y localidad puede influenciar el contenido de amilosa en el almidón y también en la temperatura de gelatinización del almidón que es el principal constituyente de los cereales (Juliano *et al.*, 1969).

Se pueden establecer cuatro grupos de atributos de calidad según la utilización de los productos, aunque frecuentemente la calidad depende de varios de estos criterios. A). Organolépticos: con o sin procesamiento; para satisfacer al consumidor, en atributos como: sabor, olor, color y textura. B). Químicos, calidad intrínseca determinada por criterios industriales precisos de contenidos y componentes. C). Mecánico. Como en fibras. D). Biológicos en los que el desarrollo de animales es el criterio final de calidad.

Tradicionalmente para el mejoramiento genético, ha tenido como objetivo más importante el rendimiento de grano y los factores de calidad han quedado divorciados de las prácticas genotécnicas. Sin embargo, se pueden conjuntar ambos esfuerzos por medio del manejo de dos componentes principales del rendimiento: la biomasa o la capacidad del cultivo para producir una cantidad apropiada de tejido vegetativo y; el efecto de partición que es la capacidad de utilizar esta biomasa en la formación de productos deseados. El concepto de idiotipo, que define la estructura de la planta apropiada para maximizar la biomasa y partición ha producido efectos importantes en los objetivos de los programas de mejoramiento. Sin embargo, para que dichos objetivos se concreten respecto a la calidad, las determinaciones deben ser rápidas, económicas y utilizar poco material biológico, dado que los genetistas manejan cientos de muestras por año y frecuentemente disponen de tiempo muy limitado o poca cantidad de material para ser sometida a prueba.

## **1.1. JUSTIFICACIÓN**

El análisis de la calidad del grano proporciona información sobre la textura y tipo de grano, composición bioquímica y sus posibles usos; estos parámetros pueden dar la pauta para dar un mejor enfoque a los fitomejoradores como a compradores de grano y a la industria.

## **1.2. OBJETIVOS**

- 1) Caracterizar 43 colectas de maíz del sureste del Estado de Coahuila con base en atributos físico-químicos, óhmicos, térmicas y nixtamalización.
- 2) Determinar la asociación entre los caracteres de calidad obtenidos con el método tradicional y no convencional.

## **1.3. HIPÓTESIS**

El germoplasma de maíz recolectado en el sureste del Estado de Coahuila, presenta una amplia variación genética. Existe asociación entre atributos de calidad, los cuales pueden determinarse con métodos tradicionales de nixtamalización y el método de cocimiento óhmico.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. El maíz en México

#### 2.1.1. Compuestos raciales

Los maíces de México son de especial interés debido a la influencia que se ha ejercido sobre el desarrollo de este cultivo en diferentes partes del mundo. El conocimiento y clasificación adecuada no solo es del interés de los investigadores en general, si no también para los fitomejoradores, ya que representan un inventario de las características morfológicas y fisiológicas que pueden actuar a favor o en contra en el proceso de transformación del plasma germinal (Hernández, 1999).

Los maíces mexicanos continúan aportando material genético para los programas de fitomejoramiento, para incrementar el rendimiento de grano, la resistencia a factores bióticos y abióticos y la resistencia a condiciones adversas del ambiente, agudizados por el ritmo del crecimiento demográfico.

La diversidad genética del maíz del continente Americano esta representada por alrededor de 346 razas (Goodman y Brown, 1988), de las cuales 50 se encuentran en México y estas son sembradas en una gran variedad de regiones agro-ecológicas que van desde el nivel del mar hasta los 3000 m de altitud. Para el estudio, conservación y utilización de la enorme diversidad del maíz mexicano, fue necesario clasificarlo en diferentes razas basándose en características morfológicas, citológicas, fisiológicas principalmente, dando lugar a la primera clasificación racial en México con 25 razas (Wellhausen *et al*, 1952).

Posteriormente, Hernández X. y Alanis (1970) clasificaron cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México, denominados como: Tablilla de Ocho, Gordo y Azul, cultivados por los grupos mestizos, y Apachito y Bofo, por los grupos Tarahumaras y Huichol, respectivamente. Por otra parte, Ortega (1985) describió cinco nuevas razas que son: Ratón, Tuxpeño Norteño, Onaveño, Cristalino de Chihuahua y Palomero de Chihuahua. Asimismo, Sánchez (1989) describe siete razas que son: Zamorano Amarillo, Motozinteco, Mushito de Michoacán, Coscomatepec, Blando de Sonora, Dulcillo del Noroeste y Elotero de Sinaloa. De acuerdo con Wellhausen *et al.* (1951), en el estado de Coahuila se encontró una raza a la que denominaron Tuxpeño que pertenece al grupo de las prehistóricas mestizas: que probablemente es una hibridación de las razas Indígenas Incipientes y las Exóticas Precolombianas.

### **2.1.2. Importancia del cultivo de maíz en México**

Mendoza (1999), indica que existen vínculos directos entre el desarrollo de los maíces nativos y criollos y los diferentes grupos étnicos en el país, de tal forma que la preferencia por el cultivo de estas variedades, esta asociado directamente con los hábitos de consumo de los núcleos sociales específicos.

Por esta razón, la producción de los maíces nativos y criollos son considerados como de autoconsumo y los pequeños excedentes se comercializan en los mercados locales y eventualmente en el mercado regional.

La importancia económica de estos maíces se manifiesta en la seguridad de los pequeños productores de contar con uno de los principales componentes de su dieta alimenticia y por tanto de su ingesta de nutrientes. La importancia social se manifiesta en la cohesión que determinadas variedades y productos hacen posible en un grupo étnico, por ejemplo: el *maíz bolita*, y las *tlayudas* que se elaboran con este y que ambos se producen solamente en la Región de los Valles Altos de Oaxaca.

### **2.1.3. Usos del maíz**

Indudablemente que la diferenciación del maíz causada por las condiciones climáticas y topográficas de nuestro país fue determinante en la formación de las razas que actualmente se conocen, sin embargo, el aislamiento étnico es otro factor involucrado en la diversidad de los maíces mexicanos, el cual está dado por los grupos autóctonos que seleccionan y conservan cierta variabilidad de maíz dentro de los tipos regionales. Los móviles para la conservación de esta variabilidad en algunos casos es de tipo religioso, como ocurre entre los Huicholes en Nayarit y Jalisco, que han conservado el maíz Bofó, el cual seleccionan en cinco colores para ofrendarlos a sus dioses; otra es la selección por características culinarias, como la raza Apachito que es utilizada en palomitas y ponteduro (rosetas de maíz, aglutinados con miel de caña o piloncillo, *N. del E.*) por los Tarahumaras, la raza Dulce que se usa para pinole, los maíces harinosos usados como elotes o para hacer tesguino, coricos o galletas; los maíces reventadores para hacer palomitas, maíces de colores para buena suerte (Hernández, 1999).

El maíz como base de la alimentación mexicana y de otros pueblos latinoamericanos tiene diversas aplicaciones culinarias y el grano es consumido en muy variadas formas, existiendo por lo regular para muchas de ellas un tipo de maíz especial. Dentro de la amplia variación de usos, la forma más popular de consumo es la tortilla, la cual ha originado diferentes tendencias, según Hernández (1972) la monotonía de una dieta basada en alto consumo de tortilla generó dos tendencias; primero, la selección por el hombre de tipos de maíz para usos especiales; segundo, la selección y utilización de un sin número de variedades de este. Este autor considera que lo mismo sucede en lugares donde el cultivo de maíz, se cultiva en condiciones ecológicas adversas y su importancia alimentaria es secundaria.

Según Hernández (1972), Las diferentes razas de maíz tienen diversos usos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales usos de algunas razas de maíz en México.

<b>RAZA</b>	<b>USOS</b>
Dulce de Jalisco, Dulcillo del Noroeste	Tostado, grano entero, tostado y molido para pinole.
Elotes Occidentales, Elotes Cónicos,	Para elotes y pozole,
Cacahuacintle, Blando de Sonora, Harinoso de Ocho	Tostado y molido para pinole, pozolero, hecho en memelitas y horneado, en gordas de maíz crudo.
Bofo	Tostado, en huacholes, maíz crudo dejado reposar en agua para su consumo.
Zapalote Chico	En totopos.
Reventador, Chapalote, Palomero Toluqueño, Apachito, Arrocillo Amarillo	Tostado hasta reventar para palomitas; tostado y adherido con dulce para ponteduro.
Razas con colores oscuros	Para tamales y tortillas en ocasiones festivas.

Fuente: Hernández (1972).

Ortega (1973) menciona que parte de la variación de maíz en Chiapas se debe a la selección de variantes en color y textura para satisfacer requerimientos de calidad y variación en la alimentación, así como de ideas religiosas relacionadas con la coloración del grano o forma de la mazorca.

Además que el maíz es importante en la dieta de los pueblos latinoamericanos, puede ser procesado para la obtención de otros productos de interés industrial. Jugenheimer (1981) indica que probablemente el maíz aporta mas productos industriales que cualquier otro grano. El elevado contenido de hidratos de carbono, la abundante producción a un precio razonable, su relativa calidad de imperecedero y la facilidad de almacenamiento, hace que el maíz sea particularmente adecuado para usos industriales; además señala que en la molienda en húmedo se obtienen del maíz, almidón, alimentos, jarabe, azúcar, aceite y dextrinas; las industrias destiladoras y fermentadoras elaboran

alcohol etílico y butílico, acetona y whisky. Este mismo autor señala que los maíces cerosos se han desarrollado para usos especiales por su alto contenido de amilopectina y para alimento de ganado. Una aproximación de los productos que pueden originarse a partir del maíz es la siguiente; de 25 kg de grano es posible obtener: 14.53 kg de almidón, 14.98 kg de adulcé-colorante, 9.46 L de etanol para gasolina y 5.18 kg de gluten forrajero al 20% y 1.36 kg de pasta de gluten al 60% y .730 kg de aceite de maíz. (Sánchez-López, 1999).

Smith y Branson (1946) y Smith (1955) señalan que en la industria también son utilizados los maíces con características específicas para usos especiales, así se tiene que los maíces dulces son apreciados para verdura en fresco o enlatados, el maíz palomero para la elaboración de palomitas y confituras. Kramer y Whistler (1949) mencionan que el almidón de los maíces con alto contenido de amilosa es valioso para plásticos, celofanes y películas fotográficas.

Salinas (1994) señala que los maíces duros, tienen poca aceptación por parte de la industria de harinas nixtamalizadas ya que rinden harinas con alta densidad, lo que provoca que durante el envasado, los paquetes queden menos llenos que lo acostumbrado, teniendo problemas con el consumidor.

Gil (2000) menciona que los maíces de preferencias culinarias en dos microregiones de Puebla son los maíces blancos y los azules, para los diferentes usos tradicionales.

Mauricio *et al.* (2000) señala que los maíces que tienen baja capacidad de absorción de agua, se pueden usar para la elaboración de totopos o tostadas ya que tienen poco rendimiento de tortilla por la alta pérdida de peso durante el cocimiento de ésta, y los maíces muy suaves desarrollan alta viscosidad no son aptos para nixtamalización, y se pueden emplear como espesantes y los maíces aptos para elaborar tortillas presentan textura suave y temperatura de gelatinización baja.

## 2.2. Calidad del maíz

### 2.2.1. Composición físico-química del grano de maíz

De acuerdo con Santos (1980), los componentes del grano maduro de maíz son: pericarpio (cáscara o salvado); germen (embrión), endospermo y pedúnculo. El pericarpio esta formado por: epidermis (epicarpio), mesocarpio, células tubulares, células cruzadas y testa. El germen, esta formado por el escutelo (cotiledón) y el eje embrionario. El endospermo, se subdivide en: capa aleurona, endospermo calloso, endospermo harinoso y células llenas de gránulos de almidón en una matriz de proteína; el pedúnculo, es la parte que une el grano con el raquis u olote. Este mismo autor resume la información sobre la composición del grano de maíz, la cual se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Composición promedio del grano de maíz.

FRACCION	GRANO ENTERO	ALMIDÓN %	PROTEÍNA %	LÍPIDOS %	AZUCARES %	CENIZAS %
Grano entero	--	71.5	10.3	4.8	2.0	1.4
Endospermo	82.3	86.4	9.4	0.8	0.6	0.3
Germen	11.4	8.7	18.8	34.5	10.5	10.1
Pericarpio	5.3	7.3	3.7	1.0	0.3	0.8
Pedúnculo	0.8	5.3	9.7	3.8	1.6	1.6

Fuente: Santos (1980).

Según Reyes (1990), el endospermo contiene la mayor cantidad de almidón (86.6% promedio del almidón total del grano) y contiene además, las proteínas: albúminas, globulinas, prolamina (zeína) y glutelinas (gluten del maíz), y en escasez cantidades de grasas (aceite), cenizas y azúcares; el embrión contiene la mayor cantidad de grasa (aceite) del grano (34.4% promedio), y almidón, cenizas y azúcares. Biológicamente el grano de maíz tiene mas valor nutritivo en las proteínas: albúminas, globulinas, glutelinas y escasa en zeína (prolaminas); el pericarpio contiene almidón, grasa, proteínas, cenizas, azúcares y fibra (carbohidratos no amiláceos como celulosa y hemicelulosa).

De acuerdo a Desrosier (1983), la composición del grano de maíz varía con respecto a los tipos de materiales genéticos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición del grano de maíz de diferentes materiales genéticos.

FRACCIÓN	Maíz dulce %	Palomero híbrido %	Maíz dentado puro %	Híbrido amarillo dentado %
Proteínas	10.88	10.69	8.31	8.06
Extracto etéreo	8.18	3.69	3.90	3.94
Fibra cruda	1.99	8.25	1.74	2.09
Humedad	10.10	9.78	11.46	10.12
Cenizas	1.83	1.45	1.18	1.40
E.L.N	67.02	72.14	73.41	74.39

Fuente: Desrosier (1983); E.L.N.: Extracto Libre de Nitrógeno.

Desrosier (1983) indica además que la composición del grano de maíz, es la siguiente: humedad, 16.7%; almidón, 75.5%; proteínas 9.9%; grasas, 4.78%; cenizas (oxido), 1.42; fibra (cruda), 2.66%; azúcares totales, 2.58%; carotenoides totales, 30.0 mg/kg.

El Centro de Investigaciones Agrarias (CDIA), (1980) cita: “Todos los tipos de maíz que se producen en México tienen composición bioquímica similar (almidones o carbohidratos, 69%; humedad, 12%; grasas o lípidos, 4%; cenizas o minerales, 4%; celulosa o parte no digerible, 3% y proteínas 8%). Los datos anteriores son aplicables a la generalidad de los maíces, independientemente de su clase o variedad.

