

00528  
12



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

CARACTERIZACION DE MAICES CRIOLLOS PARA DETERMINAR SU APLICACION INDUSTRIAL

**TESIS MANCOMUNADA**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**QUIMICA DE ALIMENTOS**  
P R E S E N T A N :  
**BARRERA AVILES ANA BERENICE DE LA HERRERA PAZ ROCIO**



MEXICO, D.F.



EXAMENES PROFESIONALES FAC. DE QUIMICA

2003

1



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## JURADO

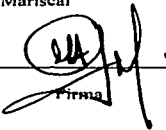
|               |        |                                 |
|---------------|--------|---------------------------------|
| Presidente    | Profa. | Amanda Gálvez Mariscal          |
| Vocal         | Profa. | Bertha Julieta Sandoval Guillén |
| Secretario    | Prof.  | Alfredo Salazar Zazueta         |
| 1er. suplente | Profa. | María Teresa Plata Jiménez      |
| 2do. suplente | Profa. | Karla Mercedes Díaz Gutiérrez   |

### Lugar donde se desarrollo este trabajo:

Departamento de Alimentos y Biotecnología de la Facultad de Química,  
UNAM, Laboratorio 312, Conjunto E.

### Asesor del tema:

Dra. Amanda Gálvez Mariscal


  
Firma

### Sustentantes:

Barrera Avilés Ana Berenice De La

  
Firma

Herrera Paz Rocío

  
Firma

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por la oportunidad de ampliar nuestros conocimientos y formarnos como profesionistas en la excelencia de su Institución.

A la Dra. Amanda Gálvez, por su apoyo, orientación, conocimientos compartidos y gran amistad que nos ha brindado hasta el final.

A la Dra. Maricarmen Quirasco, por la asesoría y los consejos acertados compartidos a lo largo del proyecto.

A la M. en C. Idalia Flores, por su asesoría en la realización del análisis estadístico.

A la Asociación Nacional Asistencia Social Productiva A. C., por asignarnos el proyecto y proporcionarnos las muestras de maíz.

Al Dr. Mc Cleary y a Gary Power de Megazyme International por proporcionarnos el kit enzimático para la determinación de almidón.

A la Dra. Carmen Labastida, por su ayuda en la determinación de perfil de ácidos grasos.

A la M. en C. Lucía Cornejo, QFB Lourdes Osnaya, QFB Agustín Reyo, QFB Julieta Sandoval y M. en C. Ángeles Valdivia, por permitirnos hacer uso de sus instalaciones para realizar las pruebas físicas de este trabajo.

Al Lic. José Enrique Tron de la Concha de la Cámara Nacional del Maíz Industrializado, por compartir con nosotros sus conocimientos y sus experiencias.

Al Sr. Gregorio Contreras de la Cámara Nacional del Maíz Industrializado, por proporcionarnos el directorio industrial.

Al Dr. Gregorio Martínez del Centro de Investigación y Mejoramiento de Maíz y Trigo, por su valiosa ayuda e información y por la visita a las instalaciones de su institución.

Al Ing. Freddy Castro de MASECA, Alejandro Marín de Grupo MINSA, Ing. en Alimentos Adriana Palma de Maizoro, Ing. Víctor Zamora e Ing. Ernesto Maya de Almidones Mexicanos S. A., y a la Lic. Viviana de Quevedo de Sabritas, por la información compartida.

## **Dedicatorias**

A Dios, por la oportunidad de estar aquí y ahora.

A mis padres, por todo su amor, apoyo, comprensión, confianza y por la libertad brindada incondicionalmente.

A mis hermanos, por todos esos momentos de acompañamiento apoyo y comprensión tan oportunos.

A mis abuelitos, tíos y tías, por esas palabras de aliento y apoyo moral a pesar de la distancia y el tiempo.

A mis QA´tes, porque redefinieron el concepto de amistad, solidaridad y trabajo en equipo en mi vida.

A las Buenas Peras, por todas las lecciones de vida y por compartir todos esos mágicos momentos.

A las de batalla, por todos esos maravillosos momentos y la creación de increíbles anécdotas.

A mis amigas y amigos, por siempre estar ahí.

A Rocío, por tu amistad, tolerancia y apoyo incondicional.

Gracias a todos porque gracias a ustedes soy lo que soy.

Ana Berenice De La Barrera Avilés.

## **Dedicatorias**

A Dios, por permitir que todo sea posible.

A mis padres, por su apoyo y cariño incondicionales; por celebrar todos mis logros y ayudarme a superar los obstáculos.

A mis hermanos, porque a lo largo de mi vida han sido el apoyo más grande y la opinión más sincera.

A mis abuelos, tíos y primos, por ser parte de mi vida y permitirme ser parte de su vida.

A mis amigos del Colegio México, porque a pesar de la distancia han creído en mí y están a mi lado en los momentos más importantes.

A mis amigos QA's, no me alcanza el espacio para nombrarlos a todos y además decir lo que he aprendido de cada uno, simplemente gracias por sus consejos y por los momentos inolvidables que espero que no se terminen.

A mis amigos de la Facultad de Química que no son QA's (ustedes saben quiénes son), porque a pesar de la diferencia de carreras me han brindado su amistad sincera y han hecho que esta etapa sea increíble.

A Berenice, mi compañera de tesis, porque a pesar de todo, recorriste este difícil camino hasta el final.

Cada uno de ustedes ocupa un lugar muy especial y único en mí, con cariño

**Rocío Herrera Paz**

## **Índice General**

|  | Página |
|--|--------|
| 1. RESUMEN   | 10     |
| 2. INTRODUCCIÓN  | 11     |
| 2.1 Justificación                                      | 12     |
| 3. OBJETIVOS   | 15     |
| 3.1 General  | 15     |
| 3.2 Particulares                                       | 15     |
| 4. ANTECEDENTES  | 16     |
| 4.1 El Maíz  | 16     |
| 4.2 Origen del Maíz                                    | 19     |
| 4.3 Diferencias entre los términos Raza y Variedad     | 22     |
| 4.4 Clasificación del Maíz                             | 23     |
| 4.5 Composición del grano de maíz                      | 27     |
| 4.6 Importancia del maíz                               | 31     |
| 4.6.1 Importancia del maíz en México                   | 32     |
| 4.7 Necesidad de conservar variedades criollas de maíz | 33     |
| 4.8 Usos más comunes de la planta de maíz              | 34     |
| 4.9 Industrialización y Aplicaciones del maíz          | 35     |
| 4.9.1 Industria básica                                 | 35     |
| 4.9.2 Industria complementaria                         | 35     |
| 4.9.2.1 La industria molinera en húmedo                | 36     |
| 4.9.2.2 La industria molinera en seco                  | 40     |
| 4.9.2.3 La industria del nixtamal                      | 41     |
| 4.9.2.4 Otras aplicaciones                             | 42     |
| 5. MATERIALES Y MÉTODOS                                | 45     |
| 5.1 Determinaciones Físicas                            | 48     |
| 5.1.1 Densidad por volumen                             | 48     |
| 5.1.2 Peso de Mil Granos                               | 49     |
| 5.1.3 Índice de Flotación                              | 49     |
| 5.1.4 Remoción de Pericarpio                           | 50     |
| 5.1.5 Dureza del Endospermo                            | 52     |
| 5.1.5.1 Por abrasión                                   | 53     |
| 5.1.5.2 Por golpeo                                     | 53     |
| 5.2 Determinaciones Fisicoquímicas                     | 55     |
| 5.2.1 Contenido de Cenizas                             | 55     |
| 5.2.2 Contenido de Fibra Cruda                         | 55     |
| 5.2.3 Contenido de Proteína                            | 56     |
| 5.2.4 Contenido de Grasa (Aceite)                      | 57     |
| 5.2.5 Perfil de Ácidos Grasos                          | 57     |
| 5.2.6 Contenido de Almidón                             | 60     |
| 5.2.7 Contenido de Humedad                             | 65     |



|  | Página     |
|--|------------|
| <b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>             | <b>67</b>  |
| 6.1 Determinaciones Físicas                  | 68         |
| 6.1.1 Densidad por volumen (DV)              | 69         |
| 6.1.2 Peso de Mil Granos (PMG)               | 71         |
| 6.1.3 Índice de Flotación (IF)               | 73         |
| 6.1.4 Dureza del Endospermo (DG y DA)        | 74         |
| 6.1.5 Remoción de Pericarpio (RP)            | 75         |
| 6.2 Determinaciones Físicoquímicas           | 81         |
| 6.2.1 Contenido de Humedad                   | 81         |
| 6.2.2 Contenido de Cenizas                   | 82         |
| 6.2.3 Contenido de Fibra Cruda               | 83         |
| 6.2.4 Contenido de Proteína                  | 84         |
| 6.2.5 Contenido de Almidón                   | 86         |
| 6.2.6 Contenido de Grasa (Aceite)            | 87         |
| 6.2.7 Perfil de Ácidos Grasos                | 88         |
| <b>7. APLICACIÓN INDUSTRIAL RECOMENDADA</b>  | <b>93</b>  |
| 7.1 Industria del Nixtamal                   | 94         |
| 7.2 Industria de las Botanas                 | 96         |
| 7.3 Industria del Almidón y sus subproductos | 96         |
| 7.4 Industria del Aceite                     | 97         |
| 7.5 Industria de los Cereales de desayuno    | 98         |
| <b>8. CONCLUSIONES</b>                       | <b>99</b>  |
| <b>9. PERSPECTIVAS</b>                       | <b>102</b> |
| <b>10. BIBLIOGRAFÍA</b>                      | <b>103</b> |
| <b>ANEXOS</b>                                | <b>107</b> |
| 1. Muestras de las variedades estudiadas     | 108        |
| 2. Variedades de maíz GM en México           | 114        |
| 3. Cromatogramas de cada variedad            | 116        |
| 4. Normas Mexicanas utilizadas               | 122        |
| 5. Detalle de la metodología empleada        | 125        |

### **Índice de Tablas**

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Composición del grano y estructuras anatómicas                    | 29 |
| Tabla 2. Valor nutritivo de las diferentes clases de maíz por 100g de peso | 30 |
| Tabla 3. Productos de la fermentación de maíz                              | 44 |
| Tabla 4. Variedades estudiadas de maíz criollo                             | 45 |
| Tabla 5. Determinaciones realizadas a cada variedad                        | 46 |
| Tabla 6. Densidad por volumen  | 77 |
| Tabla 7. Peso de Mil Granos  | 80 |
| Tabla 8. Índice de Flotación   | 81 |
| Tabla 9. Dureza por Golpeo   | 83 |
| Tabla 10. Escala de valores de la norma de nixtamalización                 | 84 |

|  |               |
|--|---------------|
| Tabla 11. Remoción de Pericarpio   | 85            |
| Tabla 12. Determinaciones Físicas  | 88            |
| Tabla 13. Contenido de Humedad   | 89            |
| Tabla 14. Contenido de Cenizas   | 90            |
| Tabla 15. Contenido de Fibra Cruda   | 91            |
|  | <b>Página</b> |
| Tabla 16. Contenido de Proteína  | 93            |
| Tabla 17. Contenido de Almidón   | 94            |
| Tabla 18. Contenido de Grasa (Aceite)  | 96            |
| Tabla 19. Perfil de Ácidos Grasos  | 98            |
| Tabla 20. Análisis Químico Proximal (Base Seca)  | 100           |
| Tabla 21. Especificaciones para la importación de maíz blanco y amarillo de Estados Unidos de Norteamérica (ANDSA) | 101           |
| Tabla 22. Recomendación de la aplicación industrial  | 107           |

### **Índice de Figuras**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Planta de maíz                                 | 16 |
| Figura 2. Mazorcas de diferentes colores                 | 18 |
| Figura 3. Teocinte                                       | 21 |
| Figura 4. Maíz Tunicado                                  | 21 |
| Figura 5. Flores con Glumas                              | 24 |
| Figura 6. Esquema del grano de maíz                      | 28 |
| Figura 7. Comparación del tamaño y color de los granos   | 78 |
| Figura 8. Comparación del germen del maíz Tipo Colorado  | 78 |
| Figura 9. Ennegrecimiento del pedicelo del grano de maíz | 79 |
| Figura 10. Imágenes de Remoción de Pericarpio            | 86 |

## **1. Resumen**

Desde tiempos ancestrales el maíz ha sido fuente y base de la alimentación en Latinoamérica. Gracias a su capacidad de adaptarse a una gran variedad de condiciones, en algunos casos extremas, el maíz ha logrado mantener aquellas características que lo hacen la parte fundamental de la dieta pues es la principal fuente de carbohidratos y energía de diversas culturas. Además, este cultivo ha sido objeto de múltiples experimentos genéticos para tener aun mayor expresión de sus propiedades nutricias, mejores rendimientos y mayor adaptabilidad, lo cual ha tenido mucho éxito a nivel industrial. Sin embargo, se ha ido perdiendo el interés por mantener la mayor cantidad posible de variedades criollas, mismas que son resultado de una evolución paulatina y natural.

En México existen asociaciones de productores de maíz criollo preocupados por su caracterización, ya que las formas de comercio del TLCAN han privilegiado en aplicaciones industriales, el uso de las variedades amarillas que son importadas y además contienen un porcentaje importante de granos transgénicos. Esto ha traído como consecuencia una disminución de competitividad comercial, que a su vez lleva a una disminución de las aplicaciones sustentables de los criollos y por lo tanto afecta la permanencia en la naturaleza del germoplasma nativo. Con este estudio se pretende proponer una serie de pruebas que faciliten la labor de caracterizar las variedades criollas para usos industriales.

En el presente trabajo se manejaron algunas técnicas para lograr la caracterización de seis variedades criollas. Estas pruebas están divididas en dos categorías: las pruebas físicas en las que se incluyen dureza del endospermo, índice de flotación, Densidad por volumen, peso de mil granos y remoción de pericarpio, las cuales brindan información acerca de la calidad de almacenamiento y transporte que sufrió el grano; y las pruebas fisicoquímicas dentro de las que se encuentran contenido de proteína, perfil de ácidos grasos contenido de grasa (aceite), contenido de fibra cruda, contenido de humedad, contenido de cenizas y contenido de almidón, las cuáles dan información acerca de la composición y por lo tanto de la posible aplicación industrial para cada una de las variedades de maíz.

El desarrollo de las pruebas físicas hizo posible reconocer que dos de las variedades caracterizadas sufrieron daños durante el cultivo y las operaciones unitarias realizadas entre la cosecha y su llegada al laboratorio.

Con la realización de las determinaciones fisicoquímicas se cuantificaron los parámetros requeridos por la industria y, con éstos resultados, se orientó cada variedad a la aplicación industrial más idónea.

## **2. Introducción**

Durante siglos el maíz fue considerado como un cereal de autoconsumo en el cual los aspectos de calidad no tenían mayor efecto, ya que su procesamiento se llevaba a cabo a nivel casero o a nivel artesanal, donde las amas de casa o los dueños de las tortillerías ajustaban las condiciones de cocción al tipo de maíz que procesaban, sin embargo, en los últimos años el maíz se ha incorporado a diferentes procesos industriales, por lo que el conocer las características de calidad del grano han cobrado importancia.

La calidad del grano de maíz está asociada tanto con su constitución física, que determina la textura y dureza, como de su composición química, que define el valor nutricional y las propiedades tecnológicas. La importancia relativa de estas características es que, de ellas, resulta el destino de producción de cada variedad de maíz. Los mercados son cada vez más exigentes y se interesan por una composición homogénea, el contenido de proteínas, aminoácidos, almidón, aceites y demás componentes, y paulatinamente se reduce la tolerancia a sustancias contaminantes. Para las industrias que emplean maíz, su calidad y propiedades tecnológicas son una preocupación fundamental. En general, la industria requiere de granos sanos, limpios, uniformes de tamaño, textura y color, así como contenidos uniformes de aceite y de almidón.

La diversidad natural de los maíces criollos no se conoce a fondo, y aparentemente estas variedades no resultan convenientes en la industria, por lo que resulta importante determinar la calidad de las mismas para poder canalizarlas a diversas aplicaciones de una manera sencilla y reproducible. La calidad tecnológica de un grano

varía según el destino de la producción, y está relacionada con la técnica de transformación y los procesos de fabricación industrial. Para la industria de la molienda seca se necesitan granos de maíz medianamente duros, ya que en esta industria interesan la dureza del endospermo y la relación de tamaños de partícula que resulta de la molienda. La industria de la molienda húmeda tiene exigencias de calidad diferentes de los de la molienda seca, inclinándose por los tipos de maíz dentado, ya que exigen menor tiempo de maceración en los procesos de extracción. Se requieren entonces, maíces con elevado contenido de almidón, interesando especialmente su pureza y su eficiencia de recuperación, y granos con alto contenido de proteína o aceite.

### **2.1 Justificación del proyecto:**

La industria nacional requiere al maíz en tres rubros principales: Nixtamal, molienda en húmedo y molienda en seco. Cada rubro tiene necesidades específicas respecto a las características de la materia prima. La normatividad existente no alcanza a cubrir todas las características que sería relevante conocer de antemano en las variedades de maíz que se pueden utilizar.

Por otro lado, las importaciones de maíz amarillo de las cuotas del TLC proveen de materia prima, principalmente para la industria de la molienda húmeda y la seca, que resulta homogénea puesto que en ese país se siembran muy pocas variedades amarillas.

Lo anterior ha sesgado a la industria que, por simplicidad, prefiere adaptar sus procesos a las razas de maíz amarillo importadas, disminuyendo las oportunidades de utilizar variedades criollas que intrínsecamente son cambiantes.

Esto ha traído como consecuencia que se conozcan solo vagamente las posibilidades de aplicar variedades criollas en la industria y, por lo tanto, se disminuyen las posibilidades de aprovecharlas y se han desplazado del mercado por las variedades amarillas.

En México, existe la Asociación de Productores Asistencia Social Productiva A. C. (ASPAC) que es una agrupación que conglopera a productores de maíz criollo del centro del país a la que le interesa conocer las posibilidades de vender con más ventajas los granos que producen sus miembros, si se conocen sus características fisicoquímicas en el marco de las aplicaciones industriales modernas.

La ASPAC sugirió una serie de técnicas a realizar para la caracterización de las variedades de maíz, sin embargo se consideró importante efectuar en este trabajo algunas determinaciones más para tener un mayor conocimiento de cada variedad y mejores elementos de juicio para recomendar posibles aplicaciones industriales. La mayor parte de las técnicas elegidas se realizaron utilizando la metodología oficial dictada por la AACC (American Association of Cereal Chemists), o bien por la AOAC (Association of Oficial Analytical Chemists).

Es importante mencionar que el mercado actual del maíz se ha expandido grandemente a los Estados Unidos y a Europa, pues las tendencias globales en alimentación demandan maíces de color, maíces blancos y maíces no transgénicos para

satisfacer las demandas de la industria de botanas orgánicas, de tortillas para marcas de calidad o "*delicatessen*", de botanas con un valor agregado por ser hechas a partir de variedades "menos industrializadas" o nativas.

Todo lo anterior requiere de un mejor conocimiento de las variedades de criollos mexicanos. Este trabajo pretende dar inicio al examen de seis variedades con una serie de análisis que permitan orientar, de una manera científica y objetiva, sus aplicaciones potenciales.

### **3. Objetivos:**

#### **3.1 General:**

Caracterizar seis variedades de maíz criollo para determinar las propiedades que posee cada una de ellas y lograr orientarlas a las aplicaciones que mejor se adecuen en la Industria Alimentaria.

#### **3.2 Particulares:**

- 3.2.1 Seleccionar las determinaciones analíticas más importantes a realizar para la caracterización de cada variedad de maíz, de acuerdo a la propuesta de la ASPAC y a la revisión bibliográfica.
- 3.2.2 Montar una serie de técnicas oficiales y otras que no lo son, pero que resultan necesarias para lograr la caracterización de las variedades de maíz criollo.
- 3.2.3 Proponer las aplicaciones para cada variedad de maíz criollo de acuerdo a las exigencias de la industria.



#### **4. Antecedentes**

##### **4.1 El maíz**

El maíz es una planta herbácea o una especie de pasto, con raíz ramificada y un tallo central con nudo y entrenudos llamados cañutos (ver figura 1). De cada nudo nace una hoja que envuelve parcialmente el entrenudo y después continúa en forma libre. En la parte final del tallo aparece la inflorescencia masculina o espiga, productora del polen. Las mazorcas, generalmente una, en ocasiones dos y excepcionalmente tres, crecen a partir de los nudos de la parte media del tallo (Bartolini, 1990).



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Figura 1. Planta de maíz

De acuerdo con la raza, las mazorcas tienen de 8 a 16 hileras de granos y en cada una de ellas de 8 a 70 granos o semillas; algunas mazorcas llegan a tener mil o

más granos. Estos pueden ser de muy diferentes formas y colores; a veces nacen de modo aparentemente arbitrario, rompiendo el orden de las hileras y mezclando todos los colores, que pueden ir del blanco a distintos tonos de amarillo, rojo, violeta y azul.

Los contenidos de carbohidratos, aminoácidos, minerales y vitaminas varían en cada raza. También son distintos sus periodos de maduración (temprana, media y tardía) y sus resistencias a plagas, sequías, heladas, vientos, etc. Algunas razas se conocen desde hace mucho tiempo y deben haber sido las primeras que se cultivaron de un modo regular y sistemático.

Existen variedades en las que el tamaño de la planta es de sólo 80 cm, otras alcanzan hasta cinco metros de altura; tienen diferentes grados de resistencia a la sequía, los vientos, las heladas, la humedad o el calor excesivos; distinta adaptabilidad a la riqueza y textura de los suelos, a la altitud, a la latitud y a la pendiente del terreno. Es obvio que cada variedad tiene rendimientos propios, pero en los ambientes que les corresponden producen cantidades suficientes para la supervivencia de quienes las siembran (Bartolini, 1990).

Desde este punto de vista, es el cereal que en forma natural tiene mayor adaptación. Puede ser cultivado en climas que van desde los ecuatoriales hasta los subárticos y en altitudes desde el nivel del mar hasta los 3500 metros. Los avances agronómicos han permitido que otros cereales se acerquen a esta capacidad natural de adaptación del maíz. El maíz tiene propiedades alimentarias muy similares a las de otros cereales. Los contenidos de carbohidratos totales del maíz son ligeramente menores que los del arroz y el trigo, pero el contenido de grasas es mayor (Centro de Investigaciones Agrarias, 1980).

Algunos de los colores que puede presentar el grano de maíz se ilustran en la figura 2.



Figura 2. Mazorcas de diferentes colores.

- a. Color rojo, con diversas intensidades, variando desde el rosa, el rojo muy claro, hasta poco a poco, llegar al rojo intenso.
- b. Morado, variando desde el muy claro o lila, el azul, el púrpura, hasta el casi negro.
- c. Amarillo, con diversas intensidades, desde el muy claro o crema, hasta el muy amarillo y naranja intenso.
- d. Blanco o incoloro, ligeramente crema, con variaciones como blanco intenso, blanco sucio, poco ahumado o ligeramente café.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

e. Una mazorca puede tener todos los granos de un color uniforme y único, o puede tener granos de varios colores en la misma mazorca y se le llama maíz "pinto" (Reyes, 1990).

