



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE  
MEXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

Caracterización reológica física y química de masa y tortilla procesadas con seis genotipos de maíz (*Zea Mays*).

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERIA EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

CRUZ ZACARIAS KARINA

**ASESORA:**

DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO, 2016.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

# Índice

<b>Resumen</b> .....	1
<b>Introducción</b> .....	2
<b>Capítulo 1. Marco teórico.</b> .....	4
1.1. Maíz .....	4
1.1.1. Historia y origen del maíz (Zea Mays).....	4
1.1.2. Composición del grano de maíz. ....	4
1.1.3. Composición química del maíz.....	6
1.1.4. Producción, consumo y distribución del maíz. ....	7
1.1.5. Genotipos de maíz. ....	9
1.1.6. Productos derivados del maíz. ....	11
1.2. Nixtamalización .....	12
1.2.1. Beneficios de la nixtamalización. ....	13
1.2.2. Cambios físicos y químicos durante el proceso de nixtamalización.....	14
1.3. Masa y tortilla .....	17
1.3.1. Características y propiedades de masa y tortilla. ....	19
1.3.2. Composición química de tortilla.....	20
1.4. Reología de masas.....	20
1.4.1. Métodos de medición .....	21
• Métodos Estáticos .....	21
• Métodos dinámicos.....	25
1.4.2 Características reológicas de la masa.....	27
1.5. Textura de tortilla .....	29
1.6. Microbiología de granos de maíz y tortillas .....	30
1.7. Análisis sensorial .....	32
1.7.1. Tipos de pruebas .....	33
• Pruebas afectivas .....	33
• Pruebas discriminativas.....	33
• Pruebas descriptivas .....	33
<b>Capítulo 2. Metodología</b> .....	35
2.1. Objetivos.....	35

2.2. Desarrollo metodológico .....	36
2.2.1. Caracterización del maíz .....	36
2.2.2. Características físicas del maíz .....	37
2.2.3. Microbiología del maíz .....	40
2.2.4. Proceso de nixtamalización.....	41
2.2.5. Reología de masas.....	43
• Relación esfuerzo-deformación por compresión uniaxial .....	43
• Parámetros reológicos .....	45
2.2.6. Análisis químico proximal en las tortillas.....	45
2.2.7. Análisis microbiológico a las tortillas. ....	46
2.2.8. Extensibilidad en las tortillas. ....	47
2.2.9. Evaluación sensorial. ....	47
2.2.10. Análisis estadístico .....	48
<b>Capítulo 3. Resultados y análisis.</b> .....	49
3.1. Caracterización del maíz .....	49
3.2. Características microbiológicas del maíz.....	52
3.3. Reología de masas.....	55
3.3.1. Relación esfuerzo-deformación por compresión uniaxial.....	55
3.3.2. Parámetros reológicos.....	61
3.4. Análisis químico proximal en las tortillas.....	64
3.5. Análisis microbiológico a las tortillas.....	68
3.6. Extensibilidad de tortilla .....	69
3.7. Evaluación sensorial.....	70
<b>Conclusiones</b> .....	74
<b>Referencias bibliográficas.</b> .....	77

## Índice de figuras

### Capítulo 1. Antecedentes

<b>Figura 1.1.</b> Estructura del grano de maíz.....	5
<b>Figura 1.2.</b> Estructura interna del grano de maíz. ....	6
<b>Figura 1.3.</b> Método antiguo de la Nixtamalización desarrollado por los aztecas.....	12
<b>Figura 1.4.</b> Tortilla de maíz.....	17
<b>Figura 1.5.</b> Comportamiento de la deformación de un sólido mediante compresión uniaxial.....	21
<b>Figura 1.6.</b> Relación esfuerzo-deformación. ....	22
<b>Fig. 1.7.</b> Deformación oscilatoria y esfuerzo de respuesta en pruebas dinámicas.....	24
<b>Fig. 1.8.</b> Análisis microbiológicos en masa y tortilla.....	29