Charley (1987) cita los siguientes componentes principales del grano de maíz: carbohidratos, proteínas, lípidos, y en menor proporción minerales, vitaminas y fibra cruda. Los datos anteriores confirman que la composición química es variable y esta relacionada con: estadio, raza, variedad, tecnología del cultivo y clima, parte de la planta o del grano que se analice, técnicas y métodos de análisis (Reyes, 1990).

Con respecto al contenido de nutrientes, una ración de 100 g de maíz, contiene 356 Kcal y 8.1 g de proteínas en promedio; ubicándose en un punto intermedio respecto al trigo y arroz que aportan 330 y 362 Kcal, y 10.2 y 7.4 g de proteínas, respectivamente. En cuanto al contenido de grasa el maíz es superior a estos cereales con 4.8 g mientras que en carbohidratos es ligeramente inferior con 71.3 g (SIEPA, 1987).

### 2.2.2. Proteínas

Las proteínas son las moléculas orgánicas más abundantes en el interior de las células pues constituyen el 50% o más de su peso seco. Son fundamentales en todos los aspectos de la estructura celular y funcional, puesto que constituyen los instrumentos moleculares mediante los cuales se expresa la información genética. Todas contienen carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, y también azufre. Hay proteínas que contienen algunos elementos adicionales, particularmente fósforo, hierro, zinc y cobre. Comúnmente solo se encuentran 20 alfa aminoácidos distintos como similares de las proteínas (Lehninger, 1972). Las proteínas constituyen aproximadamente el 10% del grano entero de maíz. Santos (1980) presenta la siguiente información sobre las fracciones de las proteínas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Contenido de las diferentes fracciones de proteínas en el endospermo de maíz común, opaco-2 y harinoso-2.

Proteína	Maíz común %	Opaco-2 %	Harinoso-2 %
Albúminas	3.2	13.2	11.3
Globulinas	1.5	3.9	3.4
Protaminas	47.2	22.8	22.2
Glutelinas	35.1	50.0	40.6

Fuente: Santos (1980).

### 2.2.3. Lípidos

Los lípidos se componen de carbono, hidrógeno y oxígeno; algunas variedades también contienen nitrógeno y fósforo. Los ácidos grasos son una parte fundamental de la estructura de la mayor parte de los lípidos (Toporek, 1985). En cereales, el contenido de

lípidos varia de 2 a 5%, en el grano de maíz es mas pobre, esto se debe a que la mayor parte de los lípidos se encuentra en el embrión y la aleurona. Los lípidos aportan al grano la energía necesaria, siendo estos lípidos insaturados y tienden a producir grasa blanda (Duffus y Slaughter, 1980). El grano entero de maíz contiene aproximadamente 5% de aceite. Alrededor del 85% de los lípidos se encuentran en el germen, el cual es la fuente comercial de aceite de maíz concentración de ácidos grasos en aceite refinado de germen de maíz, expresado en porciento: palmítico 11.1, esteárico 2.0, araquídico 0.2, oléico 24.1, linoléico 61.9, linolénico 0.7 (Santos, 1980).

#### **2.2.4. Almidón**

Christianson (1963) citado por Hernández (1986), encontró que tanto en la región córnea como en la harinosa los gránulos de almidón son diferentes. Por una parte en el endospermo harinoso los gránulos son esféricos y sueltos con paredes celulares delgadas e incompletas, en algunos lugares de la periferia de estos; por otra parte en el endospermo córneo las matrices proteicas son densas y envuelven a los gránulos de almidón, los cuales son pequeños en la periferia y a medida que se presentan internamente son más grandes y variables en tamaño y forma. Aproximadamente el 25% del almidón existe como un polímero con uniones alfa-1,4 sin ramificaciones llamado amilosa. El resto (75%) existe como una cadena con uniones alfa-1,4, con ramificaciones en alfa-1,6, llamada amilopectina.

##### **2.2.4.1. Gelatinización**

La gelatinización de los gránulos de almidón es un fenómeno importante que ocurre en la mayoría de los procesos alimentarios, algunos como el horneado de panes y pasteles, el cocimiento por extrusión de productos a partir de cereales, la producción de sopas, etc. Durante la gelatinización, los gránulos de almidón absorben agua a medida que hay un incremento en la temperatura y forman una solución viscosa o un gel dependiendo de la cantidad de agua presente. Este fenómeno se caracteriza por la pérdida del orden de la cristalinidad dentro de los gránulos de almidón manifestado en

cambios irreversibles en algunas propiedades como la pérdida de birrefringencia, solubilización e hinchamiento de los gránulos amorfos de almidón, perdiendo su tamaño original (Karaptansios *et al.*, 2000). Este proceso es irreversible y por otra parte, los cambios en los gránulos de almidón contribuyen a las propiedades de los alimentos como textura, viscosidad, retención de agua o humedad. El punto inicial de gelatinización y el intervalo bajo el cual ocurre, está gobernado por la concentración de almidón, el método empleado, el tipo de gránulo y la heterogeneidad de los gránulos de almidón en cuestión. La temperatura a la cual el almidón empieza a sufrir estos cambios se denomina como temperatura de gelatinización, esta temperatura varía también de acuerdo al origen del almidón. En general, la temperatura de los almidones de los tubérculos y de raíces son menores que el almidón de cereales, como maíz o trigo.

#### **2.2.4.2. Viscosidad relativa del almidón**

La viscosidad se define como la oposición de un fluido a fluir. Este fenómeno sucede cuando el almidón es calentado, provocando un cambio en el comportamiento en la suspensión a medida que los gránulos del almidón se hinchan, propiciando la formación de un gel, esta transición se ve acompañada por un gran incremento en la viscosidad relativa. Es indudable que tanto a los proveedores y usuarios de almidones les interesa conocer la calidad del almidón y el comportamiento del fluido para predecir el uso final de este.

#### **2.2.4.3. Retrogradación del almidón**

Los cambios que ocurren en el almidón gelatinizado de un estado amorfo a un estado cristalino más ordenado se denomina retrogradación y es propiciado por la reasociación de las moléculas de amilosa del almidón, la cual se caracteriza por un incremento gradual de la rigidez del alimento. Los cambios físicos que acompañan a la retrogradación tienen influencia en la textura, digestibilidad y aceptabilidad de los productos cuyo componente mayoritario es el almidón (Biliaderis, 1992). Es importante

hacer notar que la retrogradación de los almidones de diferente material genético o cereal retrograda a diferentes velocidades y a diferentes temperaturas (Thomas y Atwell, 1994).

#### **2.2.4.4. Propiedades térmicas del almidón**

Campbells *et al.* (1995) sugieren que las propiedades térmicas del almidón pueden ser utilizadas para predecir las propiedades funcionales de híbridos de maíces. Los híbridos de maíz que generalmente tienen mayor contenido de almidón que sus progenitores, presentan mayor calidad final. Este hecho podría conducir a obtener híbridos con mayores proporciones de rendimiento en productos de mayor calidad u otros con mayor facilidad de ser procesados a bajo costo (Fox *et al.*, 1992). Por otra parte, Juliano *et al.* (1969), Kongseree y Juliano (1972), Lempiannen y Henriksnas (1979), observaron que los factores ambientales también influyen en la calidad del almidón. Estudios de varias especies de plantas han indicado que la temperatura durante el llenado de grano, la fertilidad del suelo, la fecha de siembra, el año y la localidad pueden influir en la composición química del grano, como por ejemplo, en el contenido de amilosa y en la temperatura de gelatinización.

La tendencia de producción nacional de maíz va aumentando, el crecimiento presentado por la industria de la masa y la tortilla ha ido incrementando el consumo de maíz ya sea para la producción de tortilla en forma tradicional (Nixtamalización-molienda-masa) o por medio de harina nixtamalizada.

### **2.3. Métodos para Determinar la Calidad del Grano**

Se cree que las propiedades intrínsecas del maíz, así como las de otros cereales, tales como contenidos de almidón, grasa y proteína, afectan el rendimiento y calidad de sus productos, y pueden relacionarse directamente con los valores de uso final (Hurburgh, 1989). Otras propiedades que también afectan el rendimiento y calidad de los productos

de maíz son el peso de 1000 granos, su susceptibilidad al rompimiento, su dureza, de grano, y su capacidad de absorción de agua (Paulsen y Hill ,1985; Pomeranz *et al.*, 1986).

### **2.3.1. Peso de 1000 granos**

El peso de mil granos es indicador del tamaño del grano. La prueba es importante ya que el tamaño del grano esta relacionado con los rendimientos de molienda de trigo y maíz. La industria molinera prefiere los granos uniformes y grandes ya que contienen una mayor proporción de endospermo. La prueba es sencilla, práctica y rápida ya que existen contadores automáticos de semillas.

### **2.3.2. Densidad**

La densidad de los granos de cereales es un factor importante que afecta la dureza del grano, susceptibilidad al rompimiento, molienda, velocidad de secado y resistencia al ataque de hongos (Chang, 1988). Existen varios sistemas que dictaminan la calidad del grano por medio del estudio de su densidad como el caso del picnómetro de gas usado por Chung y Converse (1969), Gustafson y May (1972), pero, indudablemente, el mas importante y práctico es la determinación del peso hectolitrico o volumétrico (AACC, 1995; método 55-10) realizado con el medidor Winchester Bushel Meter. El sistema consiste en la determinación del peso en libras o kilogramos de un cierto volumen de grano expresado en bushels o hectolitros de llenado o empacado bajo condiciones estandarizadas. El peso volumétrico es uno de los más importantes parámetros en la clasificación de granos.

### **2.3.3. Susceptibilidad al rompimiento**

La susceptibilidad esta en función de la tensión interna al rompimiento. Estos rompimientos se encuentran en cualquier tipo de endospermo y debilitan el grano. La susceptibilidad al rompimiento es afectada por daños mecánicos, tratamientos térmicos y en menor grado genéticamente, mientras la verdadera dureza solo genéticamente (Pomeranz *et al.*, 1984). Por lo anterior, la susceptibilidad al rompimiento se incrementa

tanto como la dureza cuando la tensión este presente (Séller *et al.*, 1988). La dureza y la susceptibilidad al rompimiento proveen de información útil para la molienda seca.

#### **2.3.4. Dureza del grano**

Existen pruebas subjetivas para estimar la dureza del grano. Las pruebas tradicionales consisten en someter un lote de grano a la acción abrasiva de un impacto (Prueba de susceptibilidad al quebrado AACC, 1995). En este estudio, la susceptibilidad al rompimiento, los coeficientes de correlación de determinación de dureza se incrementaron a partir de una base de susceptibilidad al rompimiento. Recientemente, se reporto el uso del “Culatti Micro/Cutter Mill” (Stenver Hardness Tester (SHT) para la determinación de dureza de trigo (Lai *et al.*, 1983). La relación entre el endospermo corneo y el endospermo harinoso causa variación en la dureza del grano. El maíz con alta proporción de endospermo corneo es típicamente mas duro para mediciones mecánicas de dureza. La dureza es una característica intrínseca que puede ser alterada genéticamente o por medio del medio ambiente.

#### **2.4. Equipo de cocimiento Óhmico**

El equipo de cocimiento óhmico utilizado para los análisis térmicos esta integrado por un generador de funciones, un amplificador de señales, un convertidor de corriente alterna AC a corriente directa DC, un termopar con un rango linear de temperatura en interfase amigable con el ordenador. Las muestras de 8.5 g aproximadamente se colocan dentro de una celda de nylamin con dos electrodos de Ni-Cu, se conecta a la corriente y se aumenta el voltaje hasta 80 volts. El voltaje se mantiene constante hasta que la muestra alcanza 110 °C, se suspende el suministro de corriente y se retira la muestra de la celda (Figuroa, 2001). Las posibles ventajas del cocimiento óhmico comparado con la nixtamalización tradicional es el tamaño de muestra pequeño apropiado para programas de mejoramiento, rapidez y otros parámetros térmicos del comportamiento de los almidones.

## 2.5. Calidad nixtamalera

El cocimiento de cereales, principalmente el maíz, con álcali es ampliamente practicado en México y Centro América. La nixtamalización es el proceso de cocer al cereal en presencia de cal (CaO), antiguamente cenizas de hogueras, para posteriormente molerlo y formar masa. La masa es la materia prima que sirve para la elaboración de muchos productos típicos. Los productos derivados del nixtamal jugaron un papel crítico en mejorar el valor nutritivo del maíz. El maíz fue tan crítico en el desarrollo del pueblo azteca, maya, tolteca y otras que muchas escrituras, obras de alfarería y esculturas estaban fuertemente asociadas con el cultivo y procesamiento del maíz.

En este proceso el maíz es cocinado en exceso de agua con cal para formar nixtamal (del Náhuatl *nixtli*= cenizas *mas tamali* = *masa de maíz cocido*). El nixtamal es lavado a mano con los objetivos de remover el exceso de cal y el pericarpio que se desprendió debido al efecto hidrolizante del álcali sobre la fibra. El nixtamal limpio es posteriormente molturado o triturado a mano o en metate o en molinos de piedras volcánicas accionadas con motores, al producto resultante de esta molienda se le denomina masa y es ingrediente básico para la formulación de una gran gama de productos. El mas popular de estos productos es indudablemente la tortilla, denominada *Tlaxcalli* por los aztecas, la cual se puede definir como un pan no leudado, elaborado a partir de maíz nixtamalizado.

Un uso importante de la masa nixtamalizada es en la elaboración de atoles o bebidas nutritivas. Los atoles son ampliamente consumidos, principalmente por niños, en el sur de México y Centro América. Para su fabricación se toma un poco de masa la cual se diluye en agua o en leche y se calienta para propiciar la gelatinización completa del almidón. Al final del proceso se agrega azúcar, canela, hojas de naranja y otros saborizantes para mejorar su palatabilidad.

## **2.6. Harinas Nixtamalizadas**

En México se manufacturan anualmente aproximadamente 3.0 millones de toneladas de harina nixtamalizada, de las cuales el grupo mas importante (MASECA) procesa aproximadamente 1.9 millones de toneladas de maíz. Esto equivale, sin contar a productos obtenidos a partir de masa fresca, a un consumo per-cápita de harina nixtamalizada de aproximadamente 37 kg por año o el equivalente a 58 kg de tortillas por año.

El maíz se cuece en presencia de cal para lograr la remoción del pericarpio, suavizar la estructura del grano e impartir el sabor característico a los productos nixtamalizados. El grano cocido se moltura en húmedo, y se seca bajo condiciones controladas hasta remover casi toda la humedad y molerlo por segunda vez en molinos de martillo. Las partículas de masa seca son clasificadas por tamaño y mezcladas para la formulación de distintas harinas comerciales.