López H. A. (1978) analizó el color del grano de maíz y su relación con la precocidad y concluyó que el maíz de color blanco es más tardío que el amarillo y azul consecutivamente, por lo cual en siembras retrasadas en Valle Alto, los agricultores acostumbran emplear maíz azul o amarillo, a diferencia del maíz blanco que es empleado cuando el temporal (temporada de lluvias) se establece con normalidad y deja un lapso más largo para el desarrollo del cultivo.

#### **4.2 Origen del maíz**

Existen varias teorías acerca del origen del maíz. La familia de las gramíneas, a la cual pertenece el maíz, comprende varios miles de especies, agrupadas en unas 20 tribus. Algunos botánicos dicen que el maíz pertenece a la tribu *Maydeae*, que se divide en tres grandes grupos. A su vez, uno de éstos comprende tres géneros: *Zea* (maíz) *Euchlaena* (teocinte) y *Tripsacum*, que son originarios de América. El segundo grupo tiene sólo un género, *Coix*, que proviene del sudeste de Asia. El tercero incluye tres o cuatro géneros poco estudiados aún. En realidad nada puede decirse sobre el parentesco entre esos tres grupos, aunque entre los tres géneros de origen americano sí hay un parentesco cercano (Kato, 1976).

El maíz se cruza fácilmente con las diferentes especies del teocinte (las anuales y las perennes) y que éste también se cruza, aunque sólo en condiciones de laboratorio muy especiales, con el *Tripsacum*.

Con base en estos hechos se han formulado las diversas teorías para explicar el origen del maíz (Sánchez y Chuela, 1995).

1. Una de ellas propone que el teocinte es su antepasado silvestre. Ambas plantas se parecen tanto que es fácil llegar a esa conclusión. Sin embargo, hay serios fundamentos en contra. El principal es que el teocinte no posee buenas características nutricias. Sus semillas son pequeñas y están envueltas en una capa muy dura, y el trabajo para romper el grano y convertirlo en harina es muy superior a su valor nutritivo (ver Figura 3). Además el teocinte es una planta más especializada que el maíz, y es difícil que hayan ocurrido muchas mutaciones en un corto periodo y que aquellos recolectores hubieran podido iniciar en ese lapso la domesticación del mutante preciso. No hay pruebas de que el maíz proviene del teocinte pero no se puede excluir esa posibilidad, ya que el teocinte tiene compatibilidad sexual con el maíz.

2. El maíz proviene del maíz tunicado o *Zea tunicata*, una variedad muy peculiar en la que cada grano está envuelto en pequeñas hojas, similares a las que cubren la mazorca (ver Figura 4). Casi nada se sabe de la historia de este maíz. Se cultiva en raras ocasiones, más como curiosidad científica que como recurso económico. Esta teoría postula que el maíz tunicado evolucionó por domesticación hasta convertirse en el maíz actual y que el teocinte es resultado de la hibridación entre el maíz y el *Tripsacum* proviene de un antecesor común y han evolucionado en forma divergente. Se parte del hecho de que en las zonas altas de Mesoamérica el teocinte y el *Tripsacum* crecen en forma silvestre, lo cual coincide con los lugares en que se supone nació el maíz. Según esta teoría, en una época temprana una mutación hizo que el *Tripsacum* se independizara del antecesor común, lo cual permite explicar las

dificultades para hibridarlo con el teocinte y el maíz actuales. Estas dos últimas plantas quedaron, a su vez, separadas cuando se inició la domesticación de la segunda. Sin embargo, su parentesco es tan cercano que se infertilizan con mucha frecuencia y relativa facilidad (Sánchez y Chuela, 1995).



Figura 3. Teocinte

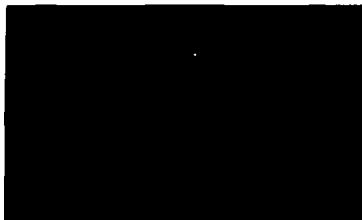


Figura 4. Maíz Tunicado

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Lo que subyace en estas teorías principales es que el maíz, tal como se le conoce cuando menos desde hace unos 4000 años, es producto del trabajo humano. Es una planta muy especializada, capaz de adaptarse a las más diversas condiciones ecológicas y de rendir las más altas producciones por unidad de semilla y de área sembrada. Al mismo tiempo, está impedida para autorreproducirse; es una planta creada por el hombre, de quién depende para su perpetuación. El maíz moriría irremisiblemente si no tuviera los cuidados constantes del hombre que remueve la tierra, que lo cosecha y que lo siembra. A diferencia del trigo y de los demás cereales que sirven de alimento, el maíz no se halla en estado silvestre y nunca ha podido evadir la mano del hombre para crecer libre. El viento no puede esparcir la semilla sembrándola en el suelo. Aunque muy vigorosas, descuidadas por el hombre las plantas jóvenes serían en breve aniquiladas por otros vegetales (Llanos, 1984).

#### **4.3 Diferencias entre los términos raza y variedad**

Los términos raza y variedad quedan mejor expresados con las siguientes definiciones:

**RAZA.-** Poblaciones de individuos de una misma especie con genotipos similares; que manifiestan ciertos rasgos diferenciales, heredables, y que a su vez, permiten separarlos de otras poblaciones. La formación de razas diferentes se origina por distintas modalidades de aislamiento que restringen la reproducción a un cierto número de individuos; estas barreras generalmente son ecológicas en naturaleza. Dentro de una raza hay alto número de variedades.

**VARIEDAD.-** Grupo de individuos de una especie y raza con rasgos diferenciales más estrechos que aquellos manifestados por las razas. Las variedades agronómicas son producto de la selección humana que tiende a formar grupos de plantas similares con tendencia a su explotación económica. Las variedades se cruzan libremente y forman poblaciones diferenciales.

El nombre común de una variedad es por su lugar de origen o son denominaciones autodescriptivas. Hay variedades nativas y son aquellas que se originaron en un lugar determinado y ahí evolucionaron; las variedades criollas son las introducidas y adaptadas a las condiciones existentes en el lugar de adopción, que multiplicándose libremente y por selección natural o dirigida han logrado producciones aceptables para los agricultores (Wellhausen et al, 1951).

En México, las miles de variedades dispersas en su territorio se han agrupado en 30 razas y 6 subrazas; 25 bien definidas y 5 que se encuentran en estudio (Reyes, 1990).

#### **4.4 Clasificación del maíz**

El maíz se puede clasificar desde el punto de vista botánico o taxonómico, comercial, especial y en función de su calidad.

La clasificación botánica es la siguiente:

- Grupo de las Fanerógamas (planta con flores)
- 13ª división Espermatofitas ( plantas con una sola hoja cotiledonar)
- Subdivisión Angiospermas ( plantas con óvulos encerrados en el ovario)



- Clase Monocotiledóneas (plantas con un solo cotiledón)
- Orden Glumífloras (plantas que contienen flores con glumas [Quer, 1982], ilustradas en la figura 5)
- Familia Gramíneas (plantas anuales o perennes con polen libre)

Desde el punto de vista taxonómico el maíz pertenece a la familia *Gramineae*, subfamilia *Panicoideae*, tribu *maideae* (o *Andropoganeae*, si se juntan ésta y *Maydeae*), género *Zea* y especie *mays* (Bartolini, 1990).



Figura 5. Flores con Glumas

Desde el punto de vista comercial o de compra-venta, el maíz se clasifica de la siguiente manera: **maíz blanco** según la NMX-FF-034/1-SCFI-2002 es aquel que presenta un mínimo de 98% de granos blancos con un máximo de 2% de otras variedades de granos claros (amarillos, cremosos, pajizos, grisáceos o rosados) y un máximo de 1% de granos oscuros (rojos, azules, marrones y negros), la suma de

ambos no debe rebasar el 2%. Este tipo de maíz es el preferido de las industrias harineras por el color que le confiere al producto final.

El **maíz amarillo** según el PROY-NMX-FF-034/2-SCFI-2002 es aquel que contiene un mínimo de 95% de granos amarillos y un máximo de 5% de granos de otro color, los granos amarillos con ligeras pigmentaciones rojas también se consideran maíz amarillo; este tipo de maíz es el preferido por la industria almidonera por el contenido de gluten forrajero (Industria ganadera). También se puede utilizar para elaborar frituras de maíz por la coloración que le confiere al producto final.

El **maíz pinto** no está bien tipificado ya que esta variedad de maíz no es muy aceptada por la industria harinera (Llanos, 1984).

Desde el punto de vista estructural, la clasificación del maíz se basa en la calidad, cantidad y composición del endospermo, que están determinadas principalmente por variaciones en la organización y tipos de los gránulos de almidón, y se divide en:

➤ **Dentado**, el cual se caracteriza por una depresión o "diente" en la corona de la semilla y posee endospermo córneo o duro a los lados y detrás del grano y la porción harinosa se encuentra en la zona central y la corona del grano. Se utiliza principalmente como alimento animal, materia prima industrial y alimentación humana;

➤ **Cristalino**, los granos son duros, lisos y contienen poco almidón suave. Sin embargo, las cantidades relativas de almidón suave y córneo varían en diferentes variedades. En las zonas templadas, el maíz cristalino a menudo es más precoz, germina mejor. La planta tiene vigor temprano y más hijuelos que las variedades dentadas, y se utiliza como alimento animal y humano;

➤ **Harinoso**, que no posee endospermo cristalino y se utiliza en México para la elaboración de platillos típicos como el pozole;

➤ **Dulce**, caracterizado por una apariencia translúcida y córnea cuando está inmaduro y por una condición vítrea cuando está seco y en donde la conversión del azúcar en almidón se retarda durante el proceso de desarrollo del endospermo y en Estados Unidos (principalmente) se consume como vegetal fresco o en estado lechoso-masoso; y

➤ **Palomero o reventón**, que contiene un maíz cristalino muy duro y muy poco almidón harinoso, además se emplea para consumo humano.

La clasificación especial se refiere a aquellos maíces que han sido modificados genéticamente para producir variaciones en el almidón, proteína, aceite u otras propiedades.

Las variedades más utilizadas son el maíz céreo y el de alta amilosa. En el caso del maíz **céreo, ceroso o waxy**, el almidón es 100% amilopectina, mientras el del maíz común contiene 73% de amilopectina y 27% de amilosa. Estos almidones se utilizan como estabilizadores y espesantes en panes, salsas, pasteles y aderezos de ensaladas, además de emplearse como adhesivo en la industria papelera en el papel engomado. El maíz de alta amilosa contiene un 50% de amilosa y se usa en la industria húmeda del maíz (industria textil y como adhesivo en la manufactura de cartón corrugado).

Existe otro tipo de maíz: el **tunicado**, en el que cada grano está encerrado en una túnica o vaina y cuya mazorca está envuelta en espatas. El maíz tunicado no se cultiva comercialmente (Jugenheimer, 1981).

Para clasificarlo de acuerdo a su calidad se toma en cuenta la composición física-química-genética del grano de maíz. El endospermo es un componente muy importante del grano de maíz y se clasifica en: *harinoso*: de consistencia suave y de apariencia opaca. Representa el 34% del peso total del endospermo y *córneo*: de consistencia dura y apariencia traslúcida que representa el 66% del peso total del endospermo y que contiene 1.5 o 2 % más de contenido de proteínas que el harinoso. La diferencia estructural entre ambos endospermos tiene un significado importante para la molienda seca y húmeda del maíz, ya que la desintegración del córneo se dificulta y la del harinoso resulta sencilla.

#### **4.5 Composición del grano de maíz**

La planta del maíz produce mazorcas, las cuales están conformadas por hileras de lo que comercialmente se conoce como "granos". Al grano se le conoce botánicamente con el nombre de "cariópside" y desde el punto de vista agrícola se le conoce como "semilla". El grano del maíz se compone de las siguientes partes:

*Pericarpio*. Cubierta del fruto, de origen materno, se conoce como hollejo o cáscara.

*Aleurona*. Capa de células del endospermo de naturaleza proteica.

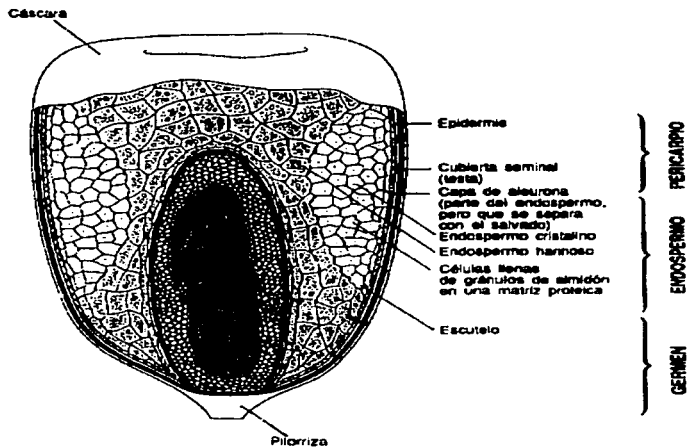
*Endospermo*. Tejido de reserva de la semilla que alimenta al embrión durante la germinación. Es la parte de mayor volumen. Dos regiones bien diferenciadas hay en el endospermo, suave o harinoso y endospermo duro o endospermo vítreo. La proporción depende de la variedad.

*Escutelo o cotiledón*. Parte del embrión.

**Embrión o germen.** Planta en miniatura con la estructura para originar una nueva planta, al germinar la semilla.

**Capa terminal o piloriza.** Parte que se une al olote, con una estructura esponjosa, adaptada para la rápida absorción de humedad. Entre esta capa y la base del germen se encuentra un tejido negro conocido como capa hilar, la cual funciona como un mecanismo sellante durante la maduración del grano (Reyes, 1990).

Un esquema de la composición del grano de maíz se observa en la figura 6.



(Facilitado por el Wheat Flour Institute, Chicago, Illinois, 1964)

Figura 6. Esquema del grano de maíz

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La composición química del grano es variable y está relacionada con el estado, raza, variedad, tecnología del cultivo, clima, parte del grano que se analice, técnicas y métodos de análisis. El endospermo conforma el 82% del grano, el pericarpio el 6% y el embrión el 12% (Reyes, 1990).

La composición promedio en el grano entero y en sus principales estructuras anatómicas se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Composición del grano y estructuras anatómicas.

| Componente        | Grano entero (%) | Pericarpio (%) | Endospermo (%) | Germen (%) |
|-------------------|------------------|----------------|----------------|------------|
| Humedad           | 16.70            | N.D.           | N.D            | N.D.       |
| Almidón           | 71.50            | 7.3            | 87.6           | 8.3        |
| Proteína (Nx6.25) | 9.900            | 3.7            | 8.0            | 18.4       |
| Extracto etéreo   | 4.780            | 1.0            | 0.8            | 33.2       |
| Fibra cruda       | 2.260            | 86.7           | 2.7            | 8.8        |
| Azúcares totales  | 2.580            | 0.34           | 0.62           | 10.8       |
| Cenizas           | 1.320            | 0.8            | 0.3            | 10.5       |

N.D.=Datos no disponibles.

Fuente: Watson, A., E. Ramstad, 1987. Chemistry and Technology. Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul, Minnesota. USA. P. 605

En el endospermo se encuentra la mayor cantidad de almidón; contiene las proteínas albúminas, globulinas, prolamina (zeína) y gluteninas (gluten de maíz) junto con escasas cantidades de grasa, cenizas y azúcares. El germen contiene la mayor cantidad de aceite, así como almidón, cenizas y azúcares. Tiene mayor valor nutritivo en las proteínas: albúminas, globulinas, gluteninas y escasa zeína. Por último, el pericarpio contiene almidón, grasa, proteínas, cenizas (sales de calcio, magnesio, fósforo, aluminio, hierro, sodio, potasio y cloro), azúcares y fibra (carbohidratos como celulosa y hemicelulosa).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En general, el maíz tiene alto valor nutritivo como fuente de energía, por su alto contenido de carbohidratos, pero no posee ni la cantidad ni la calidad suficiente de proteínas pues es deficiente en lisina y triptofano, además de ser insuficiente en vitaminas y minerales.

Un exceso del maíz en la dieta alimentaria predispone a la pelagra, enfermedad consistente en la inflamación superficial de la piel y trastornos digestivos y nerviosos, sin embargo, esta deficiencia puede ser contrarrestada mediante el consumo de leguminosas tales como el frijol, chícharo, haba, lenteja y soya; o bien, mediante el proceso tradicional de nixtamalización que permite que el cocimiento alcalino libere la niacina unida del maíz de su forma original (niacitina y niacínógeno) (Katz et al, 1974). Además los productos nixtamalizados tienen un mejor índice leucina - isoleucina que el maíz en su forma original (Koetz y Neukom, 1977).

Tabla 2. Valor nutritivo de las diferentes clases de maíz por 100 g de peso

| Conceptos         | Maíz blanco | Maíz amarillo | Maíz Cacahuacintle |
|-------------------|-------------|---------------|--------------------|
| Energía (Kcal.)   | 350         | 362           | 364                |
| Proteínas (g)     | 8.3         | 7.9           | 11.7               |
| Grasas (g)        | 4.8         | 4.7           | 4.7                |
| Carbohidratos (g) | 69.6        | 73.0          | 70.8               |
| Calcio (mg)       | 159         | 158           | 159                |
| Hierro (mg)       | 2.3         | 2.3           | 2.2                |
| Tiamina (mg)      | 0.36        | 0.34          | 0.31               |
| Riboflavina (mg)  | 0.06        | 0.08          | 0.24               |
| Niacina (mg)      | 1.9         | 1.6           | 3.1                |

Fuente: División de Nutrición del Instituto Nacional de la Nutrición, "Valor nutritivo de los alimentos mexicanos", México, 1977.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

#### **4.6 Importancia del maíz**

El maíz es una de las plantas más útiles al hombre por ser la base de la alimentación en Mesoamérica, además de ser un cultivo ancestral y poseer amplia biodiversidad, por lo que debe ser estudiado desde varios puntos de vista.

##### Académico - Científico

Es una planta que se aprovecha como recurso biológico y que explica teorías, principios y leyes que han contribuido en los avances de ciencias biológicas y sus aplicaciones en agronomía, en la creación de nuevas tecnologías y en el conocimiento de causas que explican los efectos en diversos caracteres de plantas y animales. Actualmente el maíz es la especie vegetal más manipulada genéticamente (GM). En México, actualmente se importan de los Estados Unidos mezcladas con maíz no transgénico, 20 variedades de maíz GM (ver Anexo 2) que son resistentes a insectos, tolerantes a herbicidas, y además se utiliza para expresar vacunas, proteínas, fármacos y productos industriales. Esto último ha ocasionado una fuerte discusión sobre si es correcto, al ser el maíz una variedad de polinización abierta, liberar en el campo plantas GM que puedan transferir en su polen los transgenes de características no necesariamente comestibles o buenas para la salud (Reyes, 1990).

##### Económico - Social

El maíz significa, trabajo, moneda, pan y religión para grandes conglomerados humanos. El maíz representa un bienestar social en los pueblos que lo producen evitando la dependencia del extranjero. En grandes áreas de México el cultivo del maíz es actividad y alimento de los pueblos; por lo tanto, una escasez trae como



consecuencia grandes problemas sociales. En México gran parte de la población vive directamente de la agricultura, siendo el maíz uno de sus cultivos más importantes de subsistencia.

El maíz significa bienestar económico para los países autosuficientes y/o exportadores; los múltiples usos como alimento humano directo o transformado en carne, leche y huevo; como insumo en la industria; por su amplia área geográfica de cultivo, ya que se encuentra en 134 países dispersos en el mundo, y por su alto volumen de producción, pues 110 países lo producen para su exportación (Reyes, 1990).

#### 4.6.1 Importancia del maíz en México

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2001), señala que en nuestros días la importancia que tiene el cultivo de maíz abarca tres aspectos diferentes.

1. **Importancia agrícola:** se le encuentra sembrado en todos los estados de la República, ocupando 7,810,850 Ha de superficie cultivada y su rendimiento es de 2.578 TM / Ha.
2. **Importancia económica:** Su producción es de 20,134,300 Toneladas Métricas en el país. En el año 2000 México importó 5,445,202 TM de maíz y exportó 57,441 TM. Las principales razas de maíz que se exportan son: maíz dulce, maíz forrajero, maíz reventón y maíz verde (www.fao.org, 2001).
3. **Importancia social:** su uso principalmente es para la alimentación humana; el 90% de los mexicanos lo consumen. Se utilizaron 12,849,348 TM (www.fao.org,

2000) para la alimentación por consumo directo en México, para la elaboración de alimentos procesados 1,109.421 TM y para otros usos 43,930 TM. Es sin duda alguna, un cultivo de gran importancia en México, pues en su consumo descansa la alimentación de millones de personas.

Algunos datos estadísticos ([www.fao.org](http://www.fao.org), 2001) que reafirman la importancia del maíz en México son:

- Suministro/persona/año = 130 Kg = 0.356 por día
- Kcal/persona/día = 1,102.2
- Proteínas/persona/día = 28.4 g
- Grasas/persona/día = 12.2 g

Por otra parte, existen datos acerca de que el 40% de las proteínas ingeridas en la dieta mexicana, proviene del consumo de maíz, además de que es la fuente de proteínas más económica (Bourges, 2000).

#### **4.7 Necesidad de conservar variedades criollas de maíz:**

La colecta de razas y sus variedades de maíz y su conservación ex situ, es decir, en los bancos de germoplasma que se encuentran dispersos en el mundo, constituyen una reserva de recursos naturales de uso inmediato y mediano, si se maneja conforme a normas técnicas establecidas. Esta es una modalidad de conservación de las variedades criollas pero tiene serios inconvenientes: a) pérdida de la germinación parcial o total después de 15 o 20 años bajo refrigeración, b) la semilla se considera

como fósil, en donde se detiene la evolución, c) vulnerable al suspender los programas de conservación por escasez de dinero de las autoridades responsables, sobre todo en tiempos de crisis económicas, en países menos desarrollados, o en situaciones de guerra.

Una modalidad que debe acompañar a la anterior, es la conservación *in situ*. Probablemente sería recomendable seleccionar regiones estratégicas productoras, y apoyar a aquellos agricultores que puedan sembrar y conservar sus variedades criollas de la forma más natural posible, conforme a las tradiciones que por siglos han tenido, pero apoyadas por un servicio de asistencia técnica. De esta forma se logrará conservar las variedades en evolución. Este es un trabajo difícil de lograr de forma sustentable, pero es de vital importancia para la conservación de la biodiversidad de este cereal (Memorias del Foro, 1995).

#### **4.8 Usos más comunes de la planta de maíz:**

El maíz tiene múltiples usos que se pueden agrupar en los siguientes grandes rubros:

##### Grano:

- Alimentación humana
- Alimentación del ganado
- Materia prima en la Industria
- Semilla



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## Planta:

Forraje verde

Ensilado

Rastrojo, forraje tosco

Materia orgánica al suelo



## Mazorca:

Ejote - alimento humano

Forraje tosco

Olote (combustible) (Reyes C. P., 1990)



## **4.9 Industrialización y Aplicaciones del maíz**

**4.9.1 Industria básica.** Es aquella que procesa las materias primas tal como se obtienen en el sector primario y que produce artículos que son utilizados como insumos de la industria complementaria o como productos para el consumo final. Por ejemplo, el sector agrícola produce el maíz que es materia prima de la industria complementaria en la fabricación de tortillas.