### Capítulo 2. Metodología

<b>Figura 2.1.</b> Seis genotipos de maíz.....	35
<b>Figura 2.2.</b> Balanza de peso específico marca OHAUS.....	36
<b>Figura 2.3.</b> Determinación de humedad.....	37
<b>Figura 2.4.</b> Análisis microbiológico para determinación de Bacterias Mesófilas aéreas totales en placa y determinación de mohos y levaduras.....	38
<b>Figura 2.5.</b> Cuantificación de número de colonias formadas después de la incubación.....	39
<b>Figura 2.6.</b> Diagrama del proceso de nixtamalización.....	40
<b>Figura 2.7.</b> Texturómetro SHIMADZU EZ-S ....	42
<b>Figura 2.8.</b> Relación esfuerzo-deformación. ....	43
<b>Figura 2.9.</b> Reómetro RT 20 Haake.....	44
<b>Figura 2.10.</b> Análisis microbiológico por dilución.....	45
<b>Figura 2.11.</b> Pruebas de extensibilidad en la tortilla.....	46

### Capítulo 3. Resultados y Conclusiones

<b>Figura 3.1.</b> Resultados de parámetros físicos de los genotipos de maíz.....	48
<b>Figura 3.2.</b> Análisis microbiológico del maíz.....	52
<b>Figura 3.3.</b> Relación esfuerzo-deformación por compresión uniaxial.....	54
<b>Figura 3.4</b> Barrido de frecuencia de las masas de los maíces genotipos.....	61
<b>Figura 3.5.</b> Análisis químico de las tortillas de 6 genotipos.....	63
<b>Figura 3.6.</b> Microbiología de las tortillas.....	65
<b>Figura 3.7.</b> Extensibilidad de tortilla.....	67

<b>Figura 3.8.</b> Gráficos radiales de sabor y olor en la tortilla.....	68
<b>Figura 3.9.</b> Gráficos radiales de color y textura en la tortilla.....	69
<b>Figura 3.10.</b> Gráficos radiales de masticabilidad y resistencia en la tortilla.....	6
<b>Figura 3.11.</b> Gráficos radiales de espesor y atributos en general en la tortilla. ....	70

### Índice de tablas

<b>Tabla 1.1.</b> Distribución ponderal de las partes del grano de maíz.....	5
<b>Tabla 1.2.</b> Composición química de las partes del maíz.....	6
<b>Tabla 1.3.</b> Composición química proximal de variedades de maíz.....	7
<b>Tabla 1.4.</b> Producción anual del maíz en México.....	8
<b>Tabla 1.5.</b> Composición química de una tortilla.....	19
<b>Tabla 3.1.</b> Porcentaje de humedad de los genotipos de maíz.....	50
<b>Tabla 3.2.</b> Datos de las regiones para la curva esfuerzo-deformación.....	55
<b>Tabla 3.3.</b> Valores del módulo de Young y esfuerzo máximo.....	56
<b>Tabla 3.4.</b> Valores del módulo en diferentes alimentos.....	57

# Resumen

El maíz (*Zea Mays*) es uno de los cereales más importantes para la alimentación del ser humano, ya que le proporciona nutrientes esenciales. El maíz ocupa el segundo lugar con el mayor volumen de importaciones de maíz internacionalmente, volviéndolo vulnerable ante cualquier alteración de la oferta mundial.

La finalidad de este proyecto es conocer el efecto de la utilización de diferentes variedades de maíz nixtamalizado, sobre las características reológicas, físicas, químicas y microbiológicas de masa y tortilla, con el objetivo de determinar las diferencias sobre la calidad física, sanitaria y nutricional. Se utilizaron tres líneas progenitoras: M54, M55 y CML-242, dos cruza: M54xM55 y M55xM54 y un híbrido: H-70. Se realizó la caracterización física para evaluar la calidad de los maíces en cuanto a longitud, diámetro, peso hectolítrico y humedad, los cuales mostraron resultados idóneos con respecto a la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Los resultados microbiológicos mostraron que la variedad o genotipo de maíz y el medio de cultivo utilizado no influye directamente sobre la micobiota del grano de maíz. Sin embargo, en las tortillas de maíz nixtamalizado se observó que hay efecto significativo al someter el maíz al proceso de nixtamalización. En el análisis químico se encontró diferencia significativa entre el contenido de proteína, fibra, grasas, cenizas y carbohidratos en las variedades M54xM55 y CML-242. Con respecto a las propiedades reológicas se evaluó el comportamiento de las masas evaluando los parámetros viscoelásticos; módulo de elasticidad ( $G'$ ) y el módulo viscoso ( $G''$ ), concluyendo que  $G' > G''$  con cualquier genotipo empleado en las masas obtenidas prevalece el carácter elástico. El módulo de Young se obtuvo mediante compresión uniaxial y se concluyó que este se ve afectado por la dureza y el % de humedad del grano. Se determinaron propiedades de textura en la tortilla, mediante extensibilidad obteniendo como resultado que las cruza y líneas endogámicas presentan una textura mas suave en comparación con un híbrido obtenido a partir de estas. Se realizó la evaluación sensorial de las tortillas mediante pruebas hedónicas, se concluyó que las tortillas elaboradas con las variedades H-70 y M55xM54 tienen mayor aceptación por el consumidor. Por lo que en general se concluye que las variedades de maíz sometidas al proceso de nixtamalización influyen directamente sobre las características físicas, químicas, microbiológicas reológicas y de textura de productos nixtamalizados.