Las principales ventajas de utilizar harinas nixtamalizadas es que prácticamente se reduce a cero la contaminación ambiental y da mucha flexibilidad a la planta ya que existen harinas comerciales de diversos colores y aplicaciones (tortillas, fritos, tamales, doritos, etc.). Algunas plantas nixtamalizadoras ofrecen hasta diferentes tipos de harinas nixtamalizadas para diferentes aplicaciones.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Material genético**

El material genético utilizado estuvo constituido por 43 poblaciones criollas de maíz, recolectadas en el sureste del estado de Coahuila. En abril de 2003, se realizó una exploración para recolectar muestras de las poblaciones criollas en sitios de los municipios de Saltillo, Ramos Arizpe, Arteaga, Parras de la Fuente y General Cepeda, Coahuila (Cuadro 5).

#### **3.2. Desarrollo del trabajo**

El trabajo de investigación fue desarrollado en los laboratorios de propiedades fisico-químicas y procesamiento de materiales del Centro de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV- IPN), Unidad Querétaro. La mayoría de los métodos para caracterizar, maíz masa y tortilla fueron desarrollados por el CINVESTAV Unidad Querétaro y se encuentran documentados en varias publicaciones (Arámbula *et al.*, 1999; Mauricio *et al.*, 2004).

#### **3.3. Caracterización del grano de maíz**

La caracterización del grano de maíz fue realizada con base en determinaciones físicas y calidad nixtamalera, usando el método tradicional y una determinación indirecta; y características térmicas. Para llevar acabo los análisis, se uso una muestra de 0.5 kg de semilla de cada una de los materiales genéticos.

##### **3.3.1. Determinaciones físicas**

### 3.3.1.1. Peso hectolítrico (PesoH)

Se determinó mediante el empleo de la balanza Ohaus a cada una de las poblaciones. Es el peso de un volumen de 100 litros de un determinado grano, en condiciones "tal cual", expresado en kg/hl.

### 3.3.1.2. Humedad del grano (Hgrano)

Se evaluó para cada una de las poblaciones la humedad de grano, de acuerdo a Figueroa *et al.*, (1995). Se pesó la cápsula vacía, la cápsula con 5 granos de maíz tomados al azar, posteriormente se introdujeron, a una estufa, a temperatura constante de 120 °C durante 24 h, posteriormente se sacaron y se pesaron, y la humedad se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$Hg = \frac{((Ph - PG)(Pa - Pg))}{(Ph - Pg)}$$

Donde: Hg = Humedad de grano; Pg = Peso de la cápsula; Ph = Peso de la cápsula con muestra; Pa = Peso de la cápsula con los granos después de 24 horas.

### 3.3.1.3. Color del grano (CLG, CaG, y CbG)

La determinación del color se efectuó con un Colorímetro Portátil Miniscan de Hunter Lab Reston Virginia EUA (Figura 1.), que mide el color de las superficies, simulando la luz del día iluminando y cuyo principio se basa en registrar la intensidad de la luz absorbida por el color negro y la refleja por el color blanco, así como la descomposición de la luz en los colores: rojo, azul, amarillo y verde.

El método se basa en la determinación por reflexión de la luz, de tres parámetros; (L), que mide el grado de luminosidad y varia de 100 para blanco perfecto a 0 para el negro; a y b, son indicativos de la cromaticidad, los valores positivos de a están relacionados con el color rojo y los negativos con el color verde; mientras que los valores positivos del parámetro b, están relacionados con el color amarillo y los negativos con el azul. Las mediciones se hicieron en las muestras, tres veces en diferentes puntos de ellas, se utilizó como referencia una teja blanca, proporcionada por el proveedor.

**Cuadro 5. Poblaciones criollas del sureste de Coahuila y lugar de origen.**

<b>ID</b>	<b>MUE</b>	<b>SITIO</b>	<b>ALTITUD</b>	<b>MUNICIPIO</b>
1	38	Mesa de Tablas	2568	Arteaga
2	7	Mesa de Tablas	2568	Arteaga
3	27	Los Llanos	2040	Arteaga
4	2	Los Llanos	2040	Arteaga
5	33	San Antonio de las Alazanas	2190	Arteaga
6	43	Escobedo	2045	Arteaga
7	28	Chapultepec	2212	Arteaga
8	39	San Juanito	2068	Arteaga
9	14	San Juanito	2068	Arteaga
10	36	Jalpa	1274	General Cepeda
11	35	Narigua	1364	General Cepeda
12	16	2 de Abril	1571	General Cepeda
13	13	Rincón Colorado	1257	General Cepeda
14	29	Porvenir de Jalpa	1366	General Cepeda
15	6	San José de la Unión	2127	Parras
16	8	Notillas	2038	Parras
17	1	Garambullo	2050	Parras
18	12	Nuevo Sabanilla	2000	Parras
19	23	Nuevo Sabanilla	2000	Parras
20	30	Tanque Nuevo	2000	Parras
21	15	Tanque Nuevo	2000	Parras
22	18	7 de Enero	2000	Parras
23	40	7 de Enero	2000	Parras
24	9	La Constancia	2000	Parras
25	3	La Constancia	2000	Parras
26	21	San José de la Unión	2127	Parras
27	24	San Juan de Saucedá	1116	Ramos Arizpe
28	19	La Tortuga	987	Ramos Arizpe
29	5	Cosme	1043	Ramos Arizpe
30	41	Hipólito	1116	Ramos Arizpe
31	4	Hipólito	1116	Ramos Arizpe
32	10	Guajardo	1605	Ramos Arizpe
33	31	San Francisco del Ejido	1847	Saltillo
34	11	San Francisco del Ejido	1847	Saltillo
35	26	San Sebastián	1762	Saltillo
36	25	San Sebastián	1762	Saltillo
37	32	Zacatera	1825	Saltillo
38	20	San Sebastián	1762	Saltillo
39	42	Santa Elena	1765	Saltillo
40	37	Santa Elena	1765	Saltillo
41	17	Zacatera	1825	Saltillo
42	22	Refugio de Altamira	1754	Saltillo
43	34	Jagüey de Ferniza	2100	Saltillo

**ID:** Número de identificación; **MUE:** Número de muestra.



Figura 1. Colorímetro Portátil Miniscan (a) y escala de colores de las determinaciones (b).

#### 3.3.1.4. Dimensiones del grano

Las dimensiones del grano fueron obtenidas con base en la longitud, ancho y espesor (Figura 2). Se utilizó un Vernier Digital Mitutoyo. Para esta prueba se seleccionaron al azar 10 granos de cada una de las muestras, la prueba se hizo por duplicado, y el resultado se expresa en mm.

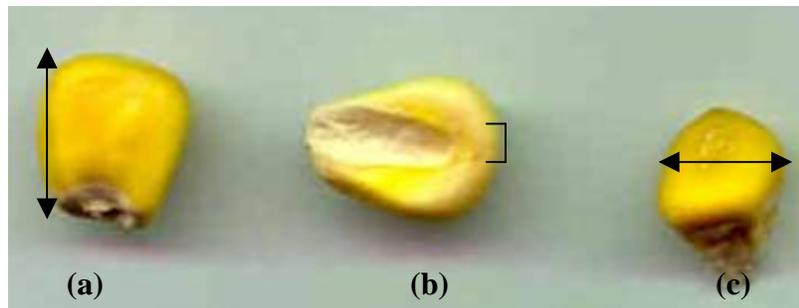


Figura 2. Dimensiones del grano: longitud (a), espesor (b) y ancho (c)

#### 3.3.1.5. Peso de mil granos (PMG)

Se pesaron 100 granos obtenidos al azar de cada una de las muestras en una Balanza Granataria Satorius con 0.010 g de precisión, posteriormente este peso fue multiplicado por 10, para expresarlo en peso (g) de mil granos.

### 3.3.1.6. Dureza del grano (DUR)

Se seleccionaron 10 granos al azar de cada una de las muestras, la parte mas dura del grano fue sometida a una fuerza de penetración, a través de un punzón con un ángulo de 30°, el cual estaba conectado a un Analizador de Textura Universal TA-XT2 (Figura 3). La prueba se realizó a una velocidad de 0.5 mm-s y una distancia de penetración de 2.00 mm por duplicado, expresado el resultado en Kg/F.



**Figura 3. Analizador de textura Universal TA-XT2.**

### 3.3.1.7. Índice de flotación (IF)

En una solución de nitrato de sodio (300 mL) ajustada a 1.250 g/mL ( $\pm 0.001$ ) de densidad previamente preparada, se introdujeron 100 granos limpios (libre de impurezas), separando los granos uno de otro por medio de un agitador de vidrio, después de un minuto se contaron el número de granos que flotaron en la solución.

Para obtener una solución al 1.25 de densidad se ajustó a una concentración de nitrato de sodio del 41%, sin embargo ésta concentración puede variar de acuerdo a la pureza del reactivo, se empleó un volumen de 300 – 350 ml de agua destilada contenidos en un vaso de 600 ml, expresado en porciento.

### 3.4. Determinación del tiempo de cocción para nixtamalización tradicional

La asignación del tiempo de cocción (Cuadro 6), se basó en el modelo propuesto por Gómez (1993) que evaluó el tiempo óptimo de cocción en función de la dureza del grano medida por el índice de flotación (IF), por lo que; el tiempo de cocción en el proceso de nixtamalización esta directamente correlacionado con los siguientes datos:

Cuadro 6. Tiempos de cocción del maíz.

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

Fuente: Gómez (1993).

### 3.5. Composición del grano (pericarpio, endospermo y germen)

Se tomaron al azar 10 granos de cada una de las poblaciones, se pesaron y se remojaron en agua destilada por 24 h. Después de transcurrido el tiempo se fraccionó el grano, con ayuda de un cortador, obteniéndose el porcentaje de cada fracción respecto al peso del grano entero; pericarpio, endospermo y germen.

### 3.6. Calidad de nixtamalización

#### 3.6.1. Método tradicional

Se colocaron en un vaso de precipitado de 600 ml, que previamente fue puesto a peso constante, 400 ml de agua limpia, vertiendo 1 g de cal de 92% de pureza, agitando hasta diluir la cal en el agua, elevando la temperatura hasta 91°C.

Se agregó 200 g de maíz limpio de cada una de las poblaciones, a la solución de agua y cal previamente calentada manteniendo la temperatura a 91°C por el tiempo de cocción, que se haya obtenido después de medir la dureza del grano por el método de índice de flotación. El maíz cocido se dejó reposar por 12 horas, al término del tiempo de reposo, se separaron los granos cocidos, los cuales se enjuagaron con 200 ml de agua destilada sobre un colador, recuperando el agua de enjuague, vertiéndola sobre la misma agua residual del cocimiento (nejayote o licor de cocimiento) contenida en el vaso de precipitado de 600 ml.

### **3.6.2. Volumen y pH de nejayote (Vol\_nel y pH\_nej)**

Se pasó por un colador la cantidad de agua residual, sobrante durante el proceso de nixtamalización del maíz, en un vaso de precipitado, para posteriormente medir la cantidad en una probeta (ml) para determinar el volumen, al cual se le determinó el pH con un potenciómetro.

#### **3.6.2.1. Humedad de nejayote (Porcentaje de Sólidos)**

Se utilizó una balanza de humedad Ohaus para determinar la humedad del nejayote, colocando 10 ml en una charola de aluminio por el tiempo requerido para la prueba. Por diferencia de pesos se obtiene el porcentaje de sólidos del nejayote. Y se calculó igual que la humedad de grano.

### **3.6.3. Dureza del grano nixtamalizado (Dur\_nix)**

Se realizó igual que la dureza de grano.

### **3.6.4. Molienda**

La molienda del nixtamal fue realizada usando un molino de piedras para obtener masa, de donde se determinó: (a) Rendimiento de masa (maíz a masa), (b) Rendimiento de tortilla (kg de tortilla /kg de masa) y (c) Pérdida de peso de la tortilla durante el cocimiento (pp).

### **3.6.5. Capacidad de absorción de agua (CAAN)**

Este parámetro se obtuvo de la siguiente manera: se pusieron a secar 100 g de masa obtenida de la molienda, la cual fue sometida en un desecador de harina y posteriormente se molió en un molino para café; se le agregó agua con una bureta, mezclando manualmente hasta obtener una consistencia adecuada, que se definió tomando una porción de la masa, oprimiéndola con las manos, y observando si presentaba aberturas en la orilla; si no las había era indicativo de que la masa presentó la consistencia adecuada para troquelarla y elaborar tortillas, en caso contrario se continúa agregando agua. CAA se reportó litros de agua por kilogramo de harina (Arámbula *et al.*, 1999).

### **3.6.6. Color nixtamal (CLN, CaN y CbN)**

Se realizó igual que el color de grano.

### **3.6.7. Cohesión y adhesión en masa**

Una porción de masa fue moldeada con un anillo de plástico de 7.5 cm de diámetro y 1.9 cm de altura; posteriormente se colocó en un plataforma de aluminio del Texture Analyser TA-XT2, haciendo penetrar 4 mm de una esfera metálica de 1.27 cm de diámetro, a una velocidad de prueba de 2 mm/s, registrando la fuerza máxima (Kg/F) requerida para lograr la penetración como cohesión y la parte negativa se refirió como adhesión.

#### **3.6.7.1. Humedad de la masa (H\_mas)**

Se utilizó una balanza Ohaus para determinar la humedad de masa, colocando 10 g en una charola de aluminio. Y se determinó por diferencia de peso.

#### **3.6.7.2. pH de masa (PH\_mas)**

Diez gramos de masa fueron colocados en un vaso de precipitados con 90 ml de agua destilada con agitación constante por espacio de 20 min, posteriormente se midió el pH.

### **3.6.8. Elaboración de tortillas**

Con la masa obtenida se troquelaron tortillas con una tortilladora manual, obteniendo tortillas de 1.2 mm de espesor y 12.5 cm de diámetro, se cocieron en un comal a una temperatura de  $270 \pm 10$  °C por 17 s por un lado para formar la capa delgada, se volteó y se coció por 30 s para producir la capa gruesa y se regresó a su lado original para continuar el cocimiento por 19 segundos más para lograr el inflado de la tortilla. La pérdida de peso (agua) de la tortilla durante el cocimiento fue evaluado por diferencia de peso, expresado el resultado en porciento.