**4.9.2 Industria complementaria.** Depende de la industria básica. Se caracteriza porque obtiene el producto final hasta su comercialización. Ejemplo: las tortillerías que procesan harina de maíz nixtamalizada, para la obtención de tortillas que comercializan directamente al consumidor (Huerta, 1949).

#### **4.9.2.1 La industria molinera en húmedo**

El propósito de esta industria es la refinación del maíz o fabricación de almidón puro de maíz, y varios otros productos derivados exclusivamente del almidón. Los demás componentes de la semilla se utilizan para obtener aceite y alimentos para animales. La separación de las partes de la semilla en el molino se lleva a cabo con agua. A esto se añaden otros procesos químicos o enzimáticos para convertir el almidón en jarabes y azúcares. Las industrias en las que se emplean son: papelería y textil, en la fermentación, en aceites y en la industria alimenticia. La mayor parte de las aplicaciones del maíz se encuentran clasificados en esta industria.

- **Industria del aceite**

Del germen del grano se obtiene un aceite crudo, que se emplea en la fabricación de jabón, glicerina, explosivos, aceite vulcanizado y emulsiones. El aceite crudo refinado es un excelente aceite para la mesa y usos farmacéuticos. Con la pasta que se obtiene de la elaboración del aceite y las proteínas separadas del almidón se preparan alimentos muy buenos para toda clase de ganado (Díaz, 1964).

El aceite de maíz es un subproducto derivado de la industria de almidón, como producto valioso para la alimentación humana, tanto por su alto poder energético como por sus cualidades dietéticas. Es muy suave, casi insípido. Este aceite es ideal para cocinar y hacer ensaladas. El aceite comestible de maíz es comparable al mejor de oliva, con la propiedad de no congelarse a baja temperatura como este último, lo cual le da más valor, este aceite no desprende humo al ser calentado y es más estable a la oxidación que los aceites que contienen linoleato como el de canola y el de soya. Puede

también utilizarse en la industria farmacéutica, en la fabricación de municiones, sustancias químicas, pinturas, barnices, sustitutos de hule, anticorrosivos, jabones, aceites solubles y productos textiles.

- **Industria de los alimentos balanceados**

El gluten como elemento principal del maíz da origen a las proteínas cuyo empleo es muy variado. Entre las aplicaciones más importantes del gluten se encuentra la obtención de forrajes en forma de concentrados para la alimentación del ganado lechero y para completar la cebada del ganado vacuno que se ha destinado al sacrificio.

El maíz proporciona uno de los carbohidratos más baratos, apetitosos y disponibles que tradicionalmente se han empleado para engorda y como fuente de energía en la producción de ganado de carne, leche y huevo, en cerdos, aves, etc. Se utiliza como alimento directo en ejidos o ranchos y por los fabricantes de alimentos concentrados o balanceados en forma directa, de maíz desgranado o en forma de subproductos derivados de otros procesos industriales del mismo maíz. Algunos de estos subproductos son ricos en proteínas (gluten de maíz) o aceite, que son ingredientes en la formulación completa y manufactura de alimentos mezclados, concentrados o balanceados. Debido a lo anterior, en la alimentación de los animales domésticos y especialmente en el ganado vacuno, equino y porcino, el maíz tiene mucha importancia. Su forraje y sus granos, enteros, quebrados o molidos, son sumamente nutritivos y baratos. En el ganado lechero, el maíz contribuye a estimular la secreción láctea (Llanos, 1984).

- **Industria del almidón**

Cuando al grano se le han quitado el germen y el gluten, queda sólo el almidón cuya industrialización en forma seca o húmeda da lugar a una serie de derivados que tienen múltiples aplicaciones en la industria.

El almidón, también conocido como fécula, es la sustancia blanca, insípida, que constituye alrededor del 60% del grano de maíz. Puede descomponerse o "modificarse" para destacar alguna de sus propiedades.

Con el almidón obtenido por el procesamiento en seco, se elabora dextrina, y como aditivos adicionales se obtienen textiles, papel, colorantes, adhesivos y material para estampado, fundición y pirotecnia.

En el caso de la dextrina, existen más de 200 tipos, los cuales se pueden clasificar como almidones "cocidos" o "tostados". Se elaboran aplicando al almidón un tratamiento térmico, químico, o ambos. Las dextrinas de maíz actúan como vehículos de sabor y modifican las texturas sin aumentar, necesariamente la viscosidad. Se utilizan para unir distintos materiales, para recubrir y para glasear.

Las dextrinas del maíz se emplean en la fabricación de engrudos y adhesivos para sellos de correos, etiquetas engomadas, pegamentos para papeles autoadhesivos, etc. (Villegas, 1979).

El almidón natural procedente del maíz es insoluble en agua, pero si se humecta y calienta, tiene la capacidad de gelificar (por el proceso de gelatinización); y si se hidroliza puede ser transformado en dextrinas. Al mezclar las dextrinas del almidón

con ciertos productos químicos y agua, se obtiene gran variedad de colas, pastas y gomas de pegar que tienen aplicación en la encuadernación de libros, fabricación de aglomerados de madera, fabricación de muebles, papel, cartón y confección de cajas, fabricación de cigarrillos, cajetillas de tabaco, fósforos y sus envases, etc. (Reyes, 1990).

En el caso de las maltodextrinas existen varios tipos. Las maltodextrinas son productos en polvo o soluciones concentradas y purificadas de oligosacáridos que se obtienen del almidón, y son análogas a la miel de maíz. Las maltodextrinas difieren técnicamente de los jarabes de maíz porque contienen menores cantidades de azúcar y por lo tanto, presentan un menor poder edulcorante.

En las perforaciones petrolíferas se usa un barro especial elaborado a base de dextrina, con el que se afirman las paredes para evitar derrumbes. También se usa para enfriar los taladros de las perforadoras y se utiliza como fijador de tintas y colores sobre superficies tratadas (Llanos, 1984).

Del almidón de maíz, además de productos alimenticios, se obtienen productos básicos para diversas industrias. En cosmética se utiliza para polvos faciales, coloretes, lociones, pomadas y cremas de belleza, perfumes, talcos, cremas dentríficas y para afeltado.

En la industria papelera, el almidón de maíz se usa para satinar y esmaltar papeles. En la textil para tratamientos para hilos de coser, apresto y tinte de tejidos, etc. En las tenerías, para el curtido de pieles. También se emplea en la fabricación de baterías secas, explosivos, fulminantes, caucho sintético, alcoholes para aglutinar los moldes



que se utilizan en las fundiciones, en la industria extractora de aluminio, como floculante del mineral y un sinnúmero de otras aplicaciones (Llanos, 1984).

La dextrosa, se obtiene de la hidrólisis total del almidón de maíz. Se le utiliza para endulzar, como fuente de azúcar fermentable y para controlar el grado de absorción de humedad. La dextrosa es el elemento básico de todos los productos de almidón para la elaboración de edulcorantes.

"Xanthan"® fabricado por Kraft, es un compuesto producido por la fermentación de los azúcares y es derivado del almidón. Se emplea para la elaboración de aderezos para ensalada por ser emulsificante, estabilizador y espesante. También sirve para hacer pinturas a base de agua y para extraer los restos de petróleo que quedan en los pozos casi agotados ([www.enabling.org/ia/celiac/rec/rec96-1.html](http://www.enabling.org/ia/celiac/rec/rec96-1.html)).

#### 4.9.2.2 *La industria molinera en seco*

Los molinos remueven casi completamente al embrión y el pericarpio para la producción de sémola y harina de maíz. Las diferentes harinas son separadas por medio de tamices o mallas de diferente tamaño. La sémola es un producto de consistencia gruesa y utilizado industrialmente para la manufactura de hojuelas de maíz. Las harinas de maíz se utilizan para hacer "hot-cakes", pan de harina de maíz y otros productos para hornear. Los subproductos obtenidos contienen al germen del cual se obtiene el aceite y el pericarpio se aprovecha para hacer alimentos concentrados para animales (Reyes, 1990).

#### 4.9.2.3 La Industria del nixtamal

La nixtamalización del maíz es un proceso muy antiguo que se utilizaba en Mesoamérica desde antes de la Colonia. Este proceso consiste en cocer los granos de maíz en una solución alcalina, dejar reposar los granos después de la cocción y enjuagarlos con agua para obtener el nixtamal (granos cocidos). Con el nixtamal molido, se forma una masa suave, que sirve como materia prima para la obtención de tortillas, tostadas, tamales, frituras de maíz, etc. El proceso de nixtamalización, hace que las tortillas sean la fuente principal de calcio en algunas poblaciones de Mesoamérica, además de que incrementa la disponibilidad de niacina y por lo tanto, aumenta el valor biológico de las proteínas de maíz (Serna-Saldívar, 1987).

Se pueden utilizar soluciones alcalinas como el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), pero la solución que más se utiliza en México es el hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) en agua, el cual puede utilizarse en altas concentraciones para retrasar el crecimiento microbiano.

Los cambios que sufre el grano de maíz durante el cocimiento alcalino son los siguientes. El endospermo se modifica porque algunos gránulos de almidón se hinchan y gelatinizan y la matriz proteica se hidrata. Sin embargo, existen áreas del grano que no se cuecen completamente. En general, el cocimiento ocurre primeramente en el pericarpio, germen y endospermo harinoso y después avanza lentamente hacia el endospermo cristalino. El álcali solubiliza parcialmente el pericarpio y lo debilita para que se pueda remover total o parcialmente durante el lavado del nixtamal. El pericarpio se rompe gracias a la solubilización de la hemicelulosa de las paredes celulares. Las células de la aleurona permanecen intactas en la mayoría de los granos y disminuye el movimiento de la cal hacia el endospermo. Un grano cocido

adecuadamente consiste en gránulos de almidón suficientemente gelatinizados e hinchados y una matriz proteica hidratada para producir una masa cuando se muele el nixtamal (Serna-Saldívar, 1990).

La amilosa, la amilopectina y las proteínas forman un sistema continuo conocido como "pegamento" que mantiene al almidón gelatinizado y las células intactas del endospermo unidas en una masa cohesiva.

El cocimiento alcalino mejora el sabor del producto, la gelatinización del almidón y la retención de agua; y remueve parcialmente el germen y el pericarpio en los granos de maíz, los cuales son parcialmente cocidos. El reposo distribuye la humedad y la solución alcalina a través del grano. Si el nixtamal se enjuaga vigorosamente, se remueve el exceso de álcali, se elimina el resto del pericarpio y parte del germen. El nixtamal lavado, generalmente se muele con ayuda de un pequeño molino lo cual rompe el almidón gelatinizado y distribuye la matriz proteica hidratada alrededor de las porciones no gelatinizadas del endospermo de maíz, para formar la masa (Serna-Saldívar, 1987).

Un nixtamal deficientemente cocido es muy difícil de moler, mientras que el nixtamal que ha sido sobrecochado forma una masa de consistencia pegajosa muy difícil de manejar, ya que se ha formado mucho "pegamento".

#### *4.9.2.4 Otras aplicaciones*

La miel de maíz es una solución purificada y concentrada de los oligosacáridos que se obtienen del almidón. "Miel de maíz" es un término genérico que se emplea para describir a la familia de los oligosacáridos, cuyas propiedades varían según el método

de elaboración que se siga. La miel de maíz se utiliza para dar cuerpo a los alimentos industrializados, controlar la absorción de la humedad y proveer de sólidos nutritivos.

Por su parte, el azúcar de maíz se obtiene deshidratando a las mieles. El azúcar de maíz cumple la misma función que la miel. Sin embargo, para ciertos productos es preferible usar la forma seca, para facilitar la mezcla, o debido a la naturaleza del producto final (Villegas, 1949).

El color caramelo se obtiene al calentar a alta temperatura una solución de dextrosa no refinada en un recipiente cerrado, en presencia de un catalizador. El color caramelo se utiliza mucho en cierto tipo de salsas, refrescos de cola y otros productos.

El sorbitol es un polvo cristalino e inodoro hecho de dextrosa, con un sabor dulce y refrescante. Se utiliza para estabilizar el contenido de humedad en la preparación de alimentos y como edulcorante en determinados productos dietéticos (Díaz, 1964).

Desde luego con la celulosa de la planta de maíz se fabrica cartón, acetato de celulosa, se utiliza para obtener seda artificial, barnices y películas. La nitrocelulosa se emplea en la fabricación de colodión, celuloide y explosivos (Díaz, 1964).

Con el maíz se fabrica una gran cantidad de artículos comerciales, de adorno y de uso común, acompañados con materias plásticas. Para la fabricación de juguetes artesanales y objetos diversos, también se utiliza el maíz.

Debido al alto contenido de almidón en los granos de maíz y los azúcares obtenidos de los mismos, proveen a las industrias fermentadoras y destilerías con una fuente disponible y económica de carbohidratos. Los residuos de la fermentación contienen

una gran cantidad de proteínas y vitaminas, mayor que en el grano original, y se utilizan para elaborar alimentos mezclados. Algunos productos de importancia obtenidos de la fermentación se mencionan en la tabla 3.

Tabla 3. Productos obtenidos de la fermentación de maíz

| Nombre                    | Origen                         | Aplicación  |
|---------------------------|--------------------------------|---|
| Ácido Láctico             | Fermentación de la dextrosa    | Agente saborizante, preservador y para ajustar la acidez de los productos |
| Etanol                    | Fermentación del almidón       | Fabricación de Whisky   |
| Alcohol y aceite de Fusel | Fermentación del grano de maíz | Combustible de automóviles y camiones                                     |

Por la destilación seca del grano de maíz se obtiene carbón y ácido piroleñoso bruto. Del carbón se derivan pólvora, sulfuro de carbono y carbón activado. Del ácido piroleñoso del maíz se extrae acetona, gases lacrimógenos, disolventes para lacas, alquitrán y aceites de alquitrán, fenoles, cresoles, insecticidas y desinfectantes, ácido acético bruto, acetato de calcio, ácido acético puro, alcohol metílico, forol y urotropina (Reyes, 1990).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **5. Materiales y Métodos**

La asociación de productores Asistencia Social Productiva A. C. (ASPAC) solicitó al Departamento de Alimentos y Biotecnología realizar una serie de pruebas y análisis para caracterizar algunas variedades criollas, y enviaron aproximadamente un kilogramo de granos enteros de maíz de cada una de las muestras, empacado en bolsas de plástico. Cabe mencionar que la ASPAC seleccionó dichas muestras.

Las muestras de maíz correspondientes a cada una de las diferentes variedades se encuentran listadas en la tabla 4:

Tabla 4. Variedades estudiadas de maíz criollo.

| <b>ESTADO</b>    | <b>LOCALIDAD</b> | <b>TIPO</b>     |
|------------------|------------------|-----------------|
| Estado de México | Toluca           | Cacahuacintle   |
| Tlaxcala         | Huamantla        | Criollo Cremoso |
| Tlaxcala         | Huamantla        | Criollo Azul    |
| Guanajuato       | Manuel Doblado   | Híbrido Blanco  |
| Estado de México | Jiquipilco       | Criollo Blanco  |
| Michoacán        | Teremendo        | Colorado        |

(Ver Anexo 3)

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Las determinaciones que se les realizaron a cada una de las variedades de maíz se mencionan en la tabla 5:

Tabla 5. Determinaciones realizadas a cada variedad.

| <b>Pruebas Físicas</b>                             |   |  |                           |
|--|---|--|---------------------------|
| <b>Nombre</b>                                      | <b>Fundamento</b>   | <b>Determinación tipo</b>  |                           |
| Densidad calculada por volumen*                    | Relación peso/volumen.  | No oficial   |                           |
| Peso de mil granos*                                | Descripción de la densidad relacionada con tipo, tamaño y forma del grano, con el endospermo y su composición, con la madurez, edad y cambios en el almacenamiento del grano. | No oficial   |                           |
| Índice de flotación*                               | Medida de densidad, indica el número de granos dañados por almacenamiento o manejo.   | No oficial   |                           |
| Dureza por golpeo *                                | Resistencia del grano de maíz al daño provocado por fuerzas de impacto.   | No oficial   |                           |
| Dureza por abrasión*                               | Resistencia del grano de maíz al daño provocado por fuerzas de cizalla.   | No oficial   |                           |
| Remoción de pericarpio*                            | Indica la facilidad o dificultad con la que se elimina el pericarpio del grano de maíz.   | No oficial   |                           |
| * Estas determinaciones fueron sugeridas por ASPAC |   |  |                           |
| <b>Pruebas Físicoquímicas</b>                      |   |  |                           |
| <b>Determinación</b>                               | <b>Método</b>   | <b>Fundamento</b>  | <b>Determinación tipo</b> |
| Cenizas  | No. 923.03 (AOAC)   | Cuantificación de material inorgánico presente en la muestra posterior a la calcinación de la materia orgánica | Oficial                   |
| Fibra cruda  | Weende  | Cuantificación del material no digerible con ayuda de un ácido y una base.                                     | Oficial                   |
| Proteína   | Kjehldal  | Determinación de contenido de nitrógeno total proveniente de las proteínas.                                    | Oficial                   |
| Grasa (Aceite)                                     | Goldfish  | Se extrae la grasa con ayuda de un disolvente  | Oficial                   |
| Perfil de ácidos grasos                            | Cromatografía de gases  | Separación y cuantificación de lípidos de acuerdo a su grado de insaturación y longitud de cadena              | No oficial                |
| Almidón *  | No. 996.11 (AACC)   | Se realiza una hidrólisis enzimática del almidón en dos fases.   | Oficial                   |
| Humedad  | Según NMX-ff-034-1995.  | Evaporación del agua que no se encuentra ligada directamente a la matriz del alimento.                         | Oficial                   |

Todas las determinaciones realizadas para caracterizar a las variedades de maíz criollo utilizadas en este estudio fueron sometidas a un análisis estadístico en el cual se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para conocer el nivel de significancia de la prueba y formar grupos de muestras con características similares. El paquete estadístico utilizado para analizar los datos experimentales fue el SPSS (Statistics Program Social Science) versión 8.0.

En la prueba de Fisher, la cual señala si las muestras presentan diferencias significativas o no, el nivel de significancia se fijó a 5%, o bien  $\alpha = 0.05$ , debido a que en estas determinaciones no se necesita una exigencia tal elevada como en otras pruebas aplicadas a la industria, por ejemplo las determinaciones microbiológicas.

La comparación de medias para agrupar las muestras de acuerdo a la similitud de sus características físicas y fisicoquímicas fue con base en la prueba de rango múltiple de DUNCAN, la cual permite establecer una relación entre las características estudiadas y norma los criterios para saber si la posible aplicación industrial de cada muestra es correcta.

De este análisis se espera corroborar estadísticamente las características de las variedades estudiadas para validar el orientarlas a una aplicación determinada. Se espera también conocer por medio de estas pruebas estadísticas la precisión de cada determinación para corroborar la confiabilidad de las mediciones efectuadas.



## **5.1 Determinaciones Físicas**

### **5.1.1 Densidad por volumen**

#### **Fundamento:**

Es la relación peso / volumen del grano de maíz.

#### **Materiales y equipo:**

Balanza analítica: Marca Sartorius, Modelo 1389 AP, EUA

Recipiente cúbico de 1 litro

Regla de 30 cm

#### **Metodología:**

Se utiliza una balanza de peso específico, que da la lectura en Kg/HL hasta décimas. En caso de no contar con esa balanza, se emplea la siguiente metodología:

1. Se pesó el recipiente cúbico de capacidad de un litro
2. Se dejó caer libremente y desde una altura de 30 cm, el grano limpio de maíz, dentro del recipiente
3. Se rasó con tres movimientos de zigzag el contenido del recipiente con una regla
4. Se pesó el recipiente lleno equivalente a  $g / dm^3$
5. Se realizan los cálculos correspondientes

### 5.1.2 Peso de 1000 granos

#### Fundamento:

Esta es otra medida utilizada para describir la densidad de los granos de maíz, la cual se relaciona con el tipo, tamaño y forma del grano, con el endospermo y su composición, con la madurez, edad y cambios en el almacenamiento y, por lo tanto, con la calidad molinera.

#### Equipo:

Balanza analítica: Marca Ohaus, Modelo Voyager, Suiza

#### Metodología:

1. Se tomaron al azar 50 granos de la muestra
2. Se pesaron en una balanza analítica
3. Se realizó el cálculo correspondiente, que es:

$$\text{Peso de 1000 granos} = \text{Peso de 50 granos} * 20$$

### 5.1.3 Índice de flotación

#### Fundamento:

Es la tercera prueba que se utiliza como una medida de la densidad de los granos de maíz e indica el número de granos vanos o dañados por manejo o almacenamiento que afectan a la densidad. Se reporta en porcentaje.

**Materiales:**

Vaso de precipitados de 500 mL

**Metodología:**

Se hace directamente sobre una muestra de 100 granos de maíz.

1. Se tomaron al azar 100 granos de la muestra
2. Se colocaron dentro del vaso de precipitados de 500 mL que contenía 400 mL de agua, aproximadamente
3. Los granos se dejaron reposar 15 segundos
4. Se contaron los granos que flotaron transcurrido ese tiempo
5. Se reportó en porcentaje

5.1.4 Remoción de pericarpio

**Fundamento:**

Se evalúa la pérdida del pericarpio por medio de una escala visual y esto indica la facilidad o dificultad con la que se elimina esta porción del grano. Es un buen indicador para algunas operaciones de la industria. Se reporta en porcentaje.

**Materiales y Reactivos:**

Bolsas de tela de gasa

Agitador magnético: Marca Cole – Parmer, Modelo 04803 – 00, EUA

Filtro Buchner con Kitasato

Óxido de Calcio

Eosina Azul de Metileno: Marca Sigma Chemical Co., Pureza 95%, Lote 129F0623

Metanol: JT Baker SA de CV, 9070 – 03, Pureza 99.9%, Lote X02C55, México

Metodología:

Se utiliza el método de May – Gruenwald en el que el maíz se nixtamaliza con óxido de Calcio (CaO) al 3.33% y se tife con una mezcla de colorantes o solución patrón, compuesta por eosina “Y” y azul de metileno.

1. Se contaron 15 granos limpios de cada muestra de maíz
2. Se colocaron dentro de bolsas de tela de gasa y se cerraron
3. Se sumergieron las bolsas en una solución de Óxido de Calcio (CaO) al 3.33% (nixtamalización)
4. Se contaron veinte minutos de nixtamalización a partir del inicio del hervor de la solución.
5. Se sacaron las bolsas y se enfriaron al chorro de agua. Esta operación sirvió a la vez, para enfriar y para enjuagar el exceso de CaO.
6. Se sumergieron las bolsas de gasa con el grano nixtamalizado durante 15 segundos, dentro de un recipiente que contenía solución patrón de May – Gruenwald, la cual se preparó de la siguiente manera: se pesaron 0.5 g de eosina azul de metileno y se disolvieron en 50 mL de metanol atemperado a 60°C en un baño María, se agitó durante una hora con ayuda de un agitador magnético, se dejó reposar durante 24 horas y se filtró por gravedad.