# Introducción

En la actualidad se sabe que el maíz (*Zea Mays*) es uno de los productos agrícolas más importantes de México (Castañeda, 2011) y es la base de alimentación del pueblo mexicano, ya que este aporta grandes cantidades nutrimentales al ser consumida como tortillas.

El maíz participa con el 18% del valor de producción del sector agrícola (88 mil mdp en 2012 y 78 mil en 2013) y concentra el 33% de la superficie sembrada en el territorio nacional (7.5 millones de hectáreas). El 8% de la producción nacional corresponde a maíz amarillo, del cual México es deficitario e importa entre 7 y 10 millones de toneladas. Nuestro país ocupa el segundo lugar con el mayor volumen de importaciones del grano internacionalmente, lo cual lo vuelve vulnerable ante cualquier alteración de la oferta mundial (SAGARPA, 2014).

La producción de maíz en México puede incrementarse si se obtienen genotipos altamente rendidores o si se aumenta la superficie cultivada, y esto se obtiene mediante semillas de calidad de variedades mejoradas de maíz ya que son el insumo para aumentar la productividad de cultivo (Copeland y McDonald, 2001). En la región de los Valles Altos de México sólo en el 6% de la superficie cultivada con maíz se utilizan semillas certificadas debido posiblemente a la falta de variedades con características agronómicas y económicas adecuadas e insuficiente producción de semillas (González *et al.*, 2008).

Cada genotipo o variedad de maíz adopta propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y organolépticas diferentes debido a la interacción que hay durante la nixtamalización con el hidróxido de calcio y los componentes de cada genotipo de maíz que pueden percibirse en productos elaborados como la masa y tortilla (Gutiérrez-Cortez *et al.*, 2007). Estos cambios están directamente relacionados con el tiempo, la temperatura de cocción, así como la concentración de hidróxido de calcio y la variedad de maíz utilizado (Contreras-Jiménez *et al.*, 2014). Según Fernández-Muñoz *et al.* (2011) durante este proceso se produce un ablandamiento de la estructura del endospermo, la difusión de los iones de calcio y el agua en los gránulos de almidón, que se hinchan parcialmente, gelatinizan y pierden su estructura cristalina. Por su parte Valderrama-Bravo *et al.* (2010) reportaron que en el tiempo de reposo



ocurre acumulación, difusión y percolación de calcio, el cual queda en el grano de maíz nixtamalizado. El almidón, en la elaboración de tortillas, reviste gran importancia, ya que se le considera responsable de las propiedades reológicas y de textura, que definen la calidad del producto final. La porción de amilosa y amilopectina de almidón tiene un gran efecto, porque aquellas elaboradas con alta porción de amilopectina presentan óptimas condiciones de elasticidad y suavidad (Araujo, 2009) mientras que cuando el almidón es retrogrado hay pérdida de humedad y la textura en las tortillas es afectada, generando principalmente endurecimiento. Algunos estudios revelan que a pesar de la enorme diversidad que se tiene en México en cuanto a razas y variedades de maíz nativas o criollas, son pocos los trabajos publicados sobre las características físicas y químicas de sus granos (Vázquez *et al.*, 2003; Antuna *et al.*, 2008).