#### **3.6.8.1. Tensión de tortilla (TENN)**

Esta prueba simula la fuerza al rasgado manual. Se eligieron al azar tres tortillas de cada muestra, a las que se les cortó la parte central. El fragmento de tortilla se sujetó con dos mordazas de tensión (TA-96) del equipo TA-XT2. Dicha prueba de rompimiento por tensión se efectuó con el texturómetro TA-XT2. Se determinó la fuerza máxima de la tensión con tres repeticiones, expresado en kg/f.

#### **3.6.8.2. Corte de la tortilla**

La prueba simula la fuerza del corte realizado por los dientes durante el masticado. Dicha prueba utilizó el accesorio TA-90 del equipo TA-TX2. Este accesorio se conectó al brazo sensor del texturómetro y al desplazarse hacia abajo pasó a través de la ranura de una placa de aluminio ocasionando que el material expuesto se corte. La prueba se realizó en las mitades intactas de las tortillas utilizadas en la prueba de tensión y sometiéndolas transversalmente al corte. Las mediciones se realizaron en tortillas recién elaboradas, expresadas en kg/f.

#### **3.6.8.3. Actividad de agua (aw)**

Este parámetro se determinó empleando un equipo de actividad de agua Marca Aqua Lab, Modelo CX-2. Se utilizaron 2 g de tortilla molida, registrando la medida directamente del equipo.

#### **3.6.8.4. Humedad de la tortilla (H\_tor)**

Se utilizó una balanza Ohaus para determinar la humedad en las tortillas, colocando 10 g en una charola de aluminio por el tiempo requerido para la prueba y se determinó igual que la humedad de grano.

#### **3.6.8.5. Color de tortilla (CLT, CaT y CbT)**

Se procedió de la misma manera que lo descrito para evaluar el color en el grano de maíz.

#### **3.6.8.6. pH de tortilla (PH\_tor)**

Diez g de tortilla molida se colocaron en un vaso de precipitados con 90 mL de agua destilada con agitación constante por espacio de 20 minutos, al cabo de este tiempo con un potenciómetro se midió el pH.

### **3.7. Cocimiento Óhmico**

#### **3.7.1. Preparación y cocimiento del maíz**

Se molió maíz de cada una de las razas con un molino de café Moulinex, el maíz se cribó en una malla US 60 con el objetivo de tener un tamaño de partícula uniforme. Se pesaron muestras de maíz molido de 7 gramos, éste se acondicionó con 4.9 mL de agua destilada, se mezcló perfectamente. La mezcla maíz-agua se colocó en la celda de nylamine y se sometió a cocimiento en el equipo de cocimiento óhmico con un voltaje constante de 70 V hasta alcanzar una temperatura de 110°C. Con este método se obtuvo la temperatura de gelatinización y la energía total de cocción del material.



Figura 4. Equipo de cocimiento óhmico.

### **3.7.2. Evaluación de las Muestras por Medio de la Elaboración de Tortillas**

#### **3.7.2.1. Elaboración de harina instantánea**

La masa del cocimiento óhmico se deshidrató en el Horno Felisa a una temperatura de 60 °C por 12 horas, posteriormente se molió en un molino de café Moulinex.

#### **3.7.2.2. Capacidad de absorción de agua (CAA)**

Este parámetro se obtuvo de la siguiente manera: se pesó la harina instantánea obtenida del cocimiento óhmico, se agregó agua con una bureta, mezclando manualmente hasta obtener una consistencia adecuada, que se definió tomando una porción de la masa, oprimiéndola con las manos, y observando si presenta aberturas; si no las había era indicativo de que la masa tenía consistencia adecuada para trocarla y elaborar tortillas, en caso contrario se seguía agregando agua hasta que la masa no mostrara tales aberturas. CAA se reportó en litros de agua por kilogramo de harina (L/kg).

### **3.7.2.3. Elaboración de tortilla**

Con la masa obtenida en el paso anterior, se troqueló una tortilla, de esta se cortaron pedazos de 3.6 cm de diámetro y 1.2 mm de espesor, se cocieron en un comal a una temperatura de 280-10 °C, durante 30 s por una cara, después de 25 s por la otra cara, para formar la capa delgada y 15 segundos por la primera cara para completar el cocimiento.

### **3.7.2.4. Pérdida relativa de peso de la tortilla durante el cocimiento (PPOH)**

Este parámetro se evaluó cuando la tortilla alcanzó la temperatura ambiente, con la siguiente formula:

$$\%PP = \frac{((PTC - PTCo))}{(PTC)} * 100$$

### **3.7.2.5. Rendimiento de masa y tortilla (RTOH y RMOH)**

El rendimiento de masa se calculó con el valor obtenido de CAA, sumándose una unidad, este se reportó como kg de masa/kg de harina.

El rendimiento de tortilla se calculó en función de CAA y la pérdida de peso de esta durante el cocimiento mediante la siguiente formula:

$$RT = RM(1-PP)$$

Donde: RT = Rendimiento de tortilla; RM = Rendimiento de masa; PP = Fracción de perdida de peso.

### **3.7.2.6. Corte de tortilla**

Se realizó al igual que en el método tradicional de nixtamalización.

### 3.8. Características térmicas del grano de maíz

#### 3.8.1. Perfil amilográfico

Se prepararon muestras de 4 g de maíz previamente molido y cribado por una malla US 60 (250 micras), se determinó viscosidad utilizando el Rapid Visco Analyser 3C Newport Cientific PTY LTD, Sydney Australia (Figura 5). A los 4 g de maíz molidos se les suspendió en 24 ml de agua destilada. Se utilizó un programa de tiempos y temperatura de: Un minuto a 50°C, después llevadas a 92°C con incrementos de temperatura de 5.6°C a la misma velocidad y permaneciendo a esa temperatura por un minuto, sumando un tiempo total de prueba de 22 minutos. Durante el desarrollo de la prueba la computadora registró automáticamente, la viscosidad en Unidades Relativas de Viscosidad (RVU) y la temperatura (°C) de la muestra contra el tiempo (min) transcurrido en la prueba. Resultando una curva de viscosidad (gelatinización-retrogradación) llamada viscomilograma. De estos perfiles se determinó: a) viscosidad inicial (Vis\_ini), b) pico de viscosidad máxima (Pic\_vis) y c) viscosidad de retrogradación (Vis\_retro).

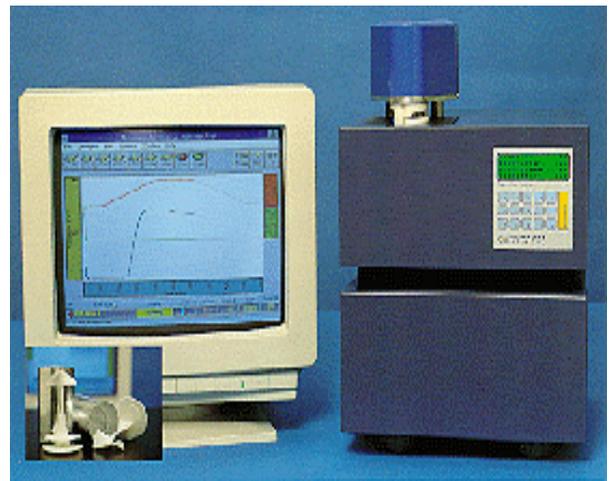
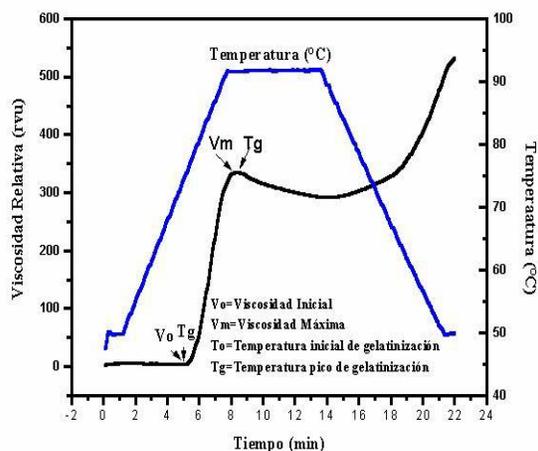


Figura 5. Viscomilograma (a) y (b) Rapid Visco Analyser 3C Newport Cientific PTY LTD, Sydney Australia.

### 3.8.2. Calorimetría diferencial de barrido

Se utilizó un DSC Mettler Toledo, 7  $\mu\text{g}$  de maíz molido y pesado a través de una malla US60, para que tuviera un tamaño de partícula mas uniforme y se colocó en una charola de aluminio, se agregaron 4.9 microlitros de agua destilada. La charola se selló con una prensa Mettler Toledo, posteriormente se sometió a calentamiento en un intervalo de temperaturas de 40 a 110  $^{\circ}\text{C}$  con una razón de calentamiento de 3 $^{\circ}$ /min. De los termogramas (Figura 6) se determinó: a) temperatura inicial (T0-T), b) temperatura pico (Tp-T) y c) temperatura final de gelatinización (Tf-T) además de la entalpía (Dif-T).

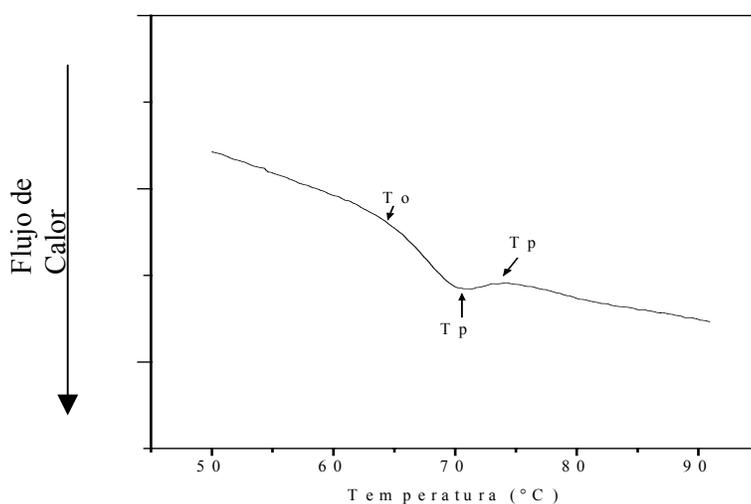


Figura 6. Termograma: (T0-T) Temperatura inicial (Tp-T) Temperatura pico y (Tf-T) Temperatura final.

### 3.8.3. Temperaturas de gelatinización obtenidas a partir del cocimiento óhmico

De cada una de las curvas del perfil térmico (Figura 7), se derivó la intensidad de corriente respecto a la temperatura, con el paquete computacional Origin 3.5, obteniendo la temperatura pico de gelatinización y energía necesaria para cocer una cantidad de harina, para cada una de las muestras de las diferentes poblaciones de maíz.

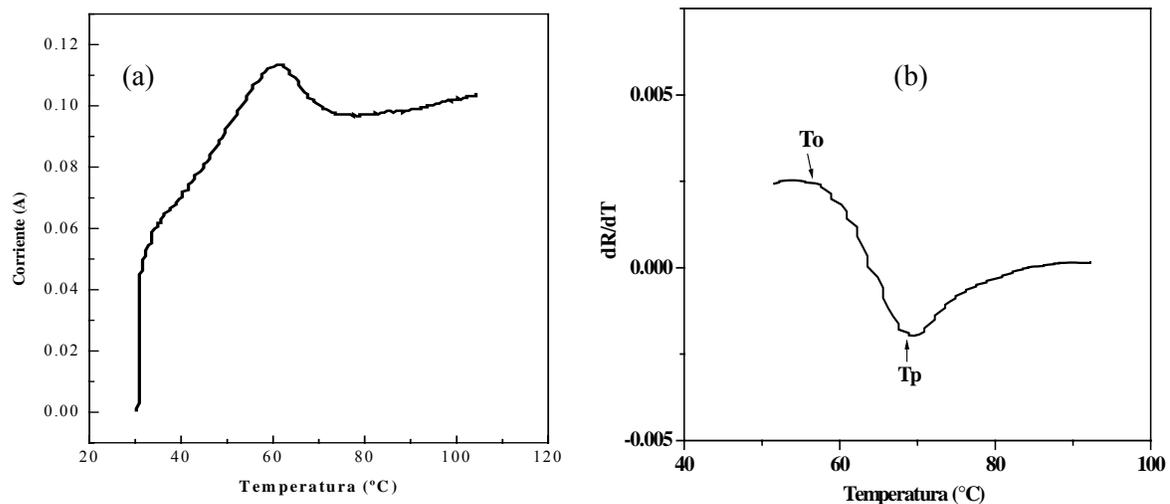


Figura 7. Perfil térmico del proceso de cocimiento (a) y (b) determinación de la derivada de la Resistencia (R) respecto a la Temperatura, para obtener la temperatura de gelatinización pico (TGELOH) del almidón utilizando el cocimiento óhmico.

### 3.9. Análisis estadístico

Se efectuaron análisis de correlación simple (Pearson correlation), y de correlación de orden (Spearman-rank correlation), usando el procedimiento PROC CORR de SAS (SAS, 1999) en las diferentes características. También se realizó un análisis de correlación canónica entre grupos de variables físicas, térmicas, óhmicas y de nixtamalización, usando el procedimiento PROC CANCORR de SAS (SAS, 1999). Se realizó un análisis de componentes principales utilizando el procedimiento PROC PRINCOMP de SAS (SAS, 1999), para analizar la variación genética relativa entre las 43 colectas en estudio.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras de semilla de 43 materiales genéticos fueron analizadas en el laboratorio con base en 47 diferentes características, las cuales fueron clasificadas en cuatro grupos de variables: Físicas (14), Térmicas (7), Óhmicas (6) y de Nixtamalización (20). La lista de los materiales y las características de estos se presentan en los Cuadros A1, A2, A3 y A4 del Apéndice.

### 4.1. Asociación entre grupos de características

Con propósitos de analizar la asociación entre grupos de variables, se realizó un análisis de correlación canónica, lo cual permitió determinar de manera general, la asociación con base en una prueba estadística de F. (Cuadro 7).

Cuadro 7. Coeficiente de correlación canónica y significancia entre los pares de grupos de variables.

	Térmicas	Ohmicas	Nixtamal
Físicas	0.821 ns	0.789 *	0.987 **
Térmicas		0.727 *	0.849 ns
Ohmicas			0.609 ns

\*, \*\*= Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

El resumen de resultados presentados en el Cuadro 7, indica que no se encontró asociación significativa entre las variables físicas y térmicas, así como entre las variables de nixtamalización con las térmicas y óhmicas. Se encontró un coeficiente de asociación de  $r = 0.789$  ( $p \leq 0.05$ ) entre las variables físicas y óhmicas (Figura 8). La contribución de las variables físicas estuvo determinada principalmente por los colores de grano (CLG, CaG), índice de flotación, pericarpio (IF, PERIC) y ancho del grano, en tanto que en las óhmicas sólo la variable pérdida de peso (PPOH) no mostró contribución relativa de importancia.