7. Las bolsas se sumergieron durante 10 segundos, dentro de tres tazones, que contenían 15 mL (aproximadamente) de metanol, para enjuagar el exceso de tintura.
8. El nixtamal teñido se extendió sobre una superficie blanca
9. Se realizó la evaluación del porcentaje de pericarpio removido con ayuda de la siguiente escala visual:
  - a. 100% de pericarpio removido – grano blanco
  - b. 75% de pericarpio removido – grano verde – lila
  - c. 50% de pericarpio removido – grano de color verde oscuro o morado
  - d. 25% de pericarpio removido – grano de color azul
  - e. 0% de pericarpio removido – grano azul verdoso

#### 5.1.5 Dureza del endospermo

##### Fundamento:

Los métodos para determinar la dureza del endospermo se basan en la resistencia que presentan los granos al daño físico al aplicárseles fuerzas de cizalla o de impacto. Se puede determinar de dos maneras: por golpeo o por abrasión, en donde se evalúa la resistencia del grano de maíz a estas acciones. La dureza de los granos de maíz está determinada por la unión entre el almidón y las proteínas del endospermo y está relacionada con diversos atributos como el tipo de almidón, grado de madurez del grano, cantidad de daños, edad y condiciones de almacenamiento, pero se relaciona principalmente con la estabilidad del grano para su conservación posterior así como con la calidad culinaria y la adecuación para otros procesos.

#### 5.1.5.1 *Por abrasión*

##### Materiales y equipo:

Lija mediana para madera: Marca Fandell, Número 220, Clave AL0A081

Balanza analítica: Marca Ohaus, Modelo Voyager, Suiza

##### Metodología:

1. Se tomaron al azar tres granos de maíz y se pesaron en una balanza analítica
2. Se recortaron tiras de 3 x 10 cm de lija para madera
3. Se pasó cada grano de maíz cinco veces a lo largo de toda la superficie de la lija
4. Se limpiaron los restos de polvo del grano de maíz con ayuda de un lienzo
5. Se pesaron nuevamente los granos de maíz
6. Se realizaron los cálculos correspondientes

#### 5.1.5.2 *Por golpeo*

##### Materiales y equipo:

Balanza analítica: Marca Ohaus, Modelo Voyager, Suiza

Probeta de plástico de 1 litro

Canicón sujeto con una cuerda

Tamiz de malla No. 40 o abertura de 0.420 mm: Marca Tallmon México

### Metodología:

1. Se pesaron 10 gramos de maíz si el grano era de tamaño grande, y 20 gramos si el grano era pequeño
2. Se colocaron los granos de maíz dentro de la probeta de plástico
3. Se dejó caer desde el borde de la probeta un canicón sujeto con una cuerda lo suficientemente larga para que pudiera caer libremente y retirarse después
4. La operación anterior se realizó diez veces
5. Se retiró el contenido de una probeta y se pasó a través de un tamiz de malla No. 40
6. Se pesó de nuevo el grano en la balanza analítica
7. Se realizaron los cálculos correspondientes

**NOTA:** Para ambas técnicas el cálculo es,

Dureza del endospermo =  $100 - ((\text{pérdida de peso} * 100)/\text{peso inicial})$

## **5.2 Determinaciones Fisicoquímicas**

Además de las determinaciones para un análisis proximal, se incluyen en esta sección determinaciones como el perfil de ácidos grasos y un análisis particular del contenido de almidón que contrastan con los reportes que normalmente se hacen en los proximales, donde se calculan los carbohidratos por diferencia.

### **5.2.1 Contenido de cenizas**

#### **Fundamento:**

Para determinarlo se emplea la metodología oficial 923.03 dictada por la AOAC. En este método se cuantifica el material inorgánico obtenido de la incineración de la muestra (cenizas). La determinación se lleva a cabo en dos fases: en la primera se realiza la ignición de la muestra hasta carbonizarla, y en la segunda se calcina la muestra en una mufia a una temperatura entre 500 y 600 ° C hasta que las cenizas sean de un color blanco – grisáceo. Es un método gravimétrico y el resultado se reporta en porcentaje (Ver Anexo 5).

### **5.2.2 Contenido de fibra cruda**

#### **Fundamento:**

Se reconocen dos métodos para esta determinación: Método 962.09 de la AOAC y que es el mismo que el Método 32 – 10 de la AACC. También es conocido como método de Weende.



En el método de Weende se determina el contenido de los carbohidratos no digeribles del grano, es decir, celulosa, hemicelulosa y lignina. La harina del cereal es digerida con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 1.25% y después con hidróxido de sodio (NaOH) al mismo porcentaje, para después sufrir una ignición en condiciones controladas. Para este método se requiere preparar fibra de vidrio molida ya que ayuda a controlar la temperatura de ebullición para la digestión y al mismo tiempo aumenta el volumen de la muestra y hace que sea más manejable. Además se requiere que la harina se encuentre libre de grasa. Se informa como porcentaje (Ver Anexo 5).

### 5.2.3 Contenido de proteína

#### Fundamento:

Para realizar esta determinación se sigue el método 979.09 sugerido por la AOAC (Association of Official Analytical Chemists), conocido como método de Kjeldhal. El método de Kjeldhal se divide en tres etapas. La primera etapa es llamada "digestión", se lleva a cabo con ácido sulfúrico y aquí es donde las proteínas y la materia orgánica en general sufren una oxidación, posteriormente se realiza la "destilación" con hidróxido de sodio (NaOH) al 40%, en donde se efectúa el desprendimiento del amoníaco por acción de la base fuerte y por último se encuentra la etapa de "titulación" en donde el amoníaco generado que fue atrapado en ácido bórico, se titula con un ácido fuerte, ácido clorhídrico (HCl) al 0.1%. Se reporta en porcentaje el contenido de nitrógeno (N) total, ya que se infiere que el nitrógeno que se cuantificó proviene de las proteínas de la muestra. El factor de conversión para proteína de maíz es de 6.25 (Ver Anexo 5).

#### 5.2.4 Contenido de grasa (aceite)

##### Fundamento:

Para la extracción de grasa se utiliza la metodología oficial 920.39 dictada por la AOAC, conocida como extracción continua o técnica de Goldfish.

Se utilizó el método de Goldfish, en el cual la grasa es extraída de la harina por acción de un disolvente, en este caso éter etílico, el cual se evapora y condensa continuamente arrastrando la grasa contenida en el alimento molido dentro de un cartucho poroso. Al final el éter se recupera y el aceite permanece en el vaso de Goldfish y la cantidad del mismo se calcula por diferencia de peso. Se informa como el porcentaje de la fracción soluble en éter (Ver Anexo 5).

#### 5.2.5 Perfil de ácidos grasos

##### Fundamento:

Para realizar esta determinación se utilizó la cromatografía de gases. Los cromatógrafos de gases (CG) utilizan columnas capilares con fases de líquidos polares, en las cuales se separan los ácidos grasos de acuerdo a su longitud de cadena y a su grado de insaturación. Además este método indica la proporción en que se encuentra cada uno de estos ácidos en la totalidad de la grasa. Es necesario señalar que se debe realizar una previa extracción del aceite por lotes a la harina de cada variedad de maíz, utilizando disolventes (Cloroformo: Metanol 2:1) en frío, lo que no provoca la descomposición de los ácidos grasos, a diferencia del método de Goldfish.

### Materiales, Equipo y Reactivos:

Balanza analítica: Marca Ohaus, Modelo Voyager, Suiza

Agitador magnético: Marca Cole – Parmer, Modelo 04803 – 00, EUA

Centrífuga clínica: Marca Termo IEC, Modelo Centra CL2, MA EUA

Rotavapor: Marca Büchi, Modelo (R), Suiza

Cromatofolios Al de sílica gel 60 WF<sub>254</sub>S: Merck 16484, 20 x 20, espesor 0.2mm, Lote 98008334, Alemania

Cámara de saturación de vapores

Éter Etilico: JT Baker SA de CV, 9240-03, Pureza 99.9%, Lote V31C13, México

Hexano: JT Baker SA de CV, 9309-02, Pureza 100.0%, Lote T48C74, México

Cloroformo: JT Baker SA de CV, 9180-03, Pureza 99.9%, Lote V39C52, México

Metanol: JT Baker SA de CV, 9070-03, Pureza 99.9%, Lote X02C55, México

### Metodología:

Para seleccionar el disolvente más adecuado para la extracción de grasa, fue necesario realizar una cromatografía en capa fina:

- a. Se pesaron 5 g de cada muestra de harina de maíz y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, esto se realizó por triplicado
- b. En el primer matraz se colocaron 10 mL de hexano, en el segundo 10 mL de éter etílico y en el tercero, 10 mL de la mezcla cloroformo: metanol 2:1
- c. Se mantuvieron los tres matraces en agitación constante durante 15 minutos
- d. Se centrifugaron las muestras a 3800 rpm en la centrífuga clínica

- e. Se repitieron la extracción y la centrifugación dos veces más en las mismas condiciones
- f. Se decantó el disolvente de cada uno de los matraces Erlenmeyer
- g. Con un capilar se colocó una gota de cada muestra en un cromatofolio y este se colocó dentro de la cámara de saturación.
- h. Por último, se midió el Rf de cada muestra. Para el hexano fue de 6.5, para el éter etílico de 8.9 y para la mezcla de cloroformo-metanol 2:1 fue de 10.6 y por ello se eligió ésta última.

Una vez seleccionado el disolvente se llevó a cabo la siguiente metodología:

1. Se pesaron 10 g de cada muestra de harina de maíz y se colocaron dentro de un matraz de Erlenmeyer de 250 mL
2. Se le adicionaron 20 mL de la mezcla de disolventes cloroformo – metanol (2:1) y se agitaron durante 30 minutos
3. Se transfirió la mezcla a un tubo para centrifuga clínica
4. Se centrifugó a 3800 rpm durante 10 minutos con ayuda de la centrifuga clínica
5. Se repitió la extracción dos veces más con 10 mL de la mezcla de disolventes durante 10 minutos
6. Se centrifugó la mezcla después de cada extracción en las mismas condiciones que la primera
7. Se decantó la mezcla de disolventes y se recuperó la harina para la determinación de fibra cruda

8. La mezcla de disolventes con la grasa disuelta, se colocó dentro de un rotavapor y se evaporó la mezcla de disolventes
9. El aceite se recuperó dentro de tubos eppendorf y se mantuvieron a temperatura de congelación (-20 ° C)
10. Las muestras de aceite se analizaron por Cromatografía de Gases (CG) para determinar el perfil de ácidos grasos

#### **5.2.6 Contenido de almidón**

Se utilizó el kit enzimático para la determinación de almidón total de la compañía Megazyme (Método amiloglucosidasa/ $\alpha$ -amilasa) conocido como el Método 996.11 de la AOAC, 76.13 de la AACC o Método estándar 168 de la ICC.

#### **Fundamento:**

En esta metodología se lleva a cabo una hidrólisis enzimática del almidón, en dos fases. En la primera fase el almidón es parcialmente hidrolizado y totalmente solubilizado y en la segunda fase, las dextrinas del almidón son totalmente hidrolizadas hasta glucosa por acción de la amiloglucosidasa. Además, para una completa solubilización y dextrinización se requiere de un pretratamiento con dimetil sulfóxido (DMSO) a 100 °C. Se reporta como porcentaje de almidón.

#### **Materiales, Equipo y Reactivos:**

Molino: Marca Toast Master, Modelo 1112, Lote KU2, China

Tamiz de Malla No. 40 o 0.420 mm: Marca Tallmon - México

Balanza analítica: Marca Ohaus, Modelo Voyager, Suiza

Agitador Vórtex: Marca Thermolyne, Modelo M37615, Iowa, EUA

Baño de Agua: Marca Oakton, Modelo 17501-00, EUA

Baño de Agua: Marca Oakton, Modelo 12500-10, EUA

Centrífuga: Marca Beckmann, Modelo J2-MC, Nyon, Suiza

Celdas desechables: Marca BioRad, 1.5 mL, California, EUA

Espectrofotómetro: Marca Perkin Elmer, Modelo Lambda Bio 4335, Ueberlingen, Alemania

Alcohol Etílico Absoluto Anhidro: JT Baker SA de CV, 9014-03, Pureza 99.9%, Lote X20C53

$\alpha$ -amilasa termoestable: Marca Megazyme, 3000 U/mL, Lote 80801, Irlanda

Amiloglucosidasa: Marca Megazyme, 200 U/mL, Lote 80601, Irlanda

GOPOD: Reactivo para determinación de glucosa que contiene Glucosa oxidasa (>12,000 U/L), peroxidasa (>650 U/L), 4-aminoantipirina 0.4 mM, Marca Megazyme, Lote 20201, Irlanda y Buffer

Reactivo de Glucosa: Marca Megazyme, Lote 20301, Irlanda

Buffer MOPS: sal de sodio de MOPS, Sigma Chemical Co, Lote M9381, St Louis, EUA

Azida de Sodio: Sigma Chemical Co, Pureza 99.5%, Lote 98H0169, St Louis, EUA

Cloruro de Calcio dihidratado: JT Baker SA de CV, 1332, Lote H12335, México

Estándar de Glucosa: Marca Megazyme, 1.0 mg/mL, Lote 01201, Irlanda

Almidón total: Marca Megazyme, 96% almidón de maíz, Lote 60401, Irlanda

Ácido Acético Glacial: JT Baker SA de CV, 9507-05, Pureza 99.8%, Lote T34C65, México

Dimetil Sulfóxido: Sigma Chemical Co, Pureza 99.5%, Lote 82H0311, México

#### Preparación de los reactivos:

1. Para preparar el GOPOD se disolvieron el Reactivo para la Determinación de Glucosa y el Buffer Reactivo de Glucosa en un litro de agua destilada
2. El reactivo MOPS se disolvió en 900 mL de agua destilada. Se le ajustó el pH a 7.0, se añadieron 0.74 g de cloruro de calcio dihidratado y 0.2 g de azida de sodio y se disolvieron. Se ajustó el volumen a un litro y se conservó a temperatura ambiente
3. Para el buffer de acetato de sodio se añadieron 11.8 mL de ácido acético glacial a 900 mL de agua destilada y el pH se ajustó a 4.5. Se añadieron 0.2 g de azida de sodio y se disolvieron. El volumen de la solución se ajustó a un litro. Se almacenó a temperatura ambiente
4. Se diluye 1.0 mL de la  $\alpha$ -amilasa termoestable en 30 mL de buffer de MOPS y se conserva a temperatura de congelación

#### Metodología:

La metodología oficial es la determinación de almidón en cereales, método 996.11 de la AOAC, o bien, 76.13 para la AACC (American Association of Cereal Chemists), también conocida como método amilogucosidasa /  $\alpha$ -amilasa. Se utilizó el kit enzimático 80801 donado por Megazyme, Irlanda.

1. Se mollió el maíz, previamente lavado con etanol al 80% (v/v), y se tamizó a través de una malla con abertura de 0.5 mm, o bien, una malla No. 40

2. Se añadieron aproximadamente 100 mg de cada muestra de harina de maíz, pesados analíticamente, dentro de un tubo de ensayo, que también fue lavado con etanol al 80% (v/v). Se logró que toda la harina quedara en el fondo del tubo
3. Se humedeció la muestra con 0.2 mL de etanol al 80% (v/v) y se mezcló con ayuda de un agitador vórtex
4. Se añadieron 2 mL de dimetil sulfato de sodio (DMSO) al tubo y se mezclaron en un agitador vórtex
5. Se colocaron los tubos dentro de un baño de agua a temperatura de ebullición durante cinco minutos
6. Se adicionaron 3 mL de la enzima  $\alpha$  - amilasa termoestable (actividad 300 U/mL) disuelta en buffer de MOPS, y se agitaron en el vórtex
7. Se incubaron en un baño de agua hirviente durante seis minutos, se debe mezclar en un agitador vórtex a los dos y a los cuatro minutos, ya que el punto crítico de la reacción es la agitación vigorosa
8. Se colocaron los tubos de ensayo dentro de un baño de agua a 50 ° C, se adicionaron 4 mL de buffer de Acetato de Sodio seguidos por 0.1 mL de la amiloglucosidasa (200 U/mL)
9. Se agitaron e incubaron a una temperatura de 50 ° C durante 30 minutos
10. Se transfirió cuantitativamente el contenido de los tubos a un matraz aforado de 100 mL, previamente lavado con etanol al 80% (v/v). Se aforaron con agua destilada, se mezclaron y se centrifugó una alícuota de 10 mL a 3000 rpm durante 10 minutos



11. Se tomaron tres alícuotas de 0.1 mL cada una, de cada muestra y se colocaron al fondo de tres tubos de ensayo, lavados con etanol al 80% (v/v)
12. Se añadieron 3.0 mL de reactivo para determinación de glucosa (GOPOD) a cada uno de los tubos, y se incubaron a una temperatura de 50 ° C durante 20 minutos
13. Para realizar esta determinación, fue necesario elaborar "blancos de muestra"; se siguió todo el tratamiento, pero en lugar de colocar las enzimas, se colocaron cantidades iguales de agua, es decir, 3.0 mL de agua destilada en lugar de la  $\alpha$ -amilasa y 0.1 mL de agua destilada en lugar de la amiloglucosidasa
14. También se debieron correr 3 controles, que contenían 0.1 mL de estándar de glucosa, cuya concentración es de 100  $\mu$ g de glucosa / 0.1 mL, y 3 mL de GOPOD, para de calcular el factor F.
15. Junto con las muestras se corrieron 4 controles que contenían 100 mg de almidón puro de maíz, en lugar de contener 100 mg de harina "muestra" de maíz
16. Se realizaron todas las lecturas a 510 nm en celdas lavadas con etanol, o bien, en celdas nuevas, contra el blanco, cuyo contenido era 0.1 mL de agua destilada más 3.0 mL de GOPOD
17. Se hicieron los cálculos correspondientes y se reportó en porcentaje

$$\% \text{ Almidón} = \Delta E * F * 1000 * 1/1000 * 100/W * 162/180$$

Donde,

$\Delta E$  = Absorbancia

F = 100  $\mu$ g de glucosa / absorbancia de 100  $\mu$ g de glucosa

1000 = 0.1 ml tomados de 100 mL (alícuotas para la lectura)

1 / 1000 = conversión de  $\mu\text{g}$  a mg

100 / W = factor para calcular el porcentaje de almidón

W = peso de la muestra en mg

162/180 = ajuste de glucosa a glucosa anhidra

La fórmula simplificada para este cálculo es:

$$\% \text{ Almidón} = \Delta E * F/W * 90$$

Para calcular el porcentaje de almidón en base seca se realizó el siguiente cálculo:

$$\% \text{ Almidón (BS)} = \% \text{ Almidón} * (100 / 100 - \% \text{ Humedad})$$

### 5.2.7 Contenido de humedad

#### Fundamento:

El método oficial para determinar humedad es el 925.10 según la AOAC y es un método directo gravimétrico en el que la harina se somete a una temperatura de  $130^{\circ}\text{C}$  para determinar su pérdida de peso en forma de agua. Se utiliza una estufa con circulación de aire para evitar la humectación del ambiente y determina el porcentaje de agua libre en la harina.

En esta determinación se calienta la muestra para lograr la evaporación del agua que no forma parte de la matriz del alimento (Ver Anexo 5).

**NOTA:** A partir de la determinación del Contenido de Proteína hasta el Contenido de Cenizas, fue necesario moler el maíz para lo cual se utilizaron los siguientes materiales y métodos.

Equipo:

Molino: Marca Toast Master, Modelo 1112, Lote KU2, China

Metodología:

1. Se limpió la muestra para eliminar polvo, raíces, trozos de olote, etc.
2. Se tomó una muestra representativa de cada variedad de maíz de acuerdo a las Normas Mexicanas NMX-Z-012 y NMX-Y-111 en la sección de grano en reposo a granel, y se colocó dentro del molino
3. Se molió cada variedad hasta obtener un polvo fino y homogéneo, el cual se hizo pasar a través de un tamiz de malla # 40 dándole de un tamaño de partícula aproximado de 420  $\mu\text{m}$ .

Cada harina se almacenó en frascos de vidrio cerrados y se refrigeró entre 4 y 5 ° C para su posterior empleo en cada determinación.

## **6. Resultados y Discusión**

La calidad global de un maíz apto para aplicaciones industriales tiene dos facetas: La composición química y sus características físicas. En la industria de los cereales, cuando llega el cargamento de maíz, primeramente se somete a las pruebas físicas, debido a que son un excelente indicativo de la calidad de los granos.

Por esta razón, haciendo una analogía con la industria de los lácteos, pueden considerarse como “pruebas de plataforma”, ya que son generalmente simples y rápidas, pues no utilizan reactivos costosos, pueden realizarse a simple vista o con instrumentos sencillos y fáciles de conseguir.

Las pruebas físicas ayudan a predecir algunas características importantes que deberán corroborarse posteriormente con el análisis proximal o con análisis más detallados.

Existen otras pruebas físicas que evalúan los daños causados por diversos factores tales como insectos, calor, hongos, roedores, condiciones climatológicas, entre otras; y se encuentran referidas en la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 Norma Mexicana de nixtamalización de maíz blanco (Ver Anexo 4). Estas determinaciones resultan de vital importancia en la recepción de materia prima, porque al aceptar lotes de maíz dañados, los rendimientos se verían disminuidos, y al aceptar lotes de maíz contaminado, se correría el riesgo de contaminar el grano almacenado, y toda la infraestructura con la que tenga contacto.

Estas pruebas resultan importantes en la determinación de la calidad, sin embargo, la ASPAC envió las muestras ya envasadas, y por ello en este trabajo no se

desarrollaron, pues para la realización de las mismas se requiere muestra libre de daños.

Para todas estas determinaciones se realizaron los análisis estadísticos de Fisher y DUNCAN, y se utilizaron en las discusiones individuales de dureza del endospermo, proteína y almidón, dado que en estas determinaciones, las agrupaciones efectuadas por DUNCAN, resultan difíciles de comprender y es necesario explicarlas. Para el resto de las determinaciones, no fue preciso analizar detalladamente las agrupaciones realizadas por la prueba estadística, pues resultaron ser más claras.

### **6.1 Determinaciones Físicas**

Las determinaciones físicas que se aplican al maíz que están destinado para usos industriales deben ser un buen indicativo de la calidad del manejo, es decir: almacenamiento y transporte principalmente.

Las características obtenidas en las pruebas que la industria solicita pueden agruparse como indicativas de la densidad del grano e indicativas de la dureza estructural del grano.

Pruebas indicativas de la densidad del grano:

1. Densidad calculada por volumen
2. Peso de Mil Granos
3. Índice de Flotación

Pruebas Indicativas de la dureza del grano:

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

1. Dureza del Endospermo

2. Remoción de Pericarpio

6.1.1 Densidad calculada por volumen (DV):

Esta técnica es una relación peso / volumen y es una forma descriptiva de la densidad del grano. Si existe un manejo inadecuado del maíz o la presencia de plagas, se percibe una densidad por volumen bajo, pues se tiene un maíz "hueco" con un peso y tamaño menor que el de un grano sano. En seguida se presentan los valores de Densidad por volumen para las variedades estudiadas.

Tabla 6. Densidad calculada por volumen

| Muestra         | 1               | 2              | 3              | 4                | 5               | 6               | ANOVA | DUNCAN                  |
|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|-------|-------------------------|
| DV<br>(kg / hL) | 81.33<br>± 1.53 | 84.90<br>± 5.0 | 87.90<br>± 2.0 | 93.10<br>± 19.52 | 88.73<br>± 6.43 | 76.77<br>± 6.51 | *     | 6<br>1<br>2<br>3 5<br>4 |

1. Maíz Estado de México, tipo Cacahuacintle - Toluca

3. Maíz Tlaxcala, tipo Criollo Azul - Huamantla

5. Maíz Estado de México, Tipo Criollo Blanco - Jiquipilco

2. Maíz Tlaxcala, tipo Criollo Cremoso - Huamantla

4. Maíz Guanajuato, Tipo Híbrido Blanco - Manuel Doblado

6. Maíz Michoacán, Tipo Colorado - Teremendo

\* = Existe diferencia significativa

Como se observa en la tabla anterior, de las variedades estudiadas, aquellas que presentan una densidad calculada por volumen baja son el maíz tipo Colorado y el maíz tipo Cacahuacintle.

En el maíz tipo Colorado existe evidencia de daño, la cual se caracterizó por el obscurecimiento en el pericarpio de los granos, como se observa en la figura 7, el

el ennegrecimiento del pedicelo ilustrado en la figura 8 y el germen se encuentra dañado, tal como se aprecia en la figura 9.



Figura 7. Comparación del tamaño y color de los granos.



Figura 8. Comparación del germen del maíz tipo Colorado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Figura 9. Ennegrecimiento del pedicelo del grano de maíz.

Una posible explicación es la infestación con *Cephalosporium acremonium*, el cual causa la enfermedad conocida como marchitez por necrosis vascular, cuyos síntomas son similares a los presentados por la variedad previamente citada.

En el caso del maíz tipo Cacahuacintle el bajo valor de densidad por volumen, puede explicarse porque esta variedad sufrió un desgrane deficiente y poco cuidadoso.

El resto de las variedades estudiadas presentan un valor de Densidad por volumen adecuado, seguramente porque su almacenamiento y transporte fueron bien controlados y se encuentran libres de plagas.

#### 6.1.2 Peso de Mil Granos (PMG):

El peso de mil granos es útil para calcular el volumen de grano que cabe en los silos. Esta determinación indica la variabilidad entre el peso de diferentes lotes de una misma muestra; si la diferencia entre pesadas de la misma muestra es grande, se



deben buscar daños en los granos como orificios en la superficie, o exceso de humedad lo que habla de la posible presencia de plagas, o deficiencias en el almacenamiento. Cabe mencionar que al ser otro método empleado para la determinación de densidad, está en función del tamaño y forma de los granos; los cuales a su vez, están determinados por :

- a. El contenido y grosor de la cascarilla
- b. La consistencia del endospermo: relación de amilosa/amilopectina.
- c. El tamaño del germen: depende de la salud y sanidad del grano.
- d. La variedad de maíz: características fenotípicas y genotípicas.

Los resultados para PMG se encuentran listados en la tabla 7.

Tabla 7. Peso de Mil Granos

| Muestra | 1                | 2                | 3                | 4                | 5                | 6                 | ANOVA | DUNCAN                  |
|---------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------|-------------------------|
| PMG (g) | 780.42<br>± 33.4 | 349.34<br>± 2.30 | 511.96<br>± 0.03 | 315.12<br>± 0.02 | 366.40<br>± 0.03 | 458.11<br>± 10.55 | *     | 4<br>2 5<br>6<br>3<br>1 |

1. Maíz Estado de México. Tipo Cacahuacintle – Toluca

3. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Azul – Huamantla

5. Maíz Estado de México. Tipo Criollo Blanco – Jiquipilco

\* = Existe diferencia significativa

2. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Cremoso – Huamantla

4. Maíz Guanajuato. Tipo Híbrido Blanco – Manuel Doblado

6. Maíz Michoacán. Tipo Colorado – Teremendo

Como se observa en la tabla, sí se presentaron diferencias importantes entre pesadas de la misma muestra para las muestras de maíz tipo Cacahuacintle y maíz tipo Colorado, pues en ambos casos la desviación estándar resultó considerable, debido a

los daños por desgrane poco cuidadoso del primero y el daño ocasionado por *C. Acremonium* en el segundo. Además, ambas presentan un valor de contenido de humedad mayor que el del resto de las muestras, como se explicará posteriormente (ver sección 6.2.1).

En el caso del maíz tipo Híbrido Blanco por ser el de menor tamaño, presenta el valor más pequeño de peso de mil granos y el maíz tipo Cacahuacintle posee el mayor valor de peso de mil granos porque el tamaño de sus granos es grande. Esta proporcionalidad se cumple para todas las variedades, y las variedades que presentan bajos valores de desviación estándar están libres de daños.

### 6.1.3 Índice de Flotación (IF):

El índice de flotación, es un indicativo de la cantidad de granos dañados por cada cien; el grano flota debido a que se forma una burbuja de aire causada por fracturas u orificios hechos por insectos, ya sea en la superficie o dentro del mismo. Por lo tanto, el número de granos flotantes es directamente proporcional al número de granos dañados y a mayor número de granos dañados existe mayor índice de flotación. A continuación se presenta la tabla de resultados para el índice de flotación. (Tabla 8).

Tabla 8. Índice de Flotación

| Muestra | 1               | 2              | 3 | 4 | 5 | 6             | ANOVA | DUNCAN               |
|---------|-----------------|----------------|---|---|---|---------------|-------|----------------------|
| IF (%)  | 13.67<br>± 0.58 | 3.33<br>± 0.58 | 0 | 0 | 0 | 12.0<br>± 2.0 | *     | 3 4 5<br>2<br>6<br>1 |

1. Maíz Estado de México. Tipo Cacahuacintle – Toluca

3. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Azul – Huamantla

5. Maíz Estado de México. Tipo Criollo Blanco – Jiqliplico

2. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Cremoso – Huamantla

4. Maíz Guajuato. Tipo Híbrido Blanco – Manuel Doblado

6. Maíz Michoacán. Tipo Colorado – Teremendo

\* = Existe diferencia significativa

Con los resultados brindados por la tabla anterior, se confirma que el manejo tanto para el maíz tipo Colorado como para el tipo Cacahuacintle no fue adecuado, pues ambas variedades presentan un índice de flotación elevado con respecto a las especificaciones de 10% como máximo dictadas por la Norma Mexicana NMX-ff-034-1995 [Productos Alimenticios No Industrializados-Cereales-Maíz (*Zea mays* L.) Especificaciones y Métodos de prueba (Ver Anexo 4)] y presentan un valor de densidad por volumen menor que las demás variedades estudiadas. Se debe recordar que el maíz tipo Cacahuacintle sufrió un desgrane deficiente, y que el maíz tipo Colorado está posiblemente infestado por plaga.

#### 6.1.4 Dureza del endospermo (DG y DA):

Para determinar la dureza del endospermo se desarrollaron dos técnicas: Dureza por golpeo (DG) y dureza por abrasión (DA). Los resultados de dichas determinaciones fueron contradictorios en algunos casos, por lo que se decidió analizar únicamente aquellos arrojados por la técnica de dureza por golpeo, en la que se someten los granos a un peso lanzado desde una altura determinada, y se considera que esta prueba involucra sólo una variable dado que la fuerza de gravedad es constante. Por el contrario, para determinar la dureza por el método de abrasión, en el que se frota un grano sobre la superficie de una lija, se requieren dos variables: la fuerza de cizalla y la distancia que cada grano debe recorrer sobre la superficie de la lija. Ambas variables están dadas por el analista, es decir, son subjetivas y por lo tanto no son confiables.

Si el maíz presenta valores bajos de este parámetro, la prueba indica que el grano tiene mayor susceptibilidad a fracturarse y es más vulnerable al ataque de plagas. Los resultados obtenidos de la determinación por golpeo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Dureza por Golpeo.

| Muestra | 1               | 2               | 3               | 4               | 5               | 6               | ANOVA | DUNCAN         |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|----------------|
| DG (%)  | 99.76<br>± 0.19 | 99.87<br>± 0.06 | 99.87<br>± 0.05 | 99.90<br>± 0.02 | 99.87<br>± 0.02 | 99.83<br>± 0.04 | N. S. | 1 6 3 5 2<br>4 |

1. Maíz Estado de México. Tipo Cacahuacintle - Toluca

2. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Cremoso - Huamantla

3. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Azul - Huamantla

4. Maíz Guanajuato. Tipo Híbrido Blanco - Manuel Doblado

5. Maíz Estado de México. Tipo Criollo Blanco - Jiquipilco

6. Maíz Michoacán. Tipo Colorado - Teremendo

N S = No hay diferencia significativa

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que tanto el maíz tipo Cacahuacintle como el maíz tipo Colorado poseen el menor valor de dureza de todas las variedades analizadas y por lo tanto son más susceptibles al ataque de plagas y a fracturas por manejo. A pesar de que éstos valores no presentan diferencias significativas con respecto al resto de las muestras, en este análisis particular, con los resultados de otras pruebas, como índice de flotación y remoción de pericarpio, esto puede confirmarse.

Según la agrupación de muestras por el método de DUNCAN, no existe diferencia significativa entre las muestras a excepción de la variedad de maíz tipo Híbrido Blanco, que presenta el valor más elevado, aunque todas las variedades poseen un alto valor de dureza. Cabe mencionar que la industria prefiere valores de dureza medianos para que el costo de la molienda no sea tan elevado.

#### 6.1.5 Remoción de Pericarpio (RP):

Por último, la remoción de pericarpio es un indicativo de la facilidad con la que cada variedad de maíz responde al proceso de nixtamalización. Serna-Saldivar, S. O.(1987) considera que a mayor porcentaje de pericarpio removido, el grano es más adecuado

para procesos de cocimiento alcalino, ya que después de este proceso, el grano se enjuaga para removerlo en lo posible.

El método de remoción de pericarpio involucra un proceso de nixtamalización seguido por la tinción de los granos con una mezcla de los colorantes eosina y azul de metileno. Esta determinación es una de las más indicativas, pues la nixtamalización se aplica en los procesos de industrialización de maíz en México, sector primordial en el país, y se encuentra detallado en una norma, aunque el proceso de nixtamalización de la norma es ligeramente diferente al proceso tradicional.

Cabe señalar que fue necesario realizar una adecuación de la escala visual de la Norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 ( Ver Tabla 10), que maneja valores arbitrarios de 1 a 5 en las observaciones.

Tabla 10. Escala de valores de la norma de nixtamalización

| <b>Observación</b>   | <b>Valor</b> |
|--|--------------|
| Pericarpio totalmente removido del grano a los 10 min, en todos los granos analizados.   | 1            |
| Pericarpio totalmente removido del grano a los 15 min, en todos los granos analizados.   | 2            |
| Pericarpio removido en el 60 % de los granos analizados en 15 min.   | 3            |
| Se inicia separación del pericarpio del endospermo en el 60 % de los granos a los 15 min.  | 4            |
| Poco cambio, probablemente se presenta hinchazón de algunos granos y hasta presenten burbujas en el pericarpio sin llegar a separarse del endospermo a los 15 min. | 5            |

. Los resultados de acuerdo con el método de May-Gruenwald, son expresados en % de pericarpio removido, en donde, dependiendo de la cantidad de pericarpio removido, el colorante se fija en diferentes capas de la aleurona y, por lo tanto se

obtiene un color distinto de acuerdo con la cantidad remanente de pericarpio. Este porcentaje se evalúa con la siguiente escala visual:

- a) 100% de pericarpio – grano blanco
- b) 75% de pericarpio – grano verde – lila
- c) 50% de pericarpio – grano de color verde oscuro o morado
- d) 25% de pericarpio – grano de color azul
- e) 0% de pericarpio – grano azul verdoso

Dado lo anterior, se consideró el punto 5 de la norma equivalente al inciso e de la escala visual y el punto 1 de la norma, como el inciso a de la escala de May – Gruenwald. La norma considera que el valor óptimo de remoción de pericarpio es mayor a 2, lo que se interpreta como de 75% de pericarpio removido o más.

Los resultados de esta determinación se presentan en la tabla 11.

Tabla 11. Remoción de Pericarpio.

| Muestra | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | ANOVA | DUNCAN |
|---------|----|----|----|----|----|----|-------|--------|
| RP (%)  | 75 | 50 | 75 | 25 | 50 | 75 | N. S  | N. A   |

1. Maíz Estado de México. Tipo Cacahuacintle – Toluca

3. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Azul – Huamantla

5. Maíz Estado de México. Tipo Criollo Blanco – Jiquipilco

\* = Existe diferencia significativa

2. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Cremoso – Huamantla

4. Maíz Guanajuato. Tipo Híbrido Blanco – Manuel Doblado

6. Maíz Michoacán. Tipo Colorado – Teremendo

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Para tener una idea más clara sobre los resultados, la siguiente figura (10) muestra las imágenes de los granos sometidos a la prueba de remoción de pericarpio.



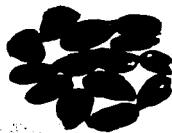
Maíz Tipo  
Cacahuacintle



Maíz Tipo  
Criollo Cremoso



Maíz Tipo Criollo Azul



Maíz Tipo  
Híbrido Blanco



Maíz Tipo Criollo  
Blanco



Maíz Tipo Colorado

Figura 10. Imágenes de Remoción de Pericarpio

Con los resultados arrojados para esta determinación, se concluye que las variedades más recomendables para ser sometidas al proceso de nixtamalización son el maíz tipo Cacahuacintle, el maíz tipo Criollo Azul y el maíz tipo Colorado, ya que sus valores de remoción de pericarpio se encuentran dentro de los parámetros dictados por

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

la Norma Mexicana de nixtamalización de maíz blanco NMX-FF-034/1-SCFI-2002 ( Ver Anexo 4).

A pesar de que esta norma se refiere únicamente a maíz blanco, en México el proceso de nixtamalización se realiza también para variedades de otros colores (amarillos, azules e inclusive a rojos), razón por la cual las especificaciones de la norma se extrapolaron a las variedades coloridas utilizadas en este estudio.

Las variedades de maíz tipo Criollo Cremoso y tipo Criollo Blanco podrían aplicarse a la industria del nixtamal, ya que presentan un valor medio de remoción de pericarpio (50%), aunque, no es el óptimo (75% o más). La variedad de maíz tipo Híbrido Blanco no se recomienda para nixtamalización, porque su remoción de pericarpio es muy baja. Sin embargo la remoción de pericarpio tanto para el maíz tipo Criollo Azul, así como para el tipo Colorado fueron las óptimas.

Todas las determinaciones físicas requieren para su realización que la muestra de estudio se presente en forma de grano entero, porque es en esta forma en la que el maíz se almacena después de la cosecha.

En la tabla 12 se encuentra el resumen de los resultados obtenidos para las determinaciones físicas.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**



Tabla 12. Determinaciones Físicas

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

| Nombre de la muestra                                  | DV <sup>1</sup><br>(g/dm <sup>3</sup> ) | PMG <sup>2</sup><br>(g)    | IF <sup>3</sup><br>(%)     | DG <sup>4</sup><br>(%)     | DA <sup>5</sup><br>(%)     | RP <sup>6</sup><br>(%) |
|---|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| 1. Maíz Edo. Méx. Tipo Cacahuacintle Toluca           | 813.3 ± 1.53                            | 780.42 ± 33.4              | 13.67 ± 0.58               | 99.76 ± 0.19               | 99.54 ± 0.28               | 75                     |
| 2. Maíz Tlaxcala, Tipo Criollo Cremoso Huamantla      | 849.0 ± 5.0                             | 349.34 ± 2.30              | 3.33 ± 0.58                | 99.87 ± 0.06               | 99.43 ± 0.12               | 50                     |
| 3. Maíz Tlaxcala Tipo Criollo Azul Huamantla          | 879.0 ± 2.0                             | 511.96 ± 0.03              | 0                          | 99.87 ± 0.05               | 99.40 ± 0.07               | 75                     |
| 4. Maíz Guanajuato Tipo Híbrido Blanco Manuel Doblado | 931.0 ± 19.52                           | 315.12 ± 0.02              | 0                          | 99.90 ± 0.02               | 99.50 ± 0.07               | 25                     |
| 5. Maíz Edo. Méx. Tipo Criollo Blanco Jiquipilco      | 887.3 ± 6.43                            | 366.40 ± 0.03              | 0                          | 99.87 ± 0.02               | 99.43 ± 0.10               | 50                     |
| 5. Maíz Michoacán Tipo Colorado Teremendo             | 767.7 ± 6.51                            | 458.11 ± 10.55             | 12.0 ± 2.0                 | 99.83 ± 0.04               | 98.46 ± 0.59               | 75                     |
| Análisis de Varianza Fisher                           | -                                       | -                          | -                          | N. S.                      | -                          | N. S.                  |
| DUNCAN  | 6<br>1<br>2<br>3<br>4                   | 4<br>2<br>5<br>6<br>3<br>1 | 3<br>4<br>5<br>2<br>6<br>1 | 1<br>6<br>3<br>5<br>2<br>4 | 6<br>3<br>2<br>5<br>4<br>1 | N. A.                  |

1. DV = Densidad calculada por volumen  
 3. IF = Índice de flotación  
 5. DA = Dureza por abrasión  
 \* = Existe diferencia significativa  
 N. A. = No Aplicable

2. PMG = Peso de mil granos  
 4. DG = Dureza por golpeo  
 6. RP = Remoción de pericarpio  
 N. S. = No hay diferencia significativa

## 6.2 Determinaciones Fisicoquímicas

Las determinaciones fisicoquímicas proporcionan información cuantitativa acerca de la composición del grano, lo que contribuye a conocer la funcionalidad de cada variedad que, junto con las propiedades físicas, permite proponer una aplicación industrial adecuada para cada caso.

### 6.2.1 Contenido de humedad:

La Norma Mexicana NMX-ff-034-1995, especifica que el valor de humedad permitido como máximo es de 14% (Ver Anexo 4), ya que si este se excede proporciona una mayor actividad acuosa, lo que implica principalmente una mayor susceptibilidad del alimento a ataques microbianos. Los resultados obtenidos para esta determinación se encuentran resumidos en la tabla 13.

Tabla 13. Contenido de Humedad.

| Muestra                         | 1               | 2               | 3               | 4               | 5               | 6               | ANOVA | DUNCAN            |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|-------------------|
| Humedad<br>(g/100 g<br>muestra) | 11.94<br>± 0.05 | 10.76<br>± 0.04 | 11.84<br>± 0.11 | 11.27<br>± 0.05 | 10.61<br>± 0.53 | 12.13<br>± 0.12 | *     | 5 2<br>4<br>3 1 6 |

1. Maíz Estado de México. Tipo Cacahuacintle - Toluca  
3. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Azul - Huamantla  
5. Maíz Estado de México. Tipo Criollo Blanco - Jiquipilco

2. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Cremoso - Huamantla  
4. Maíz Guajuato. Tipo Híbrido Blanco - Manuel Doblado  
6. Maíz Michoacán. Tipo Colorado - Teremendo

\* = Existe diferencia significativa

Según la Norma anteriormente citada, todas las variedades de maíz se encuentran dentro del valor permitido. La variedad que presenta el valor más cercano al máximo permitido por la norma es el maíz tipo Colorado, el cual resultó susceptible a la contaminación microbiana, de acuerdo a la discusión de la densidad calculada por volumen.

A partir de esta determinación, los resultados se expresaron en base seca con la finalidad de hacer comparaciones objetivas.

### 6.2.2 Contenido de cenizas:

El contenido de cenizas no es un valor relevante a nivel industrial debido a que el maíz no se considera como una fuente importante de minerales, sin embargo, si se le somete al proceso de nixtamalización, se aumenta de manera importante el contenido de calcio. (Serna-Saldívar S. O., 1990), lo que provee a la población mexicana un buen aporte de este importante micronutriente. En la tabla 14 se enlistan los resultados del contenido de cenizas.

Tabla 14. Contenido de Cenizas

| Muestra                   | 1             | 2              | 3              | 4              | 5              | 6              | ANOVA | DUNCAN                     |
|---------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------------------|
| Cenizas (g/100 g muestra) | 1.73<br>±0.17 | 1.57<br>± 0.06 | 1.81<br>± 0.03 | 2.07<br>± 0.02 | 1.67<br>± 0.02 | 2.59<br>± 0.03 | *     | 2<br>5<br>1<br>3<br>4<br>6 |

1. Maíz Estado de México. Tipo Cacahuacintle - Toluca  
 3. Maíz Tlaxcala, Tipo Criollo Azul - Huamantla  
 5. Maíz Estado de México. Tipo Criollo Blanco - Jiquipilco  
 \* = Existe diferencia significativa

2. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Cremoso - Huamantla  
 4. Maíz Guanajuato, Tipo Híbrido Blanco - Manuel Doblado  
 6. Maíz Michoacán. Tipo Colorado - Teremendo

De los resultados presentados en la tabla anterior, llama la atención que las variedades cultivadas en la misma región como el maíz tipo Criollo Cremoso y tipo Criollo Azul de Huamantla, así como el maíz tipo Cacahuacintle y tipo Criollo Blanco del Estado de México no presenten valores similares en el porcentaje de cenizas, lo cual se debe a que el contenido de minerales presentes en el maíz dependen no sólo de la calidad del suelo de cultivo, si no tanto de la cantidad y tipo de fertilizantes, además de las características genotípicas de cada variedad. Las variedades que presentan los

**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**

valores más altos de este componente son el maíz tipo Colorado y el tipo Híbrido Blanco.

### 6.2.3 Contenido de fibra cruda:

La fibra dietaria está constituida por polisacáridos no almidonosos en los que se incluyen hemicelulosa, celulosa, pectinas y gomas ( Selvendran, 1998). A pesar de que la fibra no es uno de los componentes mayoritarios del maíz, le brinda a los productos nixtamalizados una ventaja adicional, pues en este proceso no se tamiza y en consecuencia se obtienen productos "integrales" con las ventajas que representan en una dieta balanceada.

En la determinación de fibra cruda los componentes evaluados incluyen: ligninas, cantidades variables de celulosa y hemicelulosa ( Selvendran, 1998). En la tabla 15 se presentan los resultados obtenidos para esta determinación.

Tabla 15. Contenido de Fibra Cruda

| Muestra                       | 1             | 2             | 3             | 4             | 5             | 6             | ANOVA | DUNCAN            |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|-------------------|
| Fibra cruda (g/100 g muestra) | 1.20<br>±0.21 | 2.28<br>±0.11 | 1.55<br>±0.06 | 1.70<br>±0.04 | 2.05<br>±0.17 | 1.51<br>±0.15 | *     | 1<br>6 3 4<br>2 5 |

1. Maíz Estado de México. Tipo Cacahuacintle - Toluca

2. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Cremoso - Huamantla

3. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Azul - Huamantla

4. Maíz Guanajuato. Tipo Híbrido Blanco - Manuel Doblado

5. Maíz Estado de México. Tipo Criollo Blanco - Jiquipilco

6. Maíz Michoacán. Tipo Colorado - Teremendo

\* = Existe diferencia significativa

La composición promedio de fibra en el maíz según Watson y Ramstad (1987) es de 2.2%. Como podemos observar en la tabla de resultados, el maíz tipo Cacahuacintle y el maíz tipo Colorado son las variedades que presentan los menores valores. Se

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

aproximan un poco más al valor promedio el maíz tipo Criollo Azul y el maíz tipo Híbrido Blanco y los que presentan el valor más alto de fibra son el maíz tipo Criollo Blanco y el maíz tipo Criollo Cremoso.

La fibra es una característica que ocurre genotípicamente, razón por la cual resulta diferente para cada variedad.