La asociación entre las variables físicas y de nixtamalización fue de  $r = 0.987$  ( $p \leq 0.01$ ), según se muestra en la Figura 9. Los valores mayores en cada caso determinan la contribución relativa en cada grupo al asociarlos con el grupo opuesto. En el caso de las variables físicas, además de los colores de grano (CLG, CaG y CbG), las variables más importantes fueron peso de mil granos y dureza del grano (PMG, DUR) y ancho del grano. En el caso de las variables de nixtamal, los colores de nixtamal (CLN, CaN y CbN) y de tortilla (CLT, CaT y CBT) contribuyeron a determinar la asociación con las variables físicas (Figura 9).

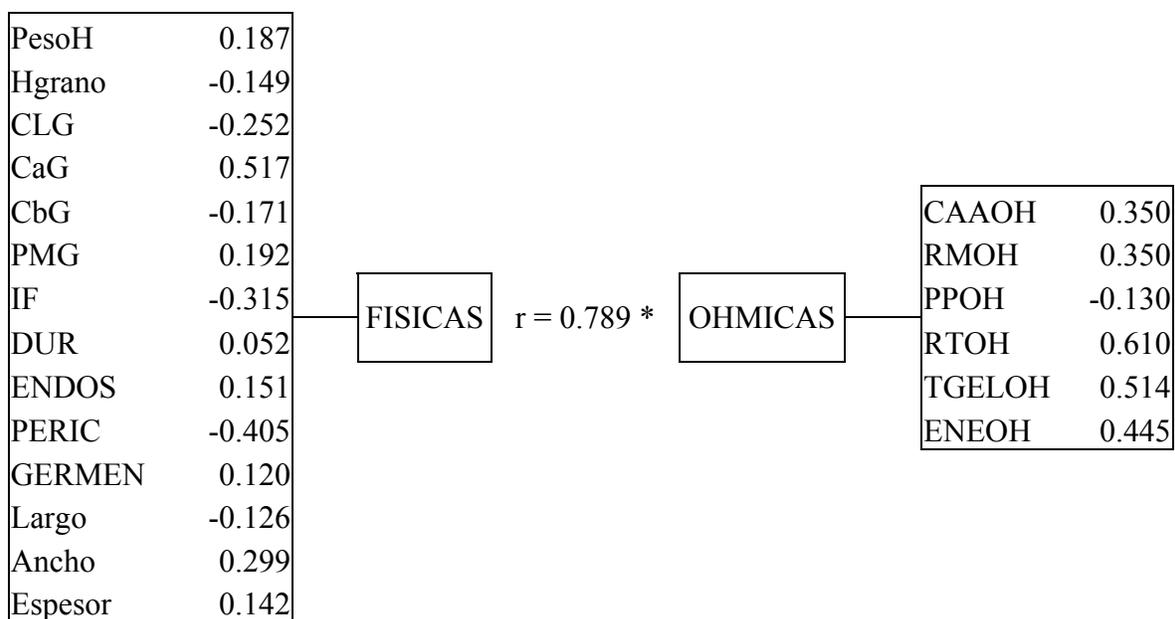


Figura 8. Asociación entre los grupos de características físicas y óhmicas de semillas de maíz.

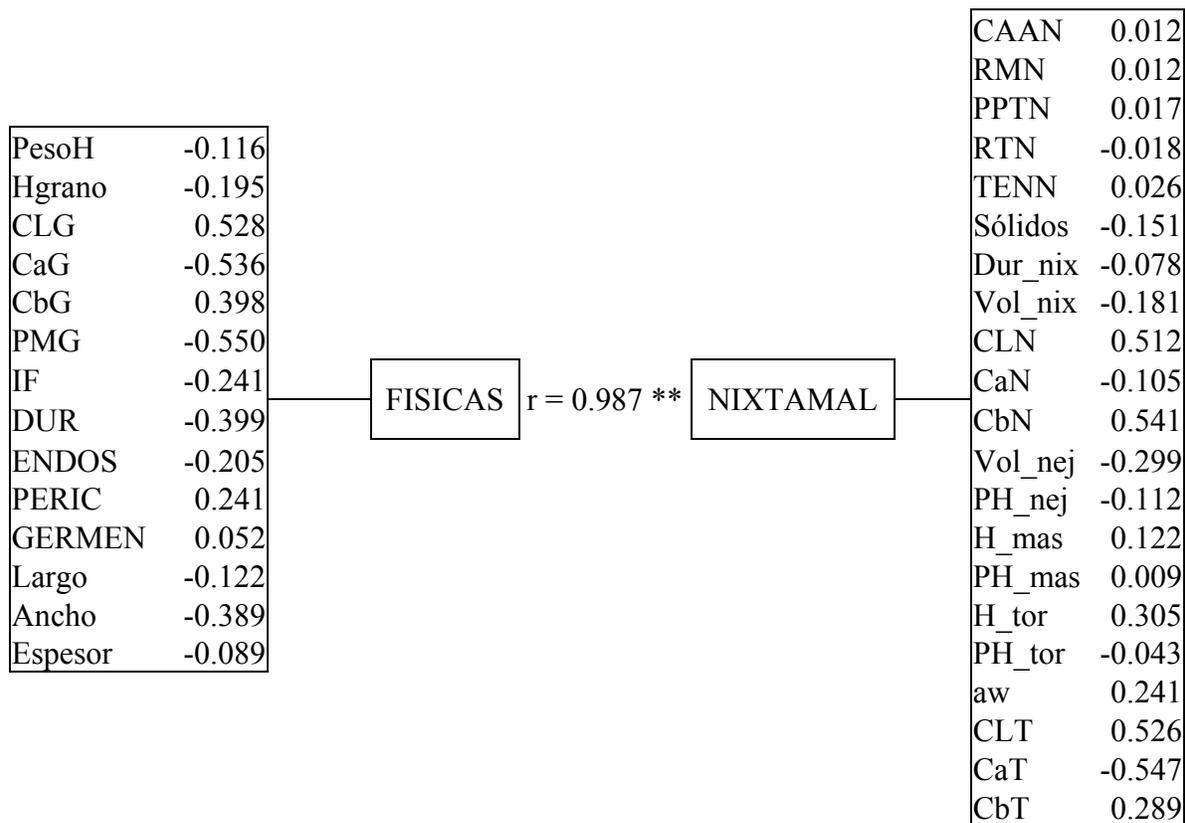


Figura 9. Asociación entre los grupos de características físicas y de nixtamalización en semillas de maíz.

Al analizar la relación entre las variables térmicas y óhmicas (Figura 10), se encontró una correlación de  $r = 0.727$  ( $p \leq 0.05$ ). En general, la mayoría de las variables tienen una contribución relativa, en cada grupo, donde en el grupo de las óhmicas, con excepción de la temperatura de gelatinización (TGELOH), todas las variables están asociadas negativamente. En tanto que en las térmicas, todas las variables importantes están asociadas positivamente.

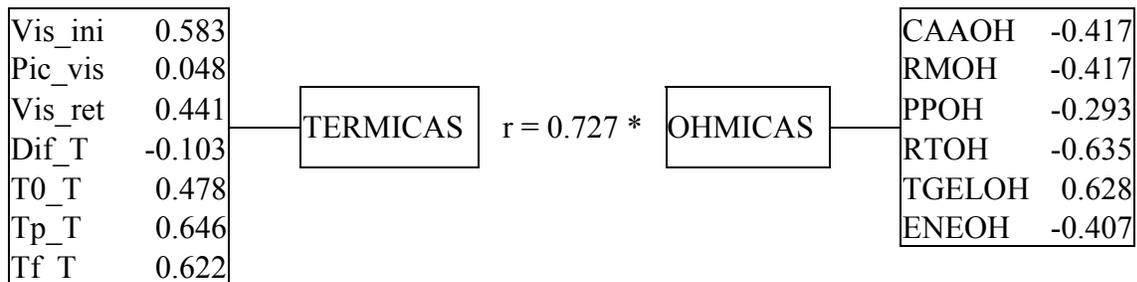


Figura 10. Asociación entre los grupos de características térmicas y óhmicas en semillas de maíz.

La asociación entre las variables óhmicas y de nixtamalización (Figura 11) fue de  $r=0.609$  ( $p \leq 0.10$ ). En las variables de nixtamalización, solo fueron incluidas las variables similares a las óhmicas para determinar un comparativo entre los dos grupos. Las correlaciones de las variables óhmicas más importantes fueron positivas, en tanto que las variables de nixtamalización, con excepción de pérdida de peso de la tortilla (PPTN) todas fueron positivas. Las asociaciones presentadas en las Figuras 8 a 11, muestran que esta dependerá del grupo de variables que se este analizando, por lo tanto no hay una contribución constante de cada una de las variables en las asociaciones grupales.

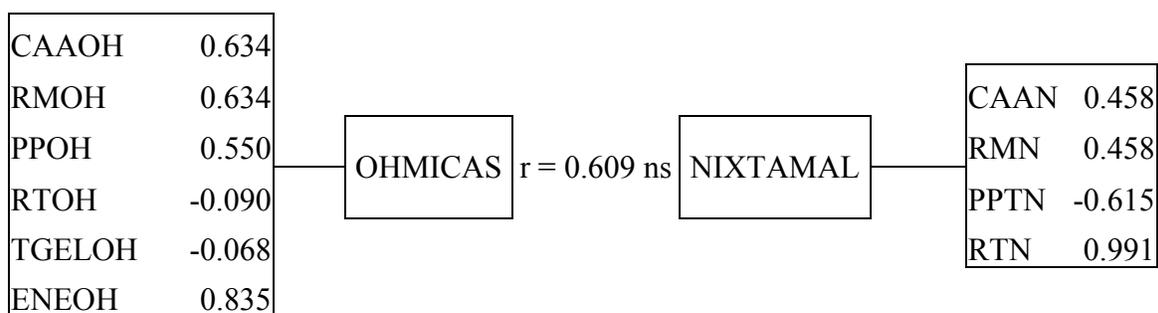


Figura 11. Asociación entre los grupos de características óhmicas y de nixtamalización en semillas de maíz.

Donde: PesoH= peso hectolitrito; Hgrano= humedad de grano; CLG= luminosidad; CaG y CbG= cromaticidad; PMG= peso de mil granos; IF= índice de flotación; DUR= dureza de grano; ENDOS= endospermo; PERIC= pericarpio; GERMEN; Largo, Ancho y Espesor de grano; Vis\_ini= viscosidad inicial; Pic\_vis= pico de viscosidad máximo; Vis\_ret= viscosidad de retrogradación; CAAOH= capacidad de absorción de agua del óhmico; RMOH= rendimiento de masa del óhmico= PPOH; pérdida de peso de la tortilla del óhmico; RTOH= rendimiento de tortilla del óhmico; Dif\_T= entalpía; T0\_T= temperatura inicial de gelatinización; Tp\_T= temperatura pico; Tf\_T= temperatura final de gelatinización; TGELOH= temperatura de gelatinización del óhmico; ENEOH= energía necesaria para cocer la harina; CAAN= capacidad de absorción de agua de harina; RMN= rendimiento de masa; PPTN: pérdida de peso de la tortilla y RTN: rendimiento de tortilla de nixtamal; TENN= Tensión de la tortilla de nixtamal; Sólidos= % de sólidos en el nejayote; Dur\_nix= dureza de nixtamal; Vol\_nix= humedad de nixtamal; Color de nixtamal= CLN, CaN y CbN; Vol\_nej= volumen de nejayote; PH\_nej= pH de nejayote; H\_mas= humedad de masa; PH\_mas= pH de masa; H\_tor= humedad de tortilla; PH\_tor= pH de tortilla; aw= actividad de agua en la tortilla; Color de la tortilla= CLT, CaT y CbT.

#### **4.2. Análisis de correlación**

Las variables obtenidas a través del equipo de cocimiento óhmico (CAAOH, RMOH, PPOH, RTOH, TGELOH y ENEOH) y aquellas similares obtenidas mediante el proceso normal de nixtamalización (CAAN, RMN, PPN y RTN) fueron sometidas a un análisis de correlación simple (Pearson) y un análisis de correlación de orden (Spearman – rank order correlation), usando el procedimiento PROC CORR de SAS (SAS, 1999). Los resultados se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Coeficiente de correlación entre las variables de cocimiento óhmico y nixtamalización. Correlación de Pearson (arriba de la diagonal; Correlación de orden, abajo de la diagonal).

	Variables Ohmicas					Variables de Nixtamalización				
	TGELOH	ENE OH	CAAOH	RMOH	PPOH RTOH	CAAN	RMN	PPTN	RTN	
TGELOH	1	-0.347 *	-0.296 *	-0.296 *	0.006 -0.109	-0.074	-0.074	0.003	-0.059	
ENE OH	-0.216	1	0.577 **	0.577 **	0.213 0.256	0.239	0.239	-0.330 *	0.517 **	
CAAOH	-0.351	0.477 **	1	1.000 **	0.184 0.415 **	0.309 *	0.309 *	-0.110	0.383 *	
RMOH	-0.351 *	0.477 **	1.000 **	1	0.184 0.415 **	0.309 *	0.309 *	-0.110	0.383 *	
PPOH	-0.074	0.180	0.203	0.203	1 -0.307 *	0.095	0.095	-0.233	0.315 *	
RTOH	-0.176	0.238	0.451 **	0.451 **	-0.251 1	0.056	0.056	0.106	-0.051	
CAAN	-0.057	0.251	0.266	0.266	0.034 0.085	1	1.000 **	0.394 **	0.504 **	
RMN	-0.057	0.251	0.266	0.266	0.034 0.085	1.000 **	1	0.394 **	0.504 **	
PPTN	-0.063	-0.250	-0.092	-0.092	-0.161 0.162	0.414 **	0.414 **	1	-0.592 **	
RTN	0.038	0.385 *	0.360 *	0.360 *	0.131 -0.015	0.531 **	0.531 **	-0.491 **	1	

\* , \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

En los análisis de correlación se encontró una correlación significativa ( $p \leq 0.01$ ) entre todas las variables de nixtamalización; en el caso de las variables del cocimiento óhmico, también se encontró diferencias significativas entre variables, excepto en la pérdida de peso de la tortilla (PPOH) con la capacidad de absorción de agua (CAAOH) y rendimiento de tortilla (RTOH); donde no hubo evidencia de asociación directa entre estas variables. Sin embargo, es importante analizar la correlación o el índice de asociación entre las variables óhmicas y el proceso de nixtamalización dado que representan los procesos no convencional y convencional, respectivamente.

Los coeficientes de correlación entre las variables óhmicas y sus similares de nixtamalización fueron significativos ( $P \leq 0.05$ ) en la capacidad de absorción de agua (CAAOH, CAAN) y el rendimiento de masa (RMOH, RMN). Por otro lado, en el caso de la pérdida de peso (PPOH, PPN) y el rendimiento de tortilla (TRO, RTN) no se encontró evidencia de asociación directa. En el análisis de la variable rendimiento de tortilla (RTN)

por el método tradicional, se encontró una correlación significativa ( $P \leq 0.01$ ) con la capacidad de absorción de agua ( $r = 0.504$ ), el rendimiento de masa ( $r = 0.504$ ) y la pérdida de peso ( $r = -0.592$ ). También se encontró asociación directa ( $P \leq 0.01$ ) con la energía de cocimiento de harina ( $r = 0.517$ ) del cocimiento óhmico.

En el caso de la asociación del rendimiento de tortilla (RTN) con las variables del cocimiento óhmico, se encontró una correlación significativa ( $p \leq 0.05$ ) con la capacidad de absorción de agua ( $r = 0.383$ ), rendimiento de masa ( $r = 0.383$ ) y la pérdida de peso en tortilla ( $r = 0.315$ ). Por lo tanto, el rendimiento de tortilla con el método tradicional no mostró evidencia de asociación directa, en las variables temperatura de gelatinización ( $r = -0.059$ ) y el rendimiento de tortilla ( $r = -0.051$ ), ambas del método no convencional (cocimiento óhmico).

El análisis de correlación de orden (Cuadro 8), es decir, el orden de clasificación de los genotipos de maíz con cada una de las variables, mostró consistencia en el orden de los materiales ( $P \leq 0.05$ ), entre el rendimiento de tortilla del método tradicional con la energía de cocimiento de harina ( $r = 0.385$ ), la capacidad de absorción de agua ( $r = 0.360$ ) y el rendimiento de masa ( $r = 0.360$ ), ambas características del método no convencional.

El análisis de asociación dentro del grupo de variables, se encontró consistencia tanto en el método tradicional como en el método no convencional, con respecto a los coeficientes de correlación directa (Pearson) y los coeficientes de correlación de orden (Superman, rank-order correlation).

Tomando en cuenta que el método de cocimiento óhmico es una técnica indirecta y rápida, además que utiliza poca semilla, los resultados del presente estudio del análisis de correlación directa y la correlación de orden (Cuadro 8) permiten inferir que éste método muestra un potencial de predicción de la calidad de los materiales genéticos en el rendimiento de masa y tortilla.

Sin embargo, el rendimiento promedio de masa y de tortilla fue menor en el método de cocimiento óhmico con respecto al método tradicional (Cuadro 9). Por el contrario, la pérdida de peso de tortilla fue mayor en el cocimiento óhmico. Por otro lado, el error estándar como indicador de la variación en los resultados y por consiguiente en la predicción correspondiente, fue mayor en el cocimiento óhmico en la pérdida de peso de la tortilla y el rendimiento de tortilla. Es posible que la variación mayor en la predicción de la calidad de los materiales, usando el método de cocimiento óhmico se deba al tamaño de muestra utilizado en el procedimiento, además del muestreo de la variación intrínseca de la población o material genético en estudio. Adicionalmente, el cocimiento óhmico en este trabajo utiliza el grano integral y no se le adicionó cal por lo que posiblemente estos efectos incrementen en cierta manera la variación en la pérdida de peso durante el cocimiento de la tortilla.

Cuadro 9. Medias de las características de los métodos de cocimiento óhmico y de nixtamalización (tradicional).

<b>Características</b>	<b>Unidades</b>	<b>Óhmico</b>	<b>EE</b>	<b>Nixtamal</b>	<b>EE</b>
Temp. de gelatinización	(°C)	69.32	0.576		
Energía de cocimiento de H.	(W/g)	1.23	0.023		
Capacidad de absor. de agua	(mlagua/kgH)	1.09	0.011	1.17	0.011
Rendimiento de masa	(kgH/kgM)	2.09	0.011	2.18	0.011
Pérdida de peso de tortilla	(%)	30.06	0.483	24.77	0.399
Rendimiento de tortilla	(kgT/kgM)	1.41	0.015	1.64	0.009

+ EE= Error estándar.

### 4.3. Análisis de la variación genética

La variación genética de los 43 materiales estudiados agrupadas en los cuatro grupos: físicas, térmicas, óhmicas y de nixtamalización. La asociación entre los grupos de variables fue analizada previamente, por lo que en esta sección, se analizará la información para que en conjunto se determine las diferencias entre poblaciones.

Los materiales genéticos fueron agrupados con base en la altitud del lugar de origen, determinándose tres grupos: a) bajos (< 1200 msnm); b) intermedios (1201 – 2000 msnm) y c) altos (mayor a 2000 msnm). Evidentemente, cada material genético fue

caracterizado usando los cuatro grupos de variables según se observan en los cuadros (A1, A2, A3 y A4) del Apéndice.

En este caso, se usaron solo 20 variables para realizar un análisis de componentes principales, cuyo criterio de selección fueron aquellas variables que contribuían a la explicación de la varianza total en los primeros componentes principales. La Figura 12 presenta la dispersión de los 43 materiales genéticos utilizados en el presente trabajo, con base en los dos primeros componentes principales que explican en conjunto el 45% de la variación total acumulada en las 20 variables originales.

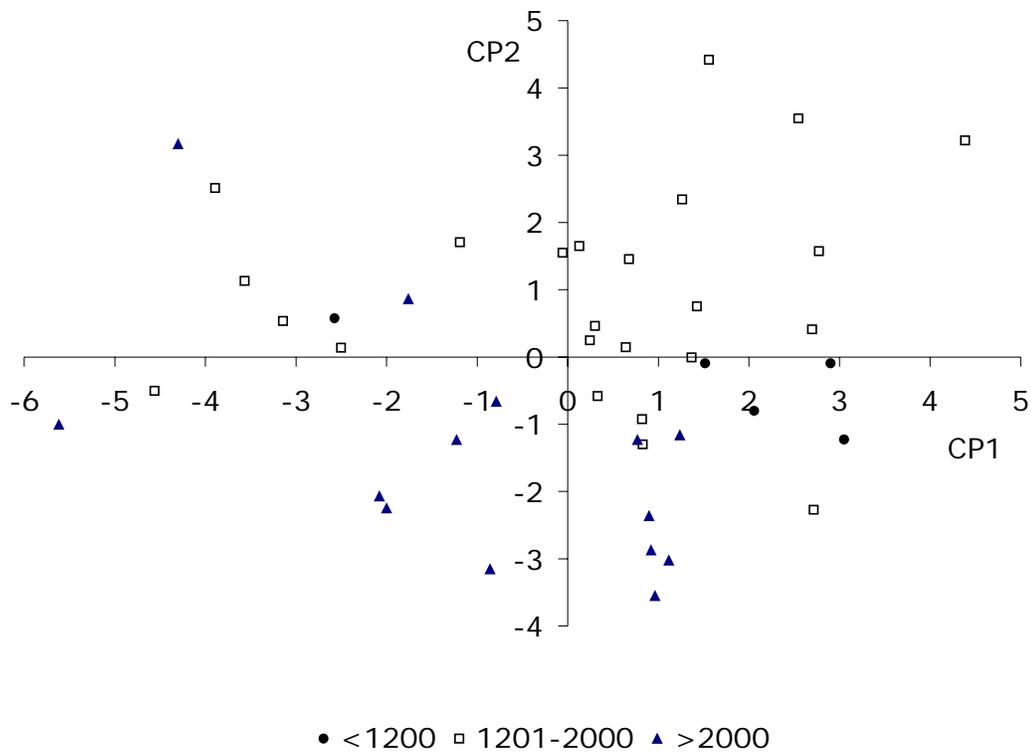


Figura 12. Dispersión de los 43 materiales genéticos con base en los dos componentes CP1-CP2.

El análisis de correlación canónica es una técnica multivariada que analiza la relación entre dos grupos de variables, cada uno con varias variables. Esta técnica produce combinaciones lineales para cada grupo de variables a las que se les conoce como variables canónicas, y la correlación entre las dos variables canónicas es la primera correlación canónica. Los coeficientes de las combinaciones lineales son los coeficientes canónicos, y determina las características de cada uno de los componentes principales.

El primer componente clasifica a los materiales genéticos con base en peso hectolítrico, y la dureza del nixtamal, asociadas negativamente con el índice flotación, la capacidad de absorción de agua y el rendimiento de masa. Es decir, al lado derecho del primer componente principal, se encuentran los materiales con mayor peso hectolitrito, pero con menor índice de flotación, menor capacidad de absorción de agua y menor rendimiento de masa y de tortilla. Éste grupo de materiales provienen de los lugares bajos a intermedios.

El segundo componente está determinado por las características térmicas, asociadas negativamente con el peso de mil granos, la longitud de grano y el volumen de nejayote. En general, este componente discrimina a los materiales genéticos en dos grupos contrastantes: De los materiales que se encuentran en la parte superior del segundo componente, los cuales agrupan básicamente a los materiales con origen de altitud intermedios (1201-2000 msnm). Por otro lado, en la parte inferior de la Figura (12), se ubican los materiales provenientes de sitios altos. Estos últimos cuentan con índices bajos de características térmicas temperatura inicial, temperatura pico y temperatura final de gelatinización ( $T_0-T$ ,  $T_p-T$  y  $T_f-T$ ), sin embargo, también son identificados con altos valores de longitud de grano y peso de mil granos.

Cuadro 10. Vectores característicos y proporción de la varianza explicada en los tres primeros componentes principales.

<b>Variables Originales</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>
Peso hectolítrico	0.314 *	-0.070	0.240
Peso mil granos	0.215	-0.301 *	0.182
Índice flotación	-0.325 *	-0.095	-0.233
Dureza de grano	0.203	-0.133	0.259 *
Temperatura inicial	0.163	0.384 *	-0.058
Temperatura pico	0.201	0.416 *	-0.016
Temperatura final	0.159	0.430 *	0.027
Temperatura gelatinización	0.236	0.063	0.065
Energía cocer harina OH	-0.248	0.102	0.284 *
CAA óhmico	-0.264 *	0.004	0.442 *
Rend. Masa óhmico	-0.264 *	0.004	0.442 *
Rend. tortilla óhmico	-0.126	-0.209	0.297 *
CAA nixtamal	-0.279 *	0.178	0.032
Rend. Masa nixtamal	-0.279 *	0.178	0.032
Rend. tortilla nixtamal	-0.185	0.230	0.189
Sólidos nejayote	0.161	0.151	0.288 *
Dureza nixtamal	0.256 *	0.015	0.188
Volumen nixtamal	0.230	-0.020	0.241
Longitud Grano	0.095	-0.293 *	-0.060
<b>Prop. Varianza Exp.</b>	<b>0.269</b>	<b>0.181</b>	<b>0.118</b>

\* Valor característico de mayor importancia entre las variables originales y los componentes principales.

## V. CONCLUSIONES

Se encontró asociación directa entre las variables de cocimiento óhmico y el rendimiento de tortilla por el método tradicional, excepto entre el rendimiento de tortilla de los dos métodos. La correlación de orden entre los grupos de variables mostró consistencia con el análisis de correlación simple.

El método de cocimiento óhmico muestra un potencial de predicción de la calidad de los materiales genéticos en el rendimiento de masa y tortilla.

La varianza asociada a la predicción de la calidad de tortilla fue mayor en el cocimiento óhmico en la pérdida de peso y el rendimiento de tortilla, comparado con los valores del método tradicional de nixtamalización, probablemente por efectos del tamaño de muestra utilizado en el procedimiento.

Los materiales genéticos fueron agrupados con base en la altitud del lugar de origen, determinándose tres grupos: a) bajos ( $< 1200$  msnm); b) intermedios (1201–2000 msnm) y c) altos (mayor a 2000 msnm). El proceso no convencional cocimiento óhmico y el proceso tradicional de nixtamalización presentaron un grado de asociación en parámetros de calidad, principalmente en rendimiento de masa y capacidad de absorción de agua.

## VI. LITERATURA CITADA

- AACC (American Association of Cereal Chemists) 1995. Approved methods. 9<sup>th</sup> edition, St. Paul, MN.
- Appendini, K. 1992. De la milpa a los Tortibonos. La reestructuración de la política alimentaria en México. E.C.M. México. 182 p.
- Arámbula V.G. Mauricio R.A., Figueroa J.D.C., González-Hernández J., Ordorica A. 1999. corn, masa and tortillas from extruded instant corn flour containing hydrocolloids and lime. *J. Food Sci* 64(1):120-124.
- Biliaderis, C. G. 1992. Structures and phase transitions of starch in food systems. *Food Technol.*10 (98-109).
- Cambells, M. R., L. M. Pollak and P. J. White. 1995. Genetic variation for starch thermal and functional properties among nonmutant maize inbred. *Cereal Chem.* 72: 281-286.
- Centro de Investigaciones Agrarias (CIA). 1980. El cultivo de maíz en México. Mexicana. México. P. 12, 81-86.
- CIDA.1980.El mercado del maíz. En: El cultivo del maíz en México. Centro de Investigaciones Agraria (ed). México. p: 81
- Chang, C. S. 1988. Measuring density and porosity of grain kernels using a gas pycnometer. *Cereal Chem.* 65(1):13-15.
- Chung, D. S. and H. H, Converse. 1969. Effect of moisture content on some physical properties of grains. *Am. Soc. Agric. Eng. Paper* 69-81. The Society: St. Joseph, MI.
- Charley., H. 1987. Tecnología de alimentos, procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos. Limusa. México.
- Desrosier W. N. 1983. Elementos de Tecnología de Alimentos. CECSA. México. p. 160.
- Duffus C. y C. Slaughter. 1980. Las Semillas y sus usos. AGT. Editores. México. p. 93-114.
- Figueroa J.D.C., Martínez B.F. and Ríos. 1995. Effect of sorghum endosperm type on the quality of adjuncts for the brewing industry. *J. Amer. Soc., Chem.* 53(1):5-9.