Se presume que estos valores son afectados por las condiciones de transporte y manejo, en las cuales los granos de maíz chocan entre sí y por lo tanto pierden pericarpio debido a la fricción que ocurre entre ellos. La constante manipulación de la muestra a lo largo de la técnica también provoca pérdida de fibra, pues su desarrollo requiere una serie de filtrados, trasvases y lavados.

#### 6.2.4 Contenido de proteína:

En México el consumo diario *per capita* de maíz va de 285 a 480 g, y un 40% de la proteína dietaria se deriva del maíz (Bourges, 2000), principalmente por ser su fuente más económica (Katz, 1974) a pesar de sus deficiencias nutricias: es deficiente en lisina y triptofano.

No existe una industria en particular para el aprovechamiento de las proteínas de maíz, aunque la industria del almidón exige un porcentaje elevado de éstas. El subproducto derivado de dicha industria, llamado "gluten" de maíz, donde se concentra la mayor parte de las proteínas es apreciado por el sector ganadero, que lo emplea como forraje y beneficia la producción de leche y mejora las características sensoriales de los productos avícolas. (Ing. Ernesto Maya, Almidones Mexicanos, comunicación personal). Los resultados para esta prueba se muestran en la tabla 16.

Tabla 16. Contenido de Proteína

| Muestra                                  | 1              | 2              | 3              | 4               | 5              | 6              | ANOVA | DUNCAN            |
|--|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-------|-------------------|
| Proteína<br>(N*6.25)(g/100<br>g muestra) | 7.45<br>± 0.29 | 8.47<br>± 0.15 | 8.38<br>± 0.29 | 7.57<br>± 00.45 | 7.65<br>± 0.14 | 1.27<br>± 0.26 | *     | 6<br>1 4 5<br>2 3 |

1. Maíz Estado de México. Tipo Cacahuacintle - Toluca

2. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Cremoso - Huamantla

3. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Azul - Huamantla

4. Maíz Guanajuato. Tipo Híbrido Blanco - Manuel Doblado

5. Maíz Estado de México. Tipo Criollo Blanco - Jiquipilco

6. Maíz Michoacán. Tipo Colorado - Teremendo

\* = Existe diferencia significativa

El contenido de proteína del maíz tipo Colorado llama la atención porque presenta un valor extremadamente bajo, sin embargo se debe considerar que esta variedad que al parecer presentó una infestación con *C. Acremonium*, llegó al laboratorio sin daño aparente, pero durante el almacenamiento de la muestra la infestación y el daño al germen se desarrollaron. Al presentarse esta contaminación fungal que afecta principalmente al germen del grano, y al concentrarse aquí la mayoría de las proteínas, es razonable pensar que ésta sea la causa principal de la deficiencia de este componente.

Los resultados obtenidos tanto para el maíz tipo Criollo Cremoso como para el maíz tipo Criollo Azul son similares y son los valores más altos. El resto de las muestras fueron organizadas con ayuda de la prueba de DUNCAN en un mismo grupo porque no existe diferencia significativa entre sus valores.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 6.2.5 Contenido de almidón:

El almidón es un producto obtenido del maíz muy importante porque a partir de aquél se obtiene una gran variedad de subproductos ampliamente utilizados a nivel industrial. Además, es el componente mayoritario de este grano y constituye la mayor proporción del endospermo del mismo. Los resultados se observan en la tabla 17.

Tabla 17. Contenido de Almidón

| Muestra                       | 1               | 2               | 3               | 4               | 5               | 6               | ANOVA | DUNCAN            |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|-------------------|
| Almidón<br>(g/100gde muestra) | 83.72 ±<br>3.20 | 77.21 ±<br>1.36 | 82.82 ±<br>0.45 | 81.73 ±<br>2.25 | 74.91 ±<br>0.88 | 80.87 ±<br>2.21 | *     | 2 5<br>6<br>1 3 4 |

1. Maíz Estado de México, Tipo Cacahuacintle - Toluca  
 2. Maíz Tlaxcala, Tipo Criollo Cremoso - Huamantla  
 3. Maíz Tlaxcala, Tipo Criollo Azul - Huamantla  
 4. Maíz Guanaajuato, Tipo Híbrido Blanco - Manuel Doblado  
 5. Maíz Estado de México, Tipo Criollo Blanco - Jiqliplico  
 6. Maíz Michoacán, Tipo Colorado - Teremendo  
 \* = Existe diferencia significativa

Se correlacionaron los resultados de almidón con los de peso de mil granos y se observa que el contenido de almidón es proporcional al tamaño del endospermo. En este sentido y de acuerdo con los subgrupos formados por la prueba de DUNCAN, de las variedades analizadas el maíz tipo Cacahuacintle y el maíz tipo Criollo Azul son los que presentan un mayor contenido de almidón, seguidos por la variedad de maíz tipo Colorado.

Los granos más pequeños corresponden a las variedades de maíz tipo Criollo Cremoso y tipo Criollo Blanco, por lo que presentan un contenido de almidón bajo. En el caso del maíz tipo Híbrido Blanco se observa un contenido elevado de almidón a pesar de que no es un grano muy grande, una posible explicación para este fenómeno

sería que los porcentajes de la composición de esta variedad son diferentes genotípicamente a los porcentajes del resto de las variedades estudiadas.

Las seis variedades estudiadas tienen apariencia almidonosa, la cual se debe a que presentan más amilosa que amilopectina. Esta relación amilosa/amilopectina se aprovecha para la obtención de fécula de maíz, sin embargo no es deseable para la industria del nixtamal, pues se obtiene una harina grumosa que hace que las tortillas sean quebradizas. Existen algunas variedades de maíces híbridos amarillos que poseen una relación amilosa/amilopectina más balanceada, sin embargo éstos no ocurren de manera natural. La industria considera la amplia diversidad de variedades criollas, y realiza mezclas entre ellas para resolver el problema del balance amilosa/amilopectina, además de mantener costos. Desafortunadamente no se encontró metodología alguna que detectara dicho balance.

#### 6.2.6 Contenido de grasa (aceite):

Un derivado muy valioso de la industria del almidón es el aceite de maíz. Para que una variedad de maíz sea considerada "aceitera" su contenido de aceite debe ser alrededor de  $7.5\% \pm 0.5$  (Warner y Knowlton, 1997), asimismo, el porcentaje promedio de aceite en el maíz es de 4.8% (Watson y Ramstad, 1987). El contenido de aceite es una característica genotípica del grano. La tabla 18 muestra los resultados obtenidos.



Tabla 18. Contenido de Grasa

| Muestra                 | 1              | 2              | 3              | 4              | 5              | 6              | ANOVA | DUNCAN             |
|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|--------------------|
| Grasa (g/100 g muestra) | 4.97<br>± 0.54 | 5.21<br>± 0.23 | 5.24<br>± 0.40 | 4.33<br>± 0.04 | 5.19<br>± 0.31 | 4.91<br>± 0.49 | N. S  | 4 6 1<br>6 1 5 2 3 |

1. Maíz Estado de México. Tipo Cacahuacintle - Toluca  
 2. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Cremoso - Huamantla  
 3. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Azul - Huamantla  
 4. Maíz Guanajuato. Tipo Híbrido Blanco - Manuel Doblado  
 5. Maíz Estado de México. Tipo Criollo Blanco - Jilquipilco  
 6. Maíz Michoacán. Tipo Colorado - Teremendo  
 \* = Existe diferencia significativa

Cabe mencionar que ninguna de las variedades estudiadas son candidatas para la industria aceitera, sin embargo la mayoría de ellas superan el valor promedio del contenido de aceite, las cuáles son: el maíz tipo Colorado, el maíz tipo Cacahuacintle, el maíz tipo Criollo Blanco, el maíz tipo Criollo Cremoso y el maíz tipo Criollo Azul, y la única variedad que incluso queda debajo del promedio en su composición de grasa es el maíz tipo Híbrido Blanco.

#### 6.2.7 Perfil de ácidos grasos:

El maíz es importante desde el punto de vista nutricional, por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (AGPs). Algunos de estos ácidos son esenciales, como linoleico, linolénico y araquidónico. Los ácidos grasos son clasificados como esenciales basándose en la posición del primer doble enlace del metilo terminal en la cadena del acilo.

Los mamíferos no poseen enzimas capaces de sintetizar dobles enlaces en las posiciones n-6 y n-3 de la cadena de carbono del ácido graso. De ahí que los humanos deben obtener los ácidos grasos esenciales, ácido linoleico y ácido linolénico de la dieta, pues los requiere para algunas de sus funciones metabólicas, como por ejemplo,

síntesis de otros ácidos grasos, biosíntesis del colesterol y oxidación de ácidos grasos (Jones y Papamandjaris, 2001).

Los AGPs son clasificados en dos familias, los omega 6 o n-6 y los omega 3 o n-3, ambos tienen diferentes funciones fisiológicas en la regulación de procesos biológicos, por lo que son llamados ácidos grasos funcionales, al igual que el ácido oleico. (Schmidl y Labuza, 2000)

El ácido linoleico (18:2n-6) es un AGPn-6; se encuentra principalmente en plantas y es convertido por insaturación y elongación, dentro del organismo del ser humano, hacia ácido araquidónico (20:4n-6), que es mucho más difícil de encontrar. De manera similar, el ácido linoléico (18:3n-3) que se obtiene de fuentes vegetales, es convertido en ácido eicosapentaenoico (20:5n-5) y ácido docosahexaenoico (22:6n-3) que tienen como únicas fuentes a los aceites de origen marino (Schmidl y Labuza, 2000). Ambas familias de AGPs son esenciales para el crecimiento y para el desarrollo y mantenimiento de la buena salud. El interés en los ácidos de estas familias ha aumentado recientemente, en parte porque se ha reportado que estos ácidos son protectores contra las enfermedades cardiovasculares e inflamatorias y para ciertos tipos de cáncer, además de que son nutrientes esenciales, tanto para adultos como para niños (Bowman y Russel, 2001).

Existen diversas razones para buscar un aceite alto en ácido oleico, pues las grasas y aceites que se desean utilizar para freír de manera comercial, deben estar estabilizados para prevenir el deterioro por oxidación, polimerización e hidrólisis durante el uso de temperaturas elevadas. Esto se logra modificando la composición de ácidos grasos, lo cual puede efectuarse por diversos métodos. Químicamente se

pueden alterar los niveles existentes de ácidos grasos en un aceite, por medio de la hidrogenación, la cual aumenta los ácidos grasos saturados y disminuye los insaturados para producir un aceite más estable (Warner y Knowlton, 1997). Sin embargo, la hidrogenación incrementa los costos para la industria aceitera, además de que una pequeña proporción de los ácidos grasos no hidrogenados cambia de configuración de *cis* a *trans*, que en la alimentación del ser humano se traduce en un aumento del contenido de colesterol en sangre y una disminución de las proteínas de alta densidad que son deseables. Los resultados del perfil de ácidos grasos se encuentran listados en la tabla 19 (Ver Anexo 3).

Tabla 19. Perfil de Ácidos Grasos

| Ésteres Metilícos | Tr (min) | Maíz Tipo Cacahuacintle | Maíz Tipo Criollo Cremoso | Maíz Tipo Criollo Azul | Maíz Tipo Híbrido Blanco | Maíz Tipo Criollo Blanco | Maíz Tipo Colorado |
|-------------------|----------|-------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
| NI                | 13.19    |                         | 0.56 g                    | 0.42 g                 | 0.2 g                    | 0.22 g                   |                    |
| C14               | 13.64    |                         | 0.12 g                    |                        |                          |                          |                    |
| C16               | 15.71    | 12.75 g                 | 12.99 g                   | 13.44 g                | 14.51 g                  | 13.06 g                  | 13.49 g            |
| C16:1n7           | 15.95    |                         | 0.19 g                    |                        |                          |                          |                    |
| C16:2n4           | 16.63    |                         | 0.14 g                    |                        |                          |                          |                    |
| NI                | 17.19    |                         | 0.09 g                    |                        |                          |                          |                    |
| C18               | 17.62    | 4.08 g                  | 4.16 g                    | 4.23 g                 | 2.41 g                   | 4.06 g                   | 2.9 g              |
| NI                | 17.69    |                         | 0.16 g                    |                        |                          |                          |                    |
| <b>C18:1n9</b>    | 17.79    | <b>41.08 g</b>          | <b>41.47 g</b>            | <b>42.07 g</b>         | <b>31.55 g</b>           | <b>40.98 g</b>           | <b>37.65 g</b>     |
| C18:1n7           | 17.85    |                         |                           |                        | 0.58g                    |                          |                    |
| NI                | 18.11    |                         | 0.21 g                    |                        |                          |                          |                    |
| <b>C18:2n6</b>    | 18.2     | <b>40.96 g</b>          | <b>37.87 g</b>            | <b>38.46 g</b>         | <b>49.05 g</b>           | <b>40.1 g</b>            | <b>44.55 g</b>     |
| <b>C18:3n3</b>    | 18.76    | <b>1.13 g</b>           | <b>1.03 g</b>             | <b>0.98 g</b>          | <b>1 g</b>               | <b>1.05 g</b>            | <b>1.05 g</b>      |
| C18:4n3           | 18.98    |                         | 0.08 g                    |                        |                          |                          |                    |
| NI                | 19.4     |                         | 0.56 g                    | 0.4 g                  | 0.44 g                   | 0.41 g                   | 0.3 g              |
| C20:1n9           | 19.57    |                         | 0.26 g                    |                        | 0.27 g                   | 0.12 g                   | 0.06 g             |
| C22:1n9           | 21.61    |                         | 0.12 g                    |                        |                          |                          |                    |

g= gramos /100 gramos de fracción

NI = Ácido graso no identificado

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Como se observa en la tabla anterior, en general todas las variedades presentan un contenido de ácidos linoleico y linolénico que se encuentran dentro de los parámetros dictados por la Norma Mexicana de aceite de maíz, NMX-F-030-1985 (Ver Anexo 4) que indica que debe existir de 34 a 62 % de ácido linoleico (18:2n-6) y de 0 a 2 % de ácido linolénico (18:3n-3) (Ver Anexo 4). La variedad de maíz que contiene mayor diversidad de ácidos grasos es el maíz tipo Criollo Cremoso.

Cabe señalar que ninguna de las variedades estudiadas, contiene ácido araquidónico (20:4n-6) por lo que es muy importante que presenten ácido linoleico (18:2n-6) para que el metabolismo lo convierta en ácido araquidónico por medio de las reacciones antes mencionadas.

Recientemente se creó una gran polémica en torno a la creación y solicitud de la patente de una variedad de maíz con alto contenido de aceite (>6%) y de ácido oleico (>55% de los ácidos grasos totales) sometida por DuPont, cuya finalidad era obtener aceite más estable a altas temperaturas durante el proceso de freído, sin necesidad de llevar a cabo el proceso de hidrogenación (Solicitud de patente EP 0 744 888 B1).

Dicha patente fue rechazada, ya que se argumentó que existen variedades criollas, como el Dulcillo, Tabloncillo, Dulce, Onaveño, Jala y Naltel, tienen las especificaciones que la patente indicaba de forma natural, es decir 6% de aceite y 55% de ácido oleico (Cortés, 2001). Esto fue suficiente para anular la solicitud de patentar esta variedad de maíz, al menos en la Unión Europea.

Como podemos observar en la tabla de resultados las variedades estudiadas contienen un porcentaje considerable de ácido oleico (18:1n9), aunque no alcanzan los

valores indicados en la patente. Las variedades que presentan los mayores porcentajes son el maíz tipo Criollo Azul, el maíz tipo Criollo Cremoso, el maíz tipo Cacahuacintle y el maíz tipo Criollo Blanco. Los cromatogramas se encuentran adjuntos en el Anexo 3.

En la tabla 20 se presenta el conjunto de los resultados obtenidos para las determinaciones fisicoquímicas, las cuales fueron explicadas anteriormente de manera individual.

Tabla 20. Análisis Químico Proximal (Base Seca)

| Nombre de la muestra                                  | Cenizas (g/100 g muestra) | Fibra (g/100 g muestra) | Proteína (g/100 g muestra) | Grasa (g/100 g muestra) | Carbohidratos (g/100 g muestra) |
|---|---------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 1. Maíz Edo Méx. Tipo Cacahuacintle Toluca            | 1.73 ± 0.17               | 1.30 ± 0.21             | 7.45 ± 0.29                | 4.97 ± 0.54             | 84.65 ± 2.42                    |
| 2. Maíz Tlaxcala, Tipo Criollo Cremoso Huamantla      | 1.57 ± 0.06               | 2.28 ± 0.11             | 8.47 ± 0.15                | 5.21 ± 0.23             | 82.47 ± 1.10                    |
| 3. Maíz Tlaxcala Tipo Criollo Azul Huamantla          | 1.81 ± 0.03               | 1.65 ± 0.06             | 8.38 ± 0.29                | 5.24 ± 0.40             | 83.02 ± 0.76                    |
| 4. Maíz Guanajuato Tipo Híbrido Blanco Manuel Doblado | 2.07 ± 0.02               | 1.80 ± 0.04             | 7.57 ± 0.45                | 4.33 ± 0.04             | 84.33 ± 0.90                    |
| 5. Maíz Edo Méx. Tipo Criollo Blanco Jiquipilco       | 1.67 ± 0.06               | 2.05 ± 0.17             | 7.65 ± 0.14                | 5.19 ± 0.31             | 83.44 ± 0.82                    |
| 6. Maíz Michoacán Tipo Colorado Teremendo             | 2.59 ± 0.03               | 1.51 ± 0.15             | 1.27 ± 0.26                | 4.91 ± 0.49             | 89.72 ± 1.86                    |
| Análisis de Varianza Fisher                           | "                         | "                       | "                          | N. S.                   | N. S.                           |
| Duncan  | 2 5<br>1 3<br>4<br>6      | 1<br>6 3 4<br>2 5       | 6<br>1 4 5<br>2 3          | 4 6 1<br>6 1 5 2 3      | 2 3 5<br>4 1<br>6               |

\* Existe diferencia significativa.

N.S.= No hay diferencia significativa.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 7. Aplicación industrial recomendada:

En general, para la industria mexicana el mejor maíz es el de menor precio y utilizan maíces de calidad U.S. 2 y U.S. 3 de acuerdo a las Especificaciones para la Importación del maíz blanco y amarillo de Estados Unidos de Norteamérica (ANDSA), listadas en la tabla 21. Los maíces que caen dentro de esta clasificación son de una calidad media a media superior, sin llegar a ser de calidad U.S. 1, ya que resulta demasiado costosa.

Tabla 21. Especificaciones para la importación del maíz blanco y amarillo de Estados Unidos de Norteamérica (ANDSA).

| Tipo | Peso/volumen |        | % Hum. | Material extraño y quebrado % | Granos dañados |             | % Otros colores |          |
|------|--------------|--------|--------|-------------------------------|----------------|-------------|-----------------|----------|
|      | lb/bushel    | kg/Hl  |        |                               | Calor (%)      | Totales (%) | Blanco          | Amarillo |
|      | mínimo       | máximo |        |                               | Límites        | máximo      |                 |          |
| 1    | 56.0         | 72.1   | 14.0   | 2.0                           | 0.1            | 3.0         | 2.0             | 5.0      |
| 2    | 54.0         | 69.5   | 15.5   | 3.0                           | 0.2            | 5.0         | 2.0             | 5.0      |
| 3    | 52.0         | 66.9   | 17.5   | 4.0                           | 0.5            | 7.0         | 2.0             | 5.0      |
| 4    | 49.0         | 63.1   | 20.0   | 5.0                           | 1.0            | 10.0        | 2.0             | 5.0      |
| 5    | 46.0         | 59.2   | 23.0   | 7.0                           | 3.0            | 15.0        | 2.0             | 5.0      |

Fuente: Industrializadora de Maíz, IM1-ID-022, Revisión 1, Junio 1999, p. 2  
% Hum. Máximo permitido

La Cámara Nacional de Maíz Industrializado señala que existen principalmente dos razones por las cuales la industria no suele utilizar variedades de maíz criollo:

1. La primera es que los criollos no son predecibles en su eficacia industrial, esto quiere decir que por las características climatológicas tan variadas que existen en México nadie asegura que las cosechas sean constantes en cuanto a rendimiento y composición del maíz.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

2. Además se debe de considerar que el maíz es un cultivo de polinización abierta y que evoluciona constantemente. Si una carga de maíz es una mezcla de la producción de varias localidades, entonces el producto final, en su conjunto no resulta homogéneo en color, consistencia o cualquier otro parámetro, es decir, una mezcla de criollos no es homogénea porque los criollos no son iguales entre ellos.

No existe una normatividad que agrupe los requerimientos de todas las industrias de productos de maíz, pues cada aplicación requiere de diferentes parámetros. No obstante, algunas de estas industrias han marcado estándares para aceptar o rechazar los lotes de materia prima. A continuación se enlistan algunas de las principales industrias de productos de maíz en México, que de alguna manera realizan un control de recepción de materia prima.

### **7.1 Industria del nixtamal**

Las especificaciones dictadas por la Norma Mexicana de nixtamalización en maíz blanco, NMX-FF-034/1-SCFI-2002 son: humedad menor al 14%, Densidad por volumen mayor a  $740 \text{ g/dm}^3$ , índice de flotación máximo de 40%, con un porcentaje de pericarpio removido mayor o igual a 75, y son totalmente cumplidas por el maíz Tipo Cacahuacintle. Ver Anexo 4.

Sin embargo, esta norma no permite, con la información en ella contenida, distinguirlo por su balance de endospermo córneo/ harinoso, por lo que, la industria del nixtamal no lo considera como el óptimo, dado que, por su balance que no produce una gelatinización adecuada de los almidones durante el proceso de cocimiento alcalino. Es importante mencionar que algunas empresas, como MASECA prefieren las variedades

criollas de color blanco para la elaboración de harina de nixtamal, sin embargo la decisión final estará siempre afectada por el factor económico que resulta determinante.

Para la industria del nixtamal la relación de endospermo córneo o cristalino y harinoso, es muy importante pues se refleja directamente en la textura y manejabilidad de las tortillas, es decir si no es óptima se tendrá una tortilla quebradiza y grumosa.

Además, las variedades de maíz tipo Cacahuacintle son específicas para la elaboración del pozole que es un platillo típico, y por ello sería un buen sujeto de "propiedad intelectual suave", como denominación de origen o algo similar, que le proporcionaría un valor agregado en el comercio y un mayor precio. Para utilizar esta variedad para otras aplicaciones habría que pagar un sobreprecio que no resultaría conveniente para algunos procesos de bajo valor agregado como la producción de nixtamal y tortillas.

En México se acostumbra el uso tanto de maíz azul como de maíz blanco para la fabricación de tortillas y harina nixtamalizada. En este caso, el maíz tipo Criollo Azul por las características que posee, además de cumplir con las especificaciones de la norma, es uno de los seleccionados por la industria de harina nixtamalizada. (Ver Anexo 4)

El maíz Tipo Colorado, suele emplearse en la industria harinera formando mezcla con variedades blancas o amarillas, porque si se utilizan únicamente granos de este



color, sus pigmentos se manifiestan en el producto terminado confiriéndole coloraciones rosas no necesariamente deseables.

### **7.2 Industria de las Botanas**

La industria de las botanas emplea para la elaboración de sus productos, en su totalidad harina nixtamalizada, la cual proviene generalmente, en un 70% de maíces criollos de color blanco y el resto de maíces amarillos los cuales son híbridos. La proporción en la que los híbridos y los blancos se emplean está en función de la cantidad cosechada de maíz blanco o maíz amarillo.