- Figueroa C., J.D. 2001. Determinación de la calidad nixtamalera de maíz mediante métodos no convencionales. Memoria del primer seminario académico de fitomejoramiento. Saltillo, Coahuila. UAAAN. p. 33-41.
- Fox, S.R., L. A, Johnson. C.R. Hurburgh, Jr. C Dorsey-Redding, and T.B Bailey. 1992. Relation of grain proximate composition and physical properties to wet-milling characteristics of maize. *Cereal Chem.* 69(2): 191-197.
- Gil, M. A. 2000. Usos tradicionales de los maíces criollos en dos micro-regiones de Puebla México. Memoria del XVIII Congreso Nacional de Fitogenética. Irapuato, Gto. p 113.
- Gómez, M. H., Lee, J. K., McDonough, C.M., Waniska, R. D. and Rooney, L. W. Corn Starch Changes During Tortilla and Tortilla Chip Processing. *Cereal Chem.* 69(3):275-279
- Goodman, M. N. and W. L. Brown. 1988. Races of corn. In: G.F. Sprague and J.W. Dudley (eds). *Corn and Corn Improvement*. ASA Monograph 18. ASA, Madison, Wisconsin. Pp: 33-79.
- Gustafson, R. J., and G. E Hall. 1972. Density and porosity changes of shelled corn during drying. *Trans. ASAE* 15:523.
- Hernández X., E. 1972. Consumo humano de maíz y el aprovechamiento de tipos con alto valor nutritivo. *In: Simposio sobre Desarrollo y Utilización de Maíces de alto Valor Nutritivo*. Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. pp: 149-156.
- Hernández X., E. 1986. Consumo humano de maíz y el aprovechamiento de tipos con alto valor nutritivo. *Revista de geografía agrícola*. Tomo 2: 761:766. UACH. Chapingo, México.
- Hernández, C. J.M. 1999. La diversidad del maíz mexicano y su conservación. *Memorias del 2do Taller Nacional de Maíz*. Saltillo Coah. p. 1-15.
- Hernández, X. E., y G. Alanis F. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México. *Implicaciones Filogenéticas y Fitogeográficas*. Agrociencia.
- Hsu, K. H., C.J. and Wilson, L. A. 1983. Factors affecting water uptake of soybeans during soaking. *Cereal Chem.* 60:208.
- Hurburgh, C. R. Jr. 1989. The value of quality to new and existing corn uses. *American Society of Agricultural Engineering paper 89-6016*. The Society: St. Joseph, MI.

- Jugenheimer, W. R. 1981. Maíz: Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. ED. Limusa, México.
- Juliano, B.O., M.B Nazareno, and N.B Romos. 1969. Properties of waxy and isogenic non-waxy rices differing in starch gelatinization temperature. J. Agric. Food Chem. 17:1364.
- Karaptansions, T. D., Sakonidou, E. P. and Raphaelides, S. N. 2000. Electrical Conductance Study of Fluid Motion and Heat Transport During Starch Gelatinization. J. Food Sci. 65(1):144-150
- Kongseree, N. and Juliano, B.O. 1972 Physiochemical properties of rice grains and starch differing in amylase content and gelatinization temperature. J. Agric. Food Chem. 20:714.
- Kramer, H.H.; R.L. Whistler. 1949. Quantitative effects of corn endosperm starch. Agron. Jour. 41:409-411.
- Lai, F. S., S. Afework and Y. Pomeranz. 1983. Determination of hardness of wheat by Culatti Micro Hammer/Cutter Mill, (Abstr.) Cereal Food World 28:572.
- Lehninger, L.A. 1972. Bioquímica. Las bases moleculares de la estructura y función celular. Ediciones Omega. Barcelona España.
- Lempiannen, T.n and Henriksnas, H. 1979. Characterization of the starch in the tubers of dropwort (*Filipendula vulgaris moench*). Starch/Staerke. 31:45.
- Mauricio S. R.A. D.C Figueroa J., G. A Mendoza., M. M Gaytan y S Taba S. 2000. Uso final de razas mexicanas de maíz, por medio de sus propiedades fisicoquímicas, térmicas y eléctricas. Memoria XVIII Congreso Nacional de Fitogenética. Irapuato, Gto. p. 143.
- Mauricio S.A. Figueroa J.D.C., Taba S., Reyes-Vega M.L., Rincón S.F. y Mendoza G.A. 2004. Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. Rev. Fitotec. Mex. 27(3):213-222.
- Mendoza, Z. J.A. 1999. Estrategias y políticas para la producción especializada en México. Memorias del 2do Taller Nacional de Especialidades de Maíz. Saltillo Coah. p. 201.
- Ortega P., R.A. 1973. Variación en maíz y cambios socioeconómicos en Chiapas, México. 1946-1971. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.

- Ortega, J. J. 1985. Variedades y razas mexicanas y su evaluación en cruzamientos con líneas de clima templado como material de partida para fitomejoramiento. Traducido del ruso, capítulo: Descripción de Algunas Razas Poco Estudiadas. Tesis doctoral. Instituto Vavilov. U. R. S. S.
- Pomeranz, Y., C.R. Martin., D.D. Traylor, and F.S. Lai. 1984. Corn hardness determination. *Cereal Chem.* 61: 147.
- Paulsen, M. R., and L.D. Hill. 1985. Corn quality factors affecting dry milling performance. *J. Agri. Eng.* 31:255.
- Reyes C., P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT Editores. México. p. 10-17.
- Salinas, M., Y. 1994. Calidad nixtamalera en maíces comerciales. Memorias del 11 Congreso Latinoamericano de Genética y XV Congreso de Fitogenética. Facultad de Agronomía de la UANL. p. 386.
- Santos, M. A. 1980. Bioquímica de cereales y sus productos. Universidad Autónoma de Chapingo. México. p.12.
- Sánchez, J.J 1989. Relation among the Mexican races of maize. Ph. D. dissertation. North Carolina University.
- Sánchez, R. G. L. A. y López, I. 1999. Oportunidades de Desarrollo del Maíz Mexicano. . Memorias del 2do Taller Nacional de Especialidades de Maíz. Saltillo Coah. p 59-76.
- SAS 1999. SAS OnlineDoc®, Version 8, Cary, NC: SAS Institute Inc.
- S.I.E.P.A. (Sistema Integral de estímulos de producción agropecuaria) 1987. Proyecto estratégico de fomento a la producción de maíz. 1ra. ed. SARH. p. 157.
- Smith, G.M. and A.M. Branson. 1946. Hybrid popcorn in Indiana. *Purdue Agr. Sta. Bull.* No. 510.
- Smith, G.M. 1955. Sweet Corn. *Corn and Corn Improvement.* Academic Press.
- Thomas, J. D. and Atwell, W. A. 1999. Starches. American Association of Cereal Chemists, Inc. (ed). St. Paul, Minnesota, USA. p.:28
- Toporek M. 1985. Bioquímica. 3 ed. Interamericana. México.
- Wellhausen, E. J., L.M. Roberts and X.E. Hernandez. 1952. Races of maize in Mexico: Their Origin, Characteristics and Distribution. 1st. Edition. The Bussey Institution of Harvard University. pp: 23 - 44.

## **APENDICE**

**Cuadro A. 1. Características físicas de las 43 colectas de maíz evaluadas.**

Mue	Ent	PH	HG	L	a	b	PMG	IF	DUR	ENDOS	PERIC	GERM	Largo	Ancho	Grosor
1	17	0.861	7.20	60.4	3.5	17.8	355	51	13.83	77.95	7.35	14.70	14.3	8.3	4.5
2	4	0.870	8.63	57.3	3.1	16.8	255	56	12.80	79.67	7.97	12.35	12.2	7.4	3.8
3	25	0.884	6.70	63.9	2.5	18.5	288	17	14.74	79.83	7.42	12.75	10.8	9.8	3.6
4	31	0.846	8.36	63.3	5.1	21.5	273	48	14.08	79.61	7.29	13.09	10.0	9.5	4.6
5	29	0.877	7.90	68.6	1.6	19.3	314	20	14.62	80.90	6.91	12.18	11.9	9.1	4.0
6	15	0.861	7.74	59.7	4.0	20.3	257	20	14.73	79.07	8.40	12.53	13.2	6.6	4.3
7	2	0.860	9.31	59.4	4.0	19.6	298	78	13.64	80.79	8.23	10.98	12.7	8.4	5.2
8	16	0.842	7.69	29.6	11.5	7.5	366	74	15.55	80.83	7.92	11.25	11.1	9.8	3.5
9	24	0.853	6.87	45.7	2.5	9.2	292	24	12.32	79.06	7.36	13.57	12.1	8.7	3.7
10	32	0.880	11.14	62.4	2.0	18.0	294	4	12.91	81.48	6.03	12.49	12.0	10.5	4.9
11	34	0.870	7.12	62.4	3.0	18.9	278	6	12.71	81.53	7.21	11.26	12.4	8.5	4.2
12	18	0.840	6.07	59.5	4.4	17.5	245	75	11.24	80.90	7.28	11.82	10.5	8.3	4.7
13	13	0.855	7.82	62.2	3.0	18.5	246	65	11.74	80.01	6.97	13.02	11.0	7.8	4.4
14	9	0.856	9.40	64.3	3.3	20.5	233	79	12.34	79.16	9.13	11.72	12.1	8.0	4.4
15	21	0.873	8.14	58.4	3.1	16.7	322	27	15.84	80.74	6.77	12.49	11.8	9.2	4.2
16	12	0.881	6.65	64.6	3.8	19.2	331	19	9.91	81.54	6.07	12.39	11.6	8.0	4.3
17	41	0.816	8.75	61.3	3.9	19.5	196	96	9.65	80.10	9.58	10.32	10.0	7.4	4.6
18	22	0.889	7.32	65.4	3.0	19.0	291	21	13.24	81.32	6.10	12.58	11.6	8.2	4.3
19	28	0.894	8.29	62.3	2.3	19.0	315	1	13.18	82.91	5.76	11.32	12.2	8.8	3.8
20	38	0.860	7.80	33.7	2.9	5.4	246	43	13.88	79.93	7.00	13.07	12.0	7.3	4.4
21	26	0.855	7.71	59.9	3.5	18.6	310	37	15.22	81.32	6.84	11.84	13.1	7.4	4.0
22	42	0.870	6.82	61.9	3.0	19.0	257	58	12.67	80.01	7.12	12.87	10.5	7.9	4.5
23	19	0.857	6.79	65.3	2.8	18.4	255	20	12.34	79.30	7.36	13.33	12.4	6.5	4.6
24	27	0.878	7.91	62.3	3.5	17.8	276	6	13.69	80.61	7.05	12.34	10.9	9.5	3.7
25	36	0.869	7.94	60.0	4.2	18.9	282	60	14.01	79.39	6.75	13.87	12.3	8.3	5.0
26	35	0.847	7.84	61.4	4.6	19.0	270	84	10.33	80.62	7.16	12.22	11.3	8.3	4.9
27	3	0.840	7.98	56.2	4.0	18.4	348	69	10.97	79.31	7.05	13.64	14.5	7.7	5.0
28	7	0.850	8.17	56.9	5.1	17.9	310	54	14.38	79.55	8.06	12.39	13.8	7.3	4.5
29	14	0.857	8.23	65.9	2.8	19.4	249	51	11.65	77.09	7.47	15.45	12.3	8.0	4.1
30	20	0.883	7.55	41.3	4.4	7.5	271	16	13.77	79.41	7.01	13.58	11.0	8.1	4.4
31	33	0.857	8.12	67.0	3.5	18.1	201	47	10.92	81.60	6.93	11.47	11.4	8.5	3.4
32	37	0.857	7.10	60.0	4.0	19.1	280	33	12.10	77.83	7.83	14.34	13.3	7.3	4.3
33	5	0.818	9.04	65.1	3.8	19.9	183	82	8.01	80.82	8.97	10.21	10.8	7.3	3.9
34	43	0.853	8.67	60.6	3.5	19.6	248	74	12.88	79.78	7.80	12.42	12.9	7.4	4.3
35	11	0.851	8.57	53.8	2.7	18.6	296	68	10.56	78.03	8.26	13.71	12.5	8.4	3.8
36	10	0.858	8.74	66.2	1.9	17.2	200	19	12.69	80.72	6.76	12.52	10.4	7.6	3.5
37	40	0.876	7.93	55.2	5.6	19.3	243	10	14.18	80.09	7.34	12.57	11.3	6.4	4.6
38	1	0.878	9.10	57.5	7.0	19.9	312	12	12.24	80.12	7.13	12.75	13.5	8.0	4.5
39	8	0.844	9.11	62.4	4.1	20.2	253	94	11.66	80.65	7.79	11.56	12.2	7.2	5.1
40	23	0.865	7.42	64.5	3.1	18.7	282	46	13.86	80.65	7.20	12.15	11.2	8.3	4.2
41	30	0.869	7.71	62.7	3.5	18.0	305	11	13.87	81.27	6.48	12.25	11.4	8.4	4.0
42	39	0.890	8.40	56.6	3.1	18.7	343	43	13.13	77.88	7.82	14.30	13.4	9.5	5.2
43	6	0.883	9.58	63.2	3.2	19.8	291	73	13.11	81.81	7.70	10.49	12.5	7.2	5.0

Cuadro A. 2. Características térmicas de las 43 colectas de maíz evaluadas.