Las variedades que mejor responden al proceso de obtención de botanas son las mismas que recomienda la industria del nixtamal, es decir: 75% o más de remoción de pericarpio, humedad menor al 14%, Densidad por volumen mayor a  $740 \text{ g/dm}^3$ , índice de flotación máximo de 40%. Las variedades que lo cumplen son: el maíz tipo Criollo Azul y el maíz tipo Colorado, los cuales proveen una coloración que es deseable en el producto final.

### **7.3 Industria del almidón y sus subproductos.**

La materia prima que, por excelencia, prefiere esta industria es grano de maíz amarillo con 65 a 68 % de almidón, 8.5 a 9.0 % de proteína y 5% de aceite, ya que de esta se obtiene una amplia variedad de productos.

De los almidones comestibles se obtienen almidones nativos conocidos como "maicenas", almidones modificados que son útiles para dar consistencia a las carnes

frías, postres como flanes o budines. También se utilizan en la industria cervecera en forma de "grits" como fuente de carbono durante la fermentación. De los almidones no comestibles se obtienen almidones "de corrugado", cuya función es elaborar adhesivos y cajas.

Considerando lo anterior, el maíz tipo Criollo Cremoso y el maíz tipo Criollo Azul cumplen con la totalidad de los parámetros solicitados por la industria almidonera. A pesar de que el maíz tipo Cacahuacintle es el que posee un mayor porcentaje de este componente, no alcanza el contenido de proteína requerido, por lo tanto, no es considerado un buen candidato para esta aplicación.

#### **7.4 Industria del aceite**

El aceite es el subproducto de la industria del almidón que tiene el costo más elevado, pues únicamente representa, en el mejor de los casos el 5% del grano, sin embargo, las características del aceite de maíz lo hacen un producto de buena calidad nutricia.

En esta industria no existe una especificación para el grano de maíz como tal, pues lo que reciben como materia prima es el gluten de maíz o bien un aceite "crudo", es decir no refinado, no clarificado, etc. Sin embargo, la Cámara Nacional de Maíz Industrializado señala que las variedades de maíz que posean un valor cercano al 5% de grasa son recomendables para la obtención de aceite.

Las variedades de maíz estudiadas que pueden aplicarse en esta industria, pues cumplen con el requisito de contener por lo menos 5% de aceite, son el maíz tipo Criollo Cremoso, el maíz tipo Criollo Azul y el maíz tipo Criollo Blanco.

### **7.5 Industria de los Cereales de desayuno.**

Este tipo de industria prefiere granos de maíz de aspecto vítreo con zonas harinosas y superficie lisa. En específico se utilizan cuatro variedades de maíz híbrido: Maíz entero amarillo 33p67, Maíz entero amarillo 33g26, Maíz entero amarillo Pioneer 30r07 y Maíz entero amarillo HARTZ Z-806, que son variedades de híbridos amarillos importados.

Dado que este estudio no se realizó para variedades híbridas ni para maíz amarillo, ninguna de ellas tiene aplicación en este sector de la industria.

## 8. Conclusiones

Con este estudio se logró la caracterización solicitada por la ASPAC, de las seis variedades de maíz criollo proporcionadas por la misma institución.

Con base en los requisitos que la industria solicita para aceptar o rechazar los lotes de grano de maíz para su empleo como materia prima, se proponen las siguientes aplicaciones para cada variedad, listadas en la tabla 22:

Tabla 22. Recomendación de la aplicación industrial

| Industria         | Especificaciones   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------|--|---|---|---|---|---|---|
| Almidón           | 65 - 68% Alm, 5% Aceite, 8.5 a 9.0% Prot                                     |   | ✓ | ✓ |   |   |   |
| Aceite            | Aceite $\geq$ 5%   |   | ✓ | ✓ |   | ✓ |   |
| Nixtamal          | Humedad $< 14\%$ , RP $\geq 75\%$ DV $> 740$ g/dm <sup>3</sup> , IF $< 40\%$ |   |   | ✓ |   |   | ✓ |
| Botanas           | Tipo Criollo Blancos, mismas especificaciones que nixtamal                   |   |   | ✓ |   |   | ✓ |
| Forrajeros        | Proteína $\geq 7.5$  |   |   |   | ✓ |   |   |
| Platillos caseros | Variedades blancas, Almidón $> 86\%$   | ✓ |   |   |   |   |   |
| Cereales          | Variedades híbridas de color amarillo  |   |   |   |   |   |   |

1. Maíz Estado de México. Tipo Cacahuacintle - Toluca  
 3. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Azul - Huamantla  
 5. Maíz Estado de México. Tipo Criollo Blanco - Jilquipilco

2. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Cremoso - Huamantla  
 4. Maíz Guanajuato. Tipo Híbrido Blanco - Manuel Doblado  
 6. Maíz Michoacán. Tipo Colorado - Teremendo

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

- Maíz Estado de México. Tipo Cacahuacintle - Toluca: Esta variedad es la que posee la mayor cantidad de almidón de todas las variedades estudiadas, sin embargo no posee el resto de las características solicitadas por la industria del almidón es decir, que contenga entre 65 y 68% de almidón, de 8.5 a 9.0 % de proteína y 5% de aceite, la relación amilosa/amilopectina que posee, lo hace de consistencia harinosa, la cual es deseable para la fabricación de harina para repostería. Cabe mencionar que esta variedad es ampliamente empleada en la elaboración de platillos típicos.
- Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Cremoso - Huamantla: Esta variedad cumple con las especificaciones requeridas por la industria del almidón, por lo tanto se le propone para la fabricación de almidón y sus derivados. A pesar de que no alcanza el porcentaje de las variedades aceiteras por excelencia puede considerársele como adecuado para la obtención de aceite, pues posee un buen porcentaje de grasa.
- Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Azul - Huamantla: Esta variedad cumple con las especificaciones de la Norma Mexicana de nixtamalización en maíz blanco, NMX-FF-034/1-SCFI-2002, a pesar de su color, puede orientarse hacia la fabricación de tortillas además de productos de harina nixtamalizada, pues es común observar este tipo de productos elaborados con harina azul (Ver Anexo 4). Además de que tiene un buen porcentaje de remoción de pericarpio, puede emplearse también en la elaboración de botanas que se obtengan a partir de harina nixtamalizada. Por otro lado, el Tipo Criollo Azul, posee una excelente relación amilosa/amilopectina y un buen porcentaje de almidón, así que también es candidato para la fabricación de almidón y sus subproductos como la obtención de aceite, para la cual, también cumple con los requisitos.

- Maíz Guanajuato, Tipo Híbrido Blanco – Manuel Doblado: Esta variedad posee características que lo recomiendan para la elaboración de alimentos concentrados, pues se busca un porcentaje considerable de proteína para lograr la obtención de una mejor calidad de carne y leche en el ganado.
- Maíz Estado de México, Tipo Criollo Blanco – Jiquipilco: Esta variedad cumple con los requisitos de grasa y almidón que la industria almidonera específica, sin embargo, sus niveles de proteína son bajos; por lo tanto se recomienda esta variedad para la obtención de aceite.
- Maíz Michoacán, Tipo Colorado – Teremendo: Esta variedad cumple con las especificaciones de la de la Norma Mexicana de nixtamalización en maíz blanco, NMX-FF-034/1-SCFI-2002, a pesar de que posee un buen valor de remoción de pericarpio, es poco común que se le emplee sola para la elaboración de tortillas o productos de harina nixtamalizada más bien se le usa como una mezcla con granos blancos o amarillos (Ver Anexo 4). También dicha mezcla, puede utilizarse en la elaboración de botanas.

## **9. Perspectivas**

De la realización de la presente investigación surgieron las siguientes perspectivas, que deben tomarse en cuenta en estudios posteriores.

- Asegurarse que el muestreo sea estadísticamente válido y representativo
- Añadir a las determinaciones físicas la evaluación de los parámetros generales a saber, impurezas, daños por calor, granos quebrados y suma de daños, valorados es porcentaje, además de la determinación de micotoxinas.
- En la determinación de dureza se recomienda solo realizarla por golpeo, así como estandarizar la distancia y el peso del objeto que efectúa el golpeo con la finalidad de que sean los mismos para cada caso.
- Se debe tener especial atención en la manipulación de la muestra, pues como los granos chocan entre sí, es fácil perder parte del pericarpio.
- Se recomienda realizar el análisis del contenido de amilosa y amilopectina con una técnica que permita cuantificarlas por separado.

## 10. **Bibliografía**

1. Arellano, V. J. L., (1982) **Presentación sobre metodologías de la investigación en Maíz**, CEVAMEX, Chapingo, México, p. 26-28
2. Badillo, N. E., (1981) **El sistema de semillas certificadas en México**, Tesis de Maestría C.P., Chapingo, México
3. Bartolini, R., (1990) **El Maíz**, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, p. 9
4. Bourges, R. H., (2000) **Implicaciones en la salud y la alimentación del uso de organismos modificados genéticamente: la visión de un nutriólogo**, *BioTecnología 5*, pp 22-28.
5. Bowman, B. A., Russell R. M., (2001) **Present Knowledge in Nutrition**, ILSI Press, U.S.A., pp 106 - 112
6. Centro de Investigaciones Agrarias, (1980) **El cultivo de Maíz en México**, México, p. 16
7. Cortés, M. M., (2001) **DuPont patenta un maíz que se siembra en México**, La Crónica, Mayo 16.
8. de Krulf, P., (1945) **Los vencedores del Hambre**, Biblioteca Enciclopédico Popular SEP, México, p. 16
9. Díaz C., (1993) **Contribuciones de México a la alimentación y a la agricultura mundial**, UACH, Chapingo, México, pp. 8 - 11
10. Díaz del Pino, A., (1964) **El Maíz**, El Semillero S.A., México, pp 362-364
11. División de Nutrición del Instituto Nacional de la Nutrición, (1977) **Valor nutritivo de los alimentos mexicanos**. México
12. European Patent Specification (1995) **Corn grains and products with improved oil composition**, EP 0 744 888 B1, European Patent Office, p. 2
13. González A., U., (1995) **El Maíz y su conservación**, Trillas, México, pp 12 y 13
14. Huerta, F. M., (1949), **Producción, consumo e industrialización del maíz**, Facultad de Economía, UNAM, México
15. Jones P., Papamandjaris A., (2001) **Lipids: Cellular Metabolism**, Present Knowledge in Nutrition, ILSI Press, Cap. 10, pp 104 - 107



16. Jugenheimer, R., (1981) **Maíz : Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas**, Limusa, México, p. 39
17. Kato Y., T. A., (1976) **Cytological studies of maize and teosinte in relation to their origin and evolution**, MAESB, USA, pp. 186 y 635
18. Katz, S. H., Heddiger, M. L. y Valleroy, L. A., (1974) **Traditional maize processing techniques in the New World**, *Science* **184**, pp 765-773
19. Koetz, R., y Neukorn, H., (1977) **Nature of bound nicotinic acid in cereals and its release by thermal and chemical treatment**, *Physical, Chemical and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing*. Hoyden, T. and Kvale, O. (Eds). Applied Science Publishers, London, p 305.
20. Llanos, C. M., (1984) **El maíz, su cultivo y aprovechamiento**, Mundi-Prensa, Madrid, España, pp 252,253
21. López H., A., (1978) **Selección y evaluación de genotipos de maíz en condiciones limitantes para aumentar la producción y el rango de adaptación**, Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México
22. Memoria del Foro. (1995) **Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocinte: implicaciones para el maíz transgénico**. INIFAP, CIMMYT, CNBA. Editores técnicos: J. A Serratos, M. C. Willcox y F. Castillo. El Batán, Edo. México.
23. NMX-F-030-1985, **Norma Mexicana Alimentos- Aceite comestible puro de maíz**, SECOFI
24. NMX-F-034-1995-SCFI, **Productos alimenticios no industrializados – cereales – maíz (*Zea mays* L.) – especificaciones y métodos de prueba**, SECOFI
25. NMX-FF-034/1-SCFI-2002, **Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - cereales – parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado – especificaciones y métodos de prueba**, SECOFI
26. Parsons, D. B., (1991) **Maíz: Manuales para la educación agropecuaria. Área: Producción vegetal**, Trillas, México, pp 14,17
27. Poe D., F. R., (1978) **El Mejoramiento Integral del Maíz: Valor nutritivo y rendimiento; hipótesis y método**, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicas, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, pp 27
28. PRONASE, (1982) **Híbridos y variedades de maíz**, SARH, México

29. Quer, (1982) **Diccionario de Botánica**, Editorial Labor, S.A., Barcelona, España
30. Reyes, C., P., (1990) **El maíz y su cultivo**, AGT Editor S.A., México., pp 9,10, 32-38, 43-49, 52-54, 59-67, 144-149 y 337-340
31. Rivera. G., J. C., (1986) **Comparación de rendimiento de 18 variedades de maíz de temporal en el municipio de Jacala**, Hidaigo, FES Cuautitlán, UNAM, México
32. Sánchez G., J. J., Chuela M., (1995) **Monitoreo y recolección del teosinte en México**. Informe de investigación no publicado. Campo Experimental Centro de Jalisco, CIPAC, INIFAP
33. Secretaría de Educación Pública. Dirección General de Culturas Populares. Museo Nacional de Culturas Populares, (1987) **El Maíz, Fundamento de la cultura popular mexicana**, García Valadés Editores S.A. de C.V., México, pp 13,14, 17,18,20 y 101-103
34. Selvendran R.P., Stevens B.J.H. Du Pont, MS. **Dietary fiber: Chemistry analysis and properties**. Adv. Food Research (1998) 9987;31. 117-209.
35. Serna-Saldívar, S. O., Gómez, M. H. y Rooney, L. W., (1990) **Technology, chemistry and nutritional value of alkaline-cooking corn products**, *Advances in Cereal Science and Technology*, Vol. X, Pomeranz, Y (Ed), American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA, pp 243-307.
36. Serna-Saldívar, S. O., Knabe, D. A., Rooney, L. W., Tanksley, Jr., T. D., (1987), **Effects of Lime Cooking on Energy and Protein Digestibilities of Maize and Sorghum**, *Cereal Chemistry*, Vol. 64(4), pp. 247 - 252.
37. Schmidt M. K., Labuza T. P., (2000) **Essentials of Functional Foods**, Aspen Publishers Inc., Galthesburg, Maryland, USA, pp. 218 - 219.
38. Villegas M., J. R., (1979) **Algunas consideraciones acerca del cultivo, industrialización y comercialización del maíz en México**, Tesis profesional Facultad de economía, UNAM, México
39. Warner K., Knowlton S., (1997) **Frying quality and oxidative stability of high - oleic corn oils**, *JAOCs*, Vol. 74(10), pp 1317 - 1318
40. Watson, A. Ramstad E., (1987) **Corn: Chemistry and Technology**. Am. Association Cereal Chemistry, ST. Paul, Minnesota, USA, pp. 605
41. Wellhausen E., Roberts M., and Hernández E., (1951) **Razas de maíz en México**. Folleto técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales. México

- Referencias electrónicas:

1. <http://www.aaccnet.org>
2. <http://www.aoac.org/pubs/pubs.htm>
3. <http://www.economia.gob.mx>
4. <http://www.economia-nmx.gob.mx/>
5. <http://www.enabling.org/ia/celiac/rec/rec96-1.html>
6. <http://www.fao.org>
7. <http://scisoc.org/aacc/about/general/cksambro.htm>

## **ANEXOS**

## Anexo 1 Muestras de variedades estudiadas.

### Estado de México



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### **Toluca**

Altitud: 2540 metros sobre el nivel del mar.

Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano.

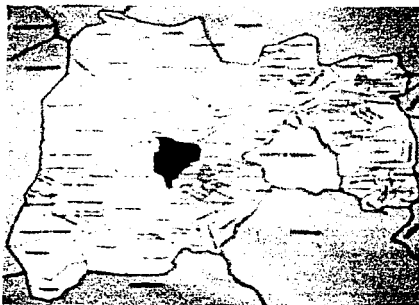
Temperatura

máxima= 28.8°C

mínima = -6.6 °C

Promedio= 12.6 °C

Precipitación pluvial 800mm.



Cacahuacintle

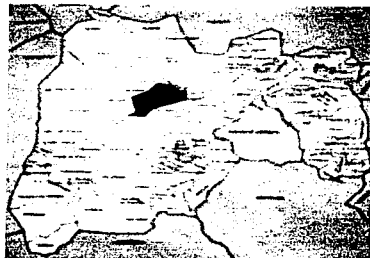
## Estado de México



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

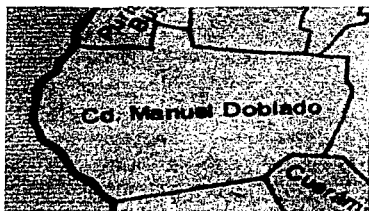
### Jiquipilco

Altitud: 2750 metros sobre  
el nivel del mar.  
Clima: Templado subhúmedo  
con lluvias en verano.  
Temperatura :  
    máxima= 18 °C  
    mínima = -2 °C  
Precipitación pluvial=1200mm  
Se encuentra a 42 Km de Toluca



Criollo Blanco

## Guanajuato



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **Manuel Doblado**

Altitud: 1720 metros sobre el nivel del mar.

Clima: Templado y subhúmedo con lluvias en verano.

Temperatura  
máxima= 22°C      mínima= 12°C

Precipitación pluvial anual = 50mm

Ubicado al Suroeste de la Ciudad de Guanajuato.



Híbrido Blanco

## Michoacán



## TESIS CON FALLA DE ORIGEN

### Taremendo

Altitud: 1898 metros sobre el nivel del mar.

Clima: Cálido subhúmedo con lluvias en verano.

Temperatura:

máxima= 29.5° C

mínima= 10° C

Precipitación pluvial= 400mm

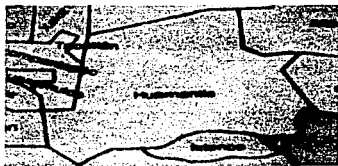
Ubicado al Noroeste de Morelia.



Maíz Colorado



## Tlaxcala



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **Huamantla**

Altitud: 2230 metros sobre el nivel del mar.

Clima: Seco con lluvias en verano.

Temperatura :

máxima= 29.5°C

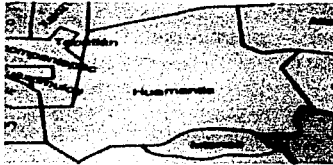
mínima= 10°C

Precipitación pluvial anual= 400mm



**Criollo Azul**

## Tlaxcala



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

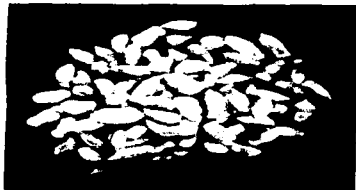
### Huamantla

Altitud: 2230 metros sobre el nivel del mar.

Clima: Seco con lluvias en verano.

Temperatura :  
máxima= 29.5°C  
mínima= 10°C

Precipitación pluvial anual= 400mm



Criollo Cremoso

## Anexo 2 Variedades de maíz transgénico en México.

| Organismo   | Marca Comercial         | Evento               | Promotor del gen  | Terminador del gen  | Marcadores  |
|-------------|-------------------------|----------------------|---|---|---|
| Zea mays L. |                         | MON 832              | goxv247; CamV35S;<br>EPSPS; E35S  | EPSPS: nos;<br>goxv247; ND  | neo: neomycin<br>phosphotransferase II                                    |
| Zea mays L. | NaturGard™<br>KnockOut™ | Event 176            | Cry1Ab;<br>PEPC+CaMV35S y<br>CDPK+CaMV35S;<br>bar; CaMV35S                          | Cry1Ab;<br>CaMV35S;<br>bar; CaMV35S   | bla: beta-<br>lactamasa<br>bla: beta-<br>lactamasa                        |
| Zea mays L. | Libertylink             | T14                  | CaMV35S   | CaMV35S   | bla: beta-<br>lactamasa   |
| Zea mays L. | Libertylink             | T25                  | CaMV35S   | CaMV35S   | bla: beta-<br>lactamasa   |
| Zea mays L. | Yieldgard®              | MON 810              | CaMV35S<br>potenciado   | nos   | NA  |
| Zea mays L. |                         | MON809               | Cry1Ab; E35S;<br>CP4EPSPS; E35S   | Cry1Ab; nos;<br>CP4EPSPS;<br>nos  | goxv247; glifosato<br>oxidoreductasa;<br>neo: Resistencia a<br>Kanamicina |
| Zea mays L. | Roundup<br>Ready®       | GA21                 | actina I de arroz   | nos   | NA  |
| Zea mays L. |                         | MON802               | EPSPS; E35S;<br>Cry1Ab; E35S;<br>goxv247; ND  | cry1Ab; nos;<br>EPSPS: nos;<br>goxv247; nos   | neo: Resistencia a<br>kanamicina  |
| Zea mays L. |                         | DL25 (B16)           | CaMV35S   | Tr7   | bla: beta-<br>lactamasa   |
| Zea mays L. |                         | Bt11,<br>(X47334CBR) | pat: CaMV35S;<br>cry1Ab; CaMV35S  | pat, cry1Ab;<br>nos   | bla: beta<br>lactamasa (no se<br>incorporó)                               |
| Zea mays L. | InVigor™                | MS3                  | barnasa; pTa29 de<br>N. Tabacum   | bar: nos;<br>barnasa; ND  | bla: beta<br>lactamasa  |
| Zea mays L. |                         | 676                  | pat: CamV35S;<br>dam: S12del,<br>promotor específico<br>de anteras de maíz          | dam: pin II<br>terminador<br>del inhibidor<br>de proteasa II<br>de Solanum<br>tuberosum;<br>pat: ND | El mismo pat  |
| Zea mays L. |                         | 678                  | pat: CamV35S;<br>dam: S12del,<br>promotor específico<br>de anteras de maíz          | dam: pin II<br>terminador<br>del inhibidor<br>de proteasa II<br>de Solanum<br>tuberosum;<br>pat: ND | El mismo pat  |
| Zea mays L. |                         | 680                  | pat: CamV35S;<br>dam: S12del,<br>promotor específico<br>de anteras de maíz          | dam: pin II<br>terminador<br>del inhibidor<br>de proteasa II<br>de Solanum<br>tuberosum;<br>pat: ND | El mismo pat  |
| Zea mays L. | StartLink™              | CBH-351              | bar: CamV35S;<br>cry9c; CamV35S   | bar: nos;<br>cry9c; polIIA<br>de CamV35S  | bla: beta<br>lactamasa  |
| Zea mays L. | InVigor™                | MS6                  | bar: CamV35S;<br>barnasa; pTa29<br>promotor específico<br>de polen de N.<br>Tabacum | bar: nos;<br>barnasa; ND  | bla: beta<br>lactamasa  |
| Zea mays L. | Roundup<br>Ready®       | NK603                | EPSPS; P-<br>ract1//ract1<br>promotor de actina<br>1 de arroz; EPSPS;<br>E35S       | Los dos genes<br>EPSPS: nos   | El mismo EPSPS  |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

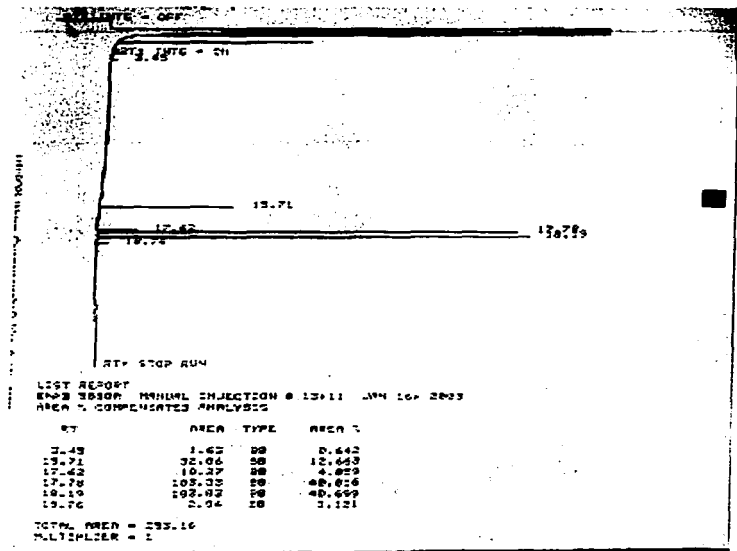
| Organismo   | Marca Comercial | Evento           | Promotor del gen  | Terminador del gen                           | Marcadores                            |
|-------------|-----------------|------------------|---|--|---------------------------------------|
| Zea mays L. |                 | MGN863           | 4AS1  | 3' NTR de tahsp17 de trigo                   | neo: neomycin phosphotransferase II   |
| Zea mays L. | Bt Xtra™        | DBT418           | bar: CaMV35S;<br>Cry1Ac: CaMV35S<br>+octopina sintasa; pinII: CaMV35S | bar: Tr7;<br>Cry1Ac: pinII;<br>pinII: nativo | bla: beta lactamase                   |
| Zea mays L. |                 | Bt 11,(X4334CBR) | pat: CaMV35S;<br>cry1Ab: CaMV35S                                      | pat, cry1Ab: nos.                            | bla: beta lactamase (no se incorporó) |

Fuente: CONABIO ( Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad ) 2002.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

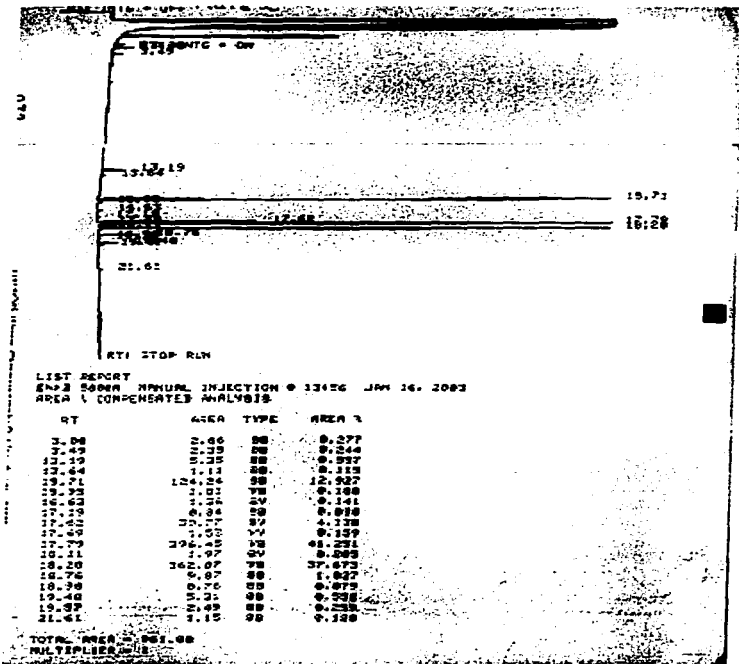
**Anexo 3 Cromatogramas de cada muestra.**

**1. Maíz Estado de México. Tipo Cacahuacintle - Toluca**



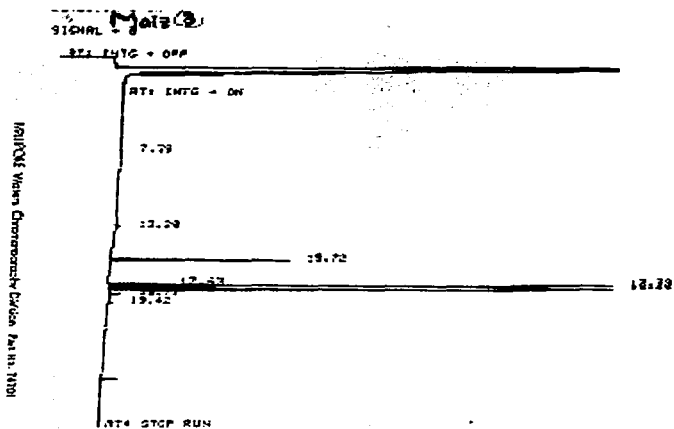
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Cremoso - Huamantla



TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

### 3. Maíz Tlaxcala. Tipo Criollo Azul - Huamantla



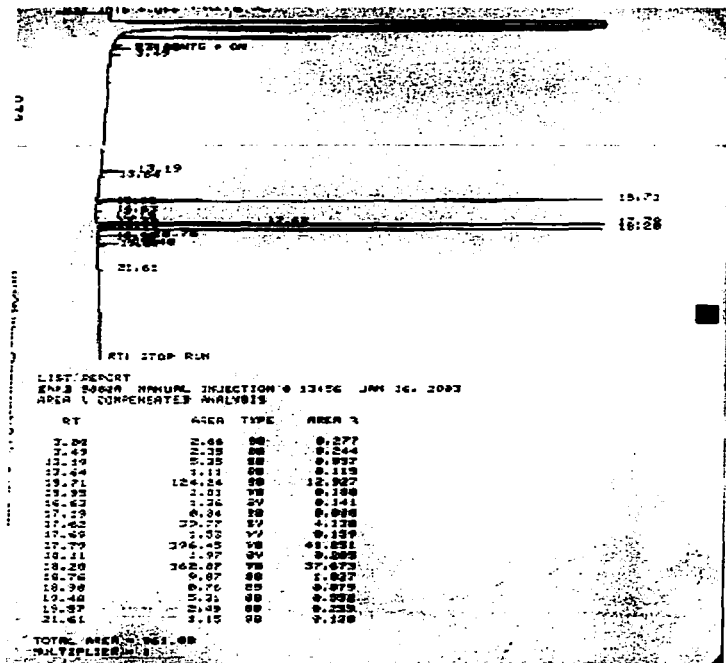
LIST REPORT  
 EXP# 38288 WHEAT INJECTION 9 0814P JAN 17 2002  
 AREA % CONCENTRATED ANALYSIS

| RT    | AREA   | TYPE | AREA % |
|-------|--------|------|--------|
| 7.33  | 2.14   | OB   | 0.246  |
| 13.28 | 41.32  | OB   | 4.432  |
| 17.63 | 41.79  | OB   | 4.448  |
| 19.77 | 13.14  | OB   | 1.423  |
| 19.42 | 129.76 | OB   | 13.847 |
| 19.28 | 119.56 | OB   | 12.648 |
| 19.77 | 3.04   | OB   | 0.329  |
| 19.42 | 1.25   | OB   | 0.131  |

TOTAL AREA = 319.97  
 MULTIPLIER = 1

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

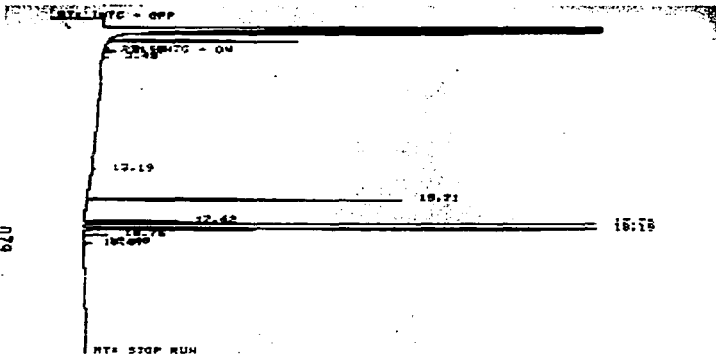
#### 4. Maíz Guanajuato. Tipo Híbrido Blanco – Manuel Doblado



TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



5. Maíz Estado de México. Tipo Criollo Blanco - Jiquipilco



LIST REPORT  
 DATE 03/08 MANUAL INJECTION @ 11:39 JAN 17, 2003  
 AREA 1 COMPENSATED ANALYSIS

| RT    | AREA  | TYPE | AREA % |
|-------|-------|------|--------|
| 2.09  | 1.31  | SB   | 0.220  |
| 3.48  | 1.07  | SB   | 0.272  |
| 13.19 | 1420  | SB   | 9.221  |
| 16.71 | 74.70 | SB   | 12.037 |
| 17.42 | 22.00 | SB   | 4.044  |
| 19.74 | 44.40 | SB   | 42.771 |
| 19.88 | 1.33  | SB   | 2.036  |
| 19.74 | 5.22  | SB   | 1.641  |
| 19.88 | 1.23  | SB   | 0.469  |
| 19.97 | 0.69  | SB   | 0.121  |

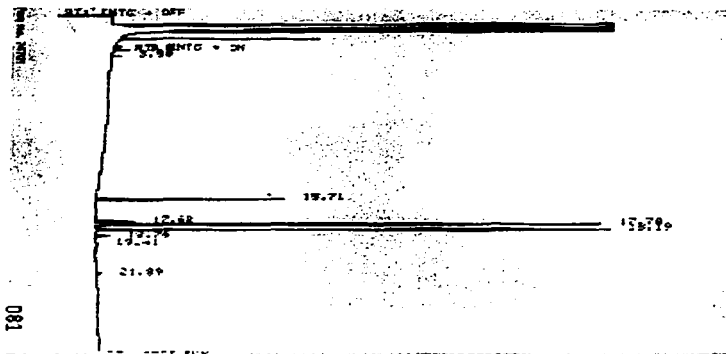
TOTAL AREA = 574.02

MULTIPLIER = 1

ALIMENTOS VETERINARIOS

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

6. Maíz Michoacán. Tipo Colorado - Teremendo



081

LIST REPORT  
 EAD 5888 MANUPL INJECTION # 12888 JAN 17 2003  
 AREA % COMPONENT ANALYSIS

| RT    | AREA   | TYPE | AREA % |
|-------|--------|------|--------|
| 3.01  | 2.82   | 00   | 0.000  |
| 7.39  | 2.44   | 00   | 0.011  |
| 10.73 | 43.46  | 00   | 19.287 |
| 17.62 | 9.39   | 00   | 4.205  |
| 17.78 | 121.84 | 00   | 57.975 |
| 18.19 | 144.21 | 00   | 67.009 |
| 18.76 | 3.41   | 00   | 1.527  |
| 19.41 | 0.27   | 00   | 0.122  |
| 21.09 | 0.20   | 00   | 0.092  |

TOTAL AREA = 229.57  
 MULTIPLIER = 1

MIQTCX WARM

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

#### **Anexo 4 Normas Mexicanas utilizadas.**

NMX-F-030-1985 ALIMENTOS- ACEITE COMESTIBLE PURO DE MAIZ

*TABLA 2*

*Acidos grasos para aceite comestible puro de la semilla de Maiz.*

| ACIDOS GRASOS                               | Dimensiones, en % |        |
|---|-------------------|--------|
|   | MINIMO            | MAXIMO |
| Acido mirístico (Acido tetradecanoico)      | 0.1               | 0.5    |
| Acido Palmítico (Acido hexadecanoico)       | 8.0               | 12.0   |
| Acido palmitoleico (Acido hexadecenoico)    | 0.2               | 1.2    |
| Acido esteárico (Acido octadecanoico)       | 2.0               | 4.0    |
| Acido oleico (Acido octadecenoico)          | 21.0              | 45.0   |
| Acido linoleico (Acido octadecadienoico)    | 34.0              | 62.0   |
| Acido linolénico ( Acido octadecatrienoico) | 0.0               | 2.0    |

*NOTA: La composición de los ácidos grasos de esta tabla, es típica de la semilla de maíz nacional de variedades conocidas al momento de la revisión de esta norma.*

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

NMX-FF-034/1-SCFI-2002 PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA CONSUMO HUMANO - CEREALES - PARTE I: MAÍZ BLANCO PARA PROCESO ALCALINO PARA TORTILLAS DE MAÍZ Y PRODUCTOS DE MAÍZ NIXTAMALIZADO - ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA

**TABLA 1.- Especificaciones del maíz.**

| <b>Parámetros de Nixtamalización</b>  | <b>Grado 1</b> | <b>Grado 2</b> | <b>Grado 3</b> | <b>Método de prueba véase</b> |
|---|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|
| Humedad en Nixtamal (%)   | 36-42          | 36-42          | 36-42          | inciso 7.6                    |
| Dureza de grano (%) máximo (índice de flotación).                                 | 40             | 40             | 40             | Inciso 7.6                    |
| Pericarpio remanente Método de remoción en solución alcalina. Valor de escala 1-5 | Mayor a 2      | Mayor a 2      | Mayor a 2      | Inciso 7.6                    |

**7.6.6.1 Resultado de la prueba**

La clasificación de las observaciones está definida por una escala del 1 al 5, bajo las siguientes características observadas:

- 1) Pericarpio totalmente removido del grano a los 10 min, en todos los granos analizados.
- 2) Pericarpio totalmente removido del grano a los 15 min, en todos los granos analizados.
- 3) Pericarpio removido en el 60 % de los granos analizados en 15 min.
- 4) Se inicia separación del pericarpio del endospermo en el 60 % de los granos a los 15 min.
- 5) Poco cambio, probablemente se presenta hinchazón de algunos granos y hasta presenten burbujas en el pericarpio sin llegar a separarse del endospermo a los 15 min.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**NMX-FF-034-1995-SCFI PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS  
- CEREALES - MAIZ (Zea mays L.) - ESPECIFICACIONES Y METODOS DE  
PRUEBA.**

**4.1 Humedad**

La clasificación del maíz puede realizarse con diferentes niveles de humedad, sin embargo se considera que el contenido de humedad adecuado para permitir el manejo, conservación y almacenamiento del maíz, es del 14%. Esto se determina de acuerdo al método descrito en el punto 7.3.

## **Anexo 5 Detalle de la metodología empleada.**

### **Contenido de Cenizas**

#### **Metodología:**

Se utiliza la metodología oficial 923.03 dictada por la AOAC

1. Se colocó un crisol para cada muestra de harina de maíz dentro de la estufa a  $130 \pm 3$  ° C durante dos horas. Se enfriaron dentro de un desecador y se pesaron. Se repitió esta operación hasta que dos pesadas consecutivas fueron constantes
2. Se pesaron de tres a cinco gramos de harina de maíz bien mezclada y se colocaron dentro de los crisoles
3. Se calcinaron las muestras sobre una parrilla, cuya temperatura era de alrededor de 550 ° C, hasta que ya no desprendían humo
4. Se colocaron los crisoles con la muestra incinerada dentro de la mufia a 550 ° C para llevar a cabo la calcinación
5. Los crisoles se retiraron de la mufia hasta que el color de las cenizas era blanco – grisáceo (aproximadamente seis horas)
6. Se enfriaron los crisoles dentro de un desecador y se pesaron cuando alcanzaron la temperatura ambiente
7. Se hizo el cálculo correspondiente

$\% \text{ Cenizas} = (\text{pérdida de peso} * 100) / \text{peso de la muestra de harina}$

## **Contenido de fibra cruda**

### **Metodología:**

Se reconocen dos métodos para esta determinación: Método 962.09 de la AOAC y que es el mismo que el Método 32 - 10 de la AACC. También es conocido como método de Weende.

1. Para realizar esta determinación, fue necesario preparar fibra de vidrio, para lo cual se molió en un mortero y se calcinó en la mufla a una temperatura de 500 °C durante 16 horas.
2. Se hirvió con una solución de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 1.25%, o bien, 0.255 N. Se filtró por gravedad con ayuda de un trozo de tela libre de fibra (se utilizó un cubre bocas) y se lavó con agua destilada hirviendo hasta que su pH fue cercano a cero.
3. Se hirvió con hidróxido de sodio (NaOH) al 1.25%, o bien, 0.313 N. Se filtró por gravedad con ayuda de la tela libre de fibra y se lavó primero con agua destilada hirviendo y posteriormente con 25 mL de  $H_2SO_4$  hirviendo al 1.25%.
4. Se secó la fibra de vidrio y se calcinó, nuevamente, a 500 °C durante dos horas.
5. Una vez preparada la fibra de vidrio, se transfirió un gramo de harina de maíz, previamente desengrasada a un vaso digestor de 600 mL además de 0.5 g de fibra de vidrio.
6. Se añadieron 200 mL de ácido sulfúrico hirviendo al 1.25% y se calentó en el aparato digestor a temperatura de ebullición durante un periodo de 30 minutos.

7. Se filtró al vacío el contenido del vaso con ayuda de la tela libre de fibra, en lugar de utilizar papel filtro, y se lavó el filtrado con agua destilada hirviente. Para esto se utilizaron de 50 a 70 mL de agua
8. Se continuaron los lavados hasta remover todo el ácido de la muestra
9. Se regresó el residuo al vaso digestor de 600 mL y se le adicionaron 200 mL de hidróxido de sodio hirviente al 1.25%, y se calentó a temperatura de ebullición durante 30 minutos.
10. Se filtró el contenido del vaso y se lavó con 25 mL de ácido sulfúrico hirviente al 1.25%, después con 50 mL aproximadamente de agua destilada hirviente y al final con 25 mL de etanol al 80% (v/v).
11. Se secó el filtrado por succión y se transfirió el residuo a un crisol
12. Se secaron los crisoles dentro de una estufa a 130 ° C durante dos horas.
13. Los crisoles se enfriaron dentro de un desecador y se pesaron en una balanza analítica.
14. Los crisoles se calcinaron dentro de una mufla a 600 ° C durante 30 minutos.
15. Se enfriaron los crisoles en desecador y se pesaron nuevamente.
16. Se realizaron los cálculos correspondientes.

$$\% \text{ Fibra} = \frac{(\text{Peso del crisol} + \text{muestra seca}) - (\text{Peso del crisol} + \text{muestra calcinada})}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$



## Contenido de proteína

### Metodología:

Se sigue el método 979.09 sugerido por la AOAC (Association of Official Analytical Chemists), conocido como método de Kjeldhal.

1. Se pesaron de 100 a 500 mg de harina de maíz de cada variedad y se envolvieron en trozos de papel libre de proteínas
2. Las muestras se colocaron al fondo de un tubo y se les añadió una pastilla de catalizadores a cada una
3. Se le adicionaron a cada tubo, 5 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado, para llevar a cabo la digestión
4. Se colocaron los tubos dentro del aparato digestor a temperatura alta y se dejaron durante dos horas y media (hasta que ya no se desprendía vapor de color blanco)
5. Los tubos se dejaron enfriar
6. Se realizó la destilación con Hidróxido de Sodio (NaOH) al 40% en el aparato y se recibió el destilado el ácido bórico.
7. Se efectuó un lavado con agua destilada entre cada determinación
8. Se realizó la titulación de la muestra en ácido bórico con Ácido Clorhídrico (HCl) al 0.1%
9. Se realizó el cálculo correspondiente, el cual es:

$$\% \text{ Proteína} = \frac{(\text{mL gastados muestra} - \text{mL gastados blanco})(N_{HCl})(\text{meq N})(6.25)}{\text{Peso de la muestra (mg)}} \times 100$$

**NOTA:** el ácido bórico fue preparado de la siguiente manera: se pesaron 5 g de ácido bórico, se disolvieron en una pequeña cantidad de agua caliente y se transfirieron a un matraz aforado de 1000 mL. Por otra parte se preparó una solución de fenolftaleína; se pesaron 100 mg de fenolftaleína y se disolvieron en 100 mL de etanol absoluto anhidro. Además se preparó la solución de indicadores: 33 mg de verde de bromocresol y 66 mg de rojo de metilo, se aforaron con 100mL de etanol absoluto anhidro. Se tomaron 35 mL de la solución de fenolftaleína y 10 ml de la solución de Indicadores, se colocaron dentro del matraz que contenía el ácido bórico y se aforó con agua destilada.

## **Contenido de grasa (aceite)**

### **Metodología:**

Se utiliza la metodología oficial 920.39 dictada por la AOAC, conocida como extracción continua o técnica de Goldfish.

1. Se pesó un vaso para extractor Goldfish, que contenía tres perlas de ebullición, para cada muestra y después se colocaron dentro de una estufa a 130 ° C durante dos horas. Se colocaron dentro de un desecador para que se enfriaran y se pesaron nuevamente. Se repitió esta operación hasta que dos pesadas continuas fueron iguales, es decir, los vasos estaban a peso constante.
2. Se pesaron aproximadamente dos gramos de cada muestra de harina de maíz y se envolvieron en un papel libre de grasa
3. Se colocaron las muestras dentro de los cartuchos de celulosa para Goldfish
4. Se agregaron 40 mL de éter etílico a cada uno de los vasos que se encontraban a peso constante y se colocaron en el extractor de Goldfish
5. Se ajustó la temperatura al extractor, de modo que quedara en "Baja" para evitar la volatilización del disolvente
6. Se dejó que se llevara a cabo la extracción continua, que consiste en evaporar y condensar el disolvente ininterrumpidamente, durante cuatro horas
7. Se restableció el volumen de disolvente a los vasos durante el tiempo de extracción, cuando fue necesario
8. Transcurrido el tiempo de extracción, se evaporó y recuperó el disolvente

9. Se dejaron enfriar los vasos un poco a temperatura ambiente y después se colocaron dentro de un desecador

10. Se pesaron nuevamente los vasos de Goldfish y se realizaron los cálculos correspondientes:

$$\% \text{ Aceite} = \frac{(\text{Peso final del vaso} - \text{Peso inicial del vaso}) * 100}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

## **Contenido de humedad**

### Metodología:

El método oficial es el 925.10 según la AOAC y es un método directo gravimétrico en el que la harina se somete a una temperatura de  $130^{\circ}\text{C}$  para determinar su pérdida de peso en forma de agua. Se utiliza una estufa con circulación de aire para evitar la humectación del ambiente y determina el porcentaje de agua libre en la harina.

1. Se pesó un pesafiltros con tapa para cada muestra de harina de maíz y se colocaron dentro de la estufa a  $130^{\circ}\text{C}$  durante dos horas
2. Se retiraron del horno, se enfriaron en desecador y se volvieron a pesar. Esta operación se repitió hasta que dos pesadas consecutivas dieron como resultado la misma cifra, es decir, los pesafiltros alcanzaron un peso constante
3. Se pesaron alrededor de dos gramos de harina de cada muestra de maíz y se colocaron dentro de los pesafiltros
4. Los pesafiltros se colocaron dentro de la estufa a  $130 \pm 3^{\circ}\text{C}$  durante una hora. Se comenzó a tomar el tiempo hasta que la estufa alcanzó la temperatura deseada
5. Transcurrido ese tiempo, se taparon los pesafiltros dentro del horno, se sacaron de él y se colocaron dentro de la estufa a  $29^{\circ}\text{C}$  para que se enfriaran y posteriormente se pasaron a un desecador
6. Cuando alcanzaron la temperatura ambiente, se pesaron los pesafiltros con la muestra seca

7. Se hicieron los cálculos correspondientes

**% Humedad = (pérdida de peso \* 100) / peso de la muestra**