Mue	Ent	Vis_ini	Pic_vis	Vis_ret	Dif_T	T0_T	Tp_T	Tf_T
1	17	73.15	321.42	141.5	3.3	66.22	70.95	75.82
2	4	74.55	212.17	156.41	3.96	64.48	70.79	76.69
3	25	76.05	164.17	325.59	5.79	68.59	74.59	80.33
4	31	76.3	232.75	197.33	5.11	66.28	71.47	77.14
5	29	74.5	299.17	133.75	4.95	66.24	71.62	77.46
6	15	75.8	218	168.58	3.32	65.69	71.28	76.69
7	2	73.6	290.83	158.66	1.85	66.43	69.97	75.57
8	16	71.8	184.42	104.75	4.67	64.33	70.28	76.75
9	24	75.9	264.5	193.25	6.35	69.66	74.44	79.66
10	32	75.85	161.25	206.33	4.14	66.72	72.92	78.62
11	34	74.4	284.67	134.08	4.93	66.33	71.45	77.24
12	18	75.3	309.92	185.92	4.97	66.81	71.94	78.36
13	13	74.15	284.58	170.16	5.1	65.05	71.79	77.81
14	9	73.25	365.25	150.83	4.9	64.09	69.96	75.85
15	21	73.7	252.42	135	4.6	64.67	70.78	76.96
16	12	74.05	335.75	195.67	8.03	66.66	72.6	78.84
17	41	71.55	379.75	138.17	5.25	63.88	69.79	76.25
18	22	74.5	280.25	144.25	5.57	67.14	72.63	77.96
19	28	72.65	248.08	136.5	4.53	65.26	71.12	77.45
20	38	73.2	271.83	147.33	4.85	65.09	70.79	76.98
21	26	73.15	279.17	153.09	4.52	64.34	70.46	76.61
22	42	74.45	225.58	104.34	5.15	65.48	71.12	76.94
23	19	74.05	251.58	147.08	4.65	66.68	71.95	77.98
24	27	74.5	236.33	179.67	4.69	65.88	71.96	78.43
25	36	73.3	471.08	188	4.81	66.77	72.8	78.82
26	35	73.15	286.92	147.08	5.34	65.53	71.29	77.6
27	3	74.05	267.83	150.5	4.39	65.08	70.63	76.3
28	7	73.55	259.83	132	4.67	66.25	71.79	77.72
29	14	75	338.67	200.09	6.48	68.25	72.77	79.04
30	20	74.4	247.33	142.25	3.78	64.81	70.95	77.02
31	33	72.7	261.67	148	5.75	65.99	70.96	77.39
32	37	74.92	265.58	197.92	4.59	66.08	71.62	77.53
33	5	75.95	288.42	259.92	3.61	66.33	72.13	78.7
34	43	74.4	247.33	141.59	3.51	65.99	71.28	77.71
35	11	74.95	320.42	158.17	4.69	67.19	72.45	77.85
36	10	76.1	226.67	267.25	5.32	68.81	73.78	80.09
37	40	75.9	205.33	224.16	2.87	68.82	72.96	78.72
38	1	76.65	194.42	248.5	3.26	62.27	69.95	77.24
39	8	73.25	288.92	140.25	5.17	64.72	70.64	76.39
40	23	74.95	319.08	172.83	5.85	67.09	72.12	78.47
41	30	74.05	256.5	169.83	4.09	66.46	71.79	76.99
42	39	74.45	252.58	183.75	3.94	66.39	71.79	78.06
43	6	76.3	232.75	197.33	3.03	61.67	68.63	76.07

Cuadro A. 3. Características Ohmicas de las 43 colectas de maíz evaluadas.

Mue	Ent	CAAOH	RMOH	PPOH	RTOH	TGELOH	ENE OH
1	17	1.09	2.09	28.41	1.46	67.31	1.06
2	4	1.01	2.01	32.03	1.31	68.68	1.01
3	25	0.95	1.95	29.75	1.37	72.58	1.06
4	31	1.27	2.27	30.90	1.57	73.51	1.28
5	29	1.05	2.05	30.82	1.41	73.33	1.17
6	15	1.02	2.02	35.00	1.32	76.57	1.17
7	2	1.07	2.07	35.34	1.34	67.39	1.16
8	16	1.16	2.16	30.37	1.53	65.03	1.51
9	24	1.05	2.05	30.99	1.31	69.91	1.27
10	32	1.05	2.05	30.66	1.42	72.98	1.19
11	34	1.13	2.13	32.56	1.44	67.08	1.18
12	18	1.05	2.05	28.17	1.48	69.15	1.32
13	13	1.12	2.12	32.45	1.32	68.58	1.58
14	9	1.17	2.17	32.86	1.46	64.59	1.12
15	21	1.16	2.16	31.29	1.35	67.94	1.16
16	12	1.16	2.16	31.65	1.48	69.30	1.41
17	41	1.04	2.04	29.79	1.44	63.72	1.29
18	22	1.08	2.08	30.10	1.37	65.76	1.20
19	28	1.08	2.08	31.40	1.44	77.03	1.16
20	38	1.14	2.14	28.18	1.55	67.82	1.18
21	26	1.04	2.04	30.55	1.43	66.66	1.18
22	42	0.94	1.94	24.72	1.48	67.50	1.08
23	19	1.13	2.13	32.58	1.32	69.12	1.26
24	27	1.12	2.12	24.16	1.49	68.78	1.27
25	36	1.11	2.11	24.17	1.35	72.82	1.12
26	35	1.19	2.19	29.01	1.55	64.07	1.67
27	3	0.99	1.99	21.12	1.43	69.77	1.00
28	7	1.14	2.14	27.41	1.55	68.09	1.12
29	14	1.04	2.04	28.98	1.39	69.21	1.11
30	20	1.04	2.04	29.33	1.45	77.78	1.18
31	33	1.22	2.22	32.86	1.48	63.85	1.66
32	37	1.04	2.04	29.25	1.45	71.41	1.20
33	5	1.13	2.13	29.81	1.33	67.53	1.25
34	43	1.10	2.10	27.65	1.31	69.44	1.30
35	11	1.03	2.03	26.23	1.22	66.97	1.15
36	10	1.05	2.05	37.44	1.12	70.47	1.16
37	40	1.10	2.10	29.73	1.48	71.52	1.13
38	1	1.10	2.10	29.73	1.48	78.90	1.20
39	8	1.21	2.21	32.67	1.49	65.04	1.40
40	23	1.10	2.10	26.70	1.29	68.83	1.19
41	30	1.00	2.00	34.93	1.26	71.96	1.19
42	39	1.01	2.01	28.50	1.45	69.42	1.26
43	6	1.11	2.11	32.31	1.42	63.38	1.23

Cuadro A. 4. Variables de nixtamalización tradicional de las 43 colectas de maíz evaluadas.

Mues	Ent	CAAN	RMN	PPTN	RTN	TENN	Sólidos	Dur_nix	H_nix	CLN	CaN	CbN	V_nej	PH_Nej	H_mas	PH_mas	H_tor	PH_tor	aw	CLT	CaT	CbT
1	17	1.14	2.14	25.01	1.6	0.21	2.2	0.92	55.21	59.47	2	24.1	338	9.53	54.85	7.35	41.85	7.36	0.984	71.8	0.4	18.1
2	4	1.15	2.15	25.61	1.6	0.23	1.72	0.85	52.78	57.08	1.66	23.6	195	8.75	53.83	7.02	40.13	7.04	0.978	74.5	0.5	17.9
3	25	1.17	2.17	23.88	1.65	0.2	3.04	1.04	55.42	53.54	3.09	22.9	144	8.82	56.48	7.12	43.51	7.08	0.982	74.3	0.3	17.4
4	31	1.26	2.26	28.34	1.62	0.2	1.83	0.74	53.46	54.8	5.2	26.4	154	9.02	59.03	7.07	41.65	6.96	0.977	67.8	1.7	21
5	29	1.14	2.14	23.42	1.64	0.17	2.36	0.95	52.37	60.92	1.2	22.5	358	9.05	57.85	7.07	44.85	7.03	0.981	71.7	0.5	17.8
6	15	1.21	2.21	25.59	1.64	0.19	1.98	0.92	52.46	57.48	1.62	22.3	530	9.06	60.39	7.12	55.83	7.1	0.98	71.4	0.6	17.2
7	2	1.26	2.26	26.09	1.67	0.3	1.51	0.83	54.56	55.07	2.36	24.2	194	9.32	55.89	7.06	39.14	7.03	0.979	71.4	0.9	17.9
8	16	1.22	2.22	24.48	1.68	0.21	3.09	0.79	55.51	13.11	2.3	2.92	556	9.39	57.41	7.18	44.4	7.09	0.983	35.5	7.8	8.7
9	24	1.15	2.15	21.13	1.69	0.23	3.33	1.01	56.38	51.3	1.97	16.4	100	9.4	54.52	7.72	40.42	7.52	0.978	63.8	0.2	11.2
10	32	1.2	2.2	23.85	1.68	0.23	2.63	1.33	56.95	61.85	1.93	20.5	138	9.81	56.74	7.33	43.02	7.17	0.983	71.6	0.3	16.6
11	34	1.15	2.15	24.64	1.62	0.19	2.22	0.68	53.86	57.31	2.78	23.6	268	9.36	58.09	7	45.8	6.91	0.986	71.7	0.9	17.5
12	18	1.17	2.17	23.75	1.65	0.2	2.49	0.67	51.63	40.24	4.17	13.8	74	9.2	57.52	7.23	41.91	7.17	0.981	59.1	2.3	11.4
13	13	1.33	2.33	21.84	1.82	0.15	2.34	0.53	50.44	59.98	1.47	22.1	170	9.48	55.65	7.32	41.8	7.22	0.976	71.2	1	18.7
14	9	1.14	2.14	24.02	1.63	0.17	1.35	0.82	54.16	47.24	1.17	20.6	194	9.05	57.44	7.2	42.25	7.06	0.981	63.3	1.2	12.9
15	21	1.18	2.18	26.09	1.61	0.24	2.61	1.1	53.82	48.3	3.05	20.1	240	9.22	56.58	7.08	43.58	7.02	0.98	70.6	0.6	16.2
16	12	1.08	2.08	21.12	1.64	0.2	1.81	0.73	53.94	57.06	0.78	22.4	296	8.9	53.75	7.03	53.75	7.02	0.982	71.1	1.1	17.7
17	41	1.2	2.2	28.3	1.58	0.19	1.44	0.35	47.75	54.67	3.75	23.7	155	8.66	55.33	7.66	41.27	7.42	0.978	68.5	1.5	18.9
18	22	1.08	2.08	23.18	1.6	0.15	3.43	0.98	54.58	60.74	0.85	17.7	207	9.71	55.01	7.54	43.12	7.42	0.98	60.3	1.2	9.9
19	28	1.08	2.08	24.41	1.59	0.29	3.24	0.77	54.71	65.32	1.47	20.5	245	9.15	56.51	7.08	38.05	7	0.975	73.6	0.5	18.2
20	38	1.31	2.31	28.26	1.66	0.16	2.52	0.67	49.57	31.11	1.81	10	132	9.24	60.58	7.09	44.19	7.07	0.982	50.8	2.1	8.3
21	26	1.06	2.06	22.09	1.61	0.24	2.17	0.63	51.92	55.58	2.01	22	295	9.22	53.46	7.13	37.31	6.87	0.975	73.2	0.9	17.7
22	42	1.16	2.16	26.67	1.58	0.19	1.84	0.82	52.29	57.58	1.16	23.9	290	9.23	57.38	7.12	44.05	7	0.982	69.5	0.9	18.7
23	19	1.19	2.19	21.43	1.72	0.25	2.57	0.96	53.17	60.46	0.95	22.6	132	8.81	55.55	6.99	55.55	7.01	0.981	73.4	0.6	16.6
24	27	1.12	2.12	26.46	1.56	0.15	2.78	0.88	54.35	62.58	0.96	21	300	9.05	59.3	7.02	47.3	6.89	0.984	73.2	0.2	17.6
25	36	1.12	2.12	22.99	1.63	0.21	2.35	0.84	52.62	35.5	4.54	13.9	168	8.69	56.35	7.01	41.3	7.04	0.976	59.5	3.2	11
26	35	1.22	2.22	26.84	1.62	0.22	2.55	0.99	53.47	57.15	2.73	22.2	132	9.47	58.03	7.1	42.49	7.09	0.98	69.8	0.9	18
27	3	1.15	2.15	32.54	1.45	0.15	2	0.64	54.43	57.85	2.15	24	355	9.65	60.56	7.31	40.2	7.11	0.978	69.2	1.1	18.4
28	7	1.19	2.19	21.51	1.72	0.29	1.6	0.71	53.72	52.32	4.48	23.9	160	9.73	54.67	7.26	40.97	7.21	0.977	64.5	1.3	13.4
29	14	1.24	2.24	27.21	1.63	0.17	2.5	0.67	52.53	61.28	1.11	24.2	366	9.58	59.28	7.03	47.28	6.97	0.985	71.1	0.5	18.5
30	20	1.22	2.22	25.65	1.65	0.2	2.48	1.03	53.66	28.41	5.22	9.9	176	9.16	58.45	7.24	43.64	7.11	0.984	53.3	4.6	9
31	33	1.16	2.16	19.89	1.73	0.23	2.44	0.62	51.32	61.04	1.03	19.2	150	10.34	56.36	7.01	44.77	6.96	0.98	72.2	0.7	14.5
32	37	1.27	2.27	27.86	1.64	0.27	2.58	1	54.34	55.56	2.93	22.1	138	9.2	60.39	7.32	40.26	7.29	0.98	67.6	1.1	17.1

Continuación Cuadro A4.

Mues	Ent	CAAN	RMN	PPTN	RTN	TENN	Sólidos	Dur_nix	H_nix	CLN	CaN	CbN	V_nej	PH_Nej	H_mas	PH_mas	H_tor	PH_tor	aw	CLT	CaT	CbT
33	5	1.31	2.31	26.38	1.7	0.29	1.62	0.77	48.9	52.52	3.45	24.4	190	9.44	56.94	7.12	40.48	6.96	0.987	64.4	2.2	16.7
34	43	1.25	2.25	22.92	1.73	0.26	1.71	0.79	52.27	57.09	2.81	24.1	162	9.41	55.28	7.02	41.42	7.26	0.978	72.3	0.9	17.3
35	11	1.16	2.16	24.31	1.63	0.2	0.94	0.85	52.94	60.31	1.9	23.6	304	8.9	56.72	7.01	56.72	6.98	0.981	69.3	1.1	18.8
36	10	1.17	2.17	26.52	1.6	0.21	3.25	0.57	52.23	61.9	1.42	21.5	110	10.51	58.7	7.14	42.85	7.05	0.983	66.5	1.7	13.5
37	40	1.21	2.21	26.93	1.61	0.2	2.98	0.73	52.76	55.35	3.14	22.9	98	9.23	58.02	7.22	41.47	7.1	0.98	70.5	1.4	18.2
38	1	1.16	2.16	24.09	1.64	0.2	1.54	0.86	55.28	53.47	4.93	24.8	200	8.23	55.59	7.65	39.96	7.74	0.977	68.1	2.5	22.5
39	8	1.28	2.28	24.2	1.73	0.25	1.53	0.59	43.5	44.4	5.22	20.9	484	9.3	56.11	7.05	43.11	7.1	0.983	63.2	3.3	17.6
40	23	1.19	2.19	24.73	1.65	0.22	2.43	0.96	53.11	63.28	0.47	22.3	146	9.63	57.08	6.86	41.67	7	0.983	64.1	2.9	13
41	30	1.09	2.09	24.16	1.58	0.32	2.55	0.91	52.9	61.73	0.64	20.6	130	8.84	53.98	6.94	38.44	6.88	0.974	75	0.4	17.1
42	39	1	2	18.99	1.62	0.17	1.38	1.11	46.3	60.62	1.92	21.4	406	9.44	54.5	7.34	42.5	7.36	0.982	70.3	0.8	17.8
43	6	1.18	2.18	27.9	1.57	0.11	3.82	0.71	55.41	61.23	0.56	20.3	240	9.54	56.41	7.37	43.21	7.15	0.973	68.4	1	16.5