Dado que en México es insuficiente la producción de maíz, es necesario introducir al mercado diferentes genotipos de maíz que presenten características aptas para ser procesadas en la industria de la masa, tortilla y harinas, por lo que el objetivo de la presente investigación es evaluar el efecto de seis genotipos diferentes de maíz sobre las propiedades reológicas de masa y texturales, microbiológicas y químicas de tortilla para determinar su calidad física, sanitaria y nutrimental así como el grado de aceptación de las tortillas.

# Capítulo 1. Marco teórico.

## 1.1. Maíz.

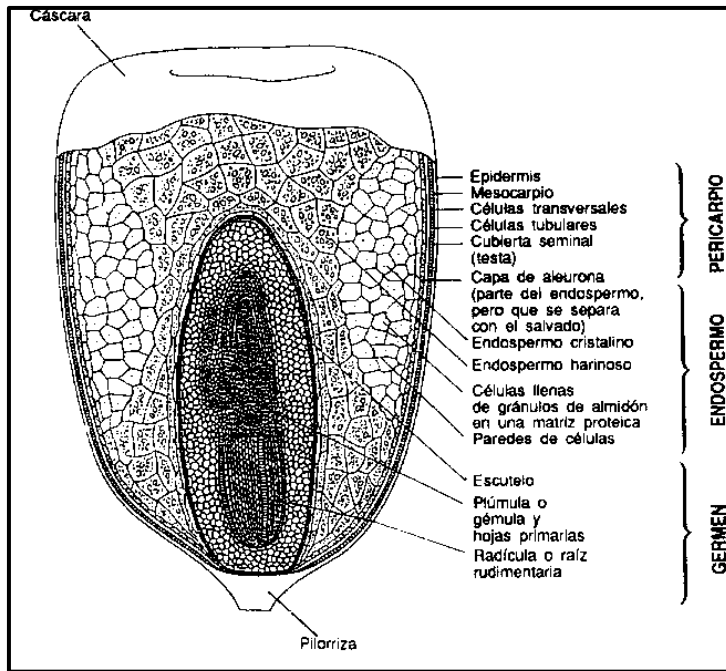
### 1.1.1. Historia y origen del maíz (*Zea Mays*).

El maíz es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal. Los granos de maíz están constituidos principalmente de tres partes: la cascarilla, el endospermo y el germen. La cascarilla o pericarpio es la piel externa o cubierta del grano, que sirve como elemento protector. El endospermo, es la reserva energética del grano y ocupa hasta el 80% del peso del grano. Contiene aproximadamente el 90% de almidón y el 9% de proteína, y pequeñas cantidades de aceites, minerales y elementos traza. El germen contiene una pequeña planta en miniatura, además de grandes cantidades de energía en forma de aceite, que tiene la función de nutrir a la planta cuando comienza el período de crecimiento, así como otras muchas sustancias necesarias durante el proceso de germinación y desarrollo de la planta (Asturias M., 2007).

### 1.1.2. Composición del grano de maíz.

Las variedades cultivadas fundamentalmente de maíz para alimentación comprenden el maíz dulce, reventador, dentado, harinoso y cristalino. El maíz harinoso es un grano con endospermo blando que se emplea como alimento en México, Guatemala y otros países de América. El maíz de tipo dentado tiene un endospermo calloso y vítreo a los lados y el núcleo central es blando. El maíz de tipo cristalino posee un endospermo grueso, duro, vítreo, con un centro pequeño, los maíces incluidos en esta conformación son: granuloso y amiláceo (FAO, 1993).

El grano posee 4 estructuras principales: el pericarpio o cascarilla, el endospermo, el germen y la piloriza o pedícelo que es un tejido inerte que une al grano al olote. La estructura del grano se muestra a continuación (Figura 1.1).



**Figura 1.1 Estructura del grano de maíz.**

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s02.htm>

Las cuatro partes principales del grano difieren considerablemente en su composición química. La distribución ponderal se resume en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1. Distribución ponderal de las partes del grano de maíz.**

Estructura	Distribución ponderal
Pericarpio	5-6 %
Aleurona	2-3 %
Endospermo	80-85 %
Germen	10-12%

Fuente: FAO, 1993

En relación con el almidón, el grano maduro del maíz presenta en promedio 72%, y prácticamente todo está presente en las células del endospermo. En un maíz normal, el gránulo de almidón contiene 27% de amilosa, una molécula esencialmente lineal formada aproximadamente por 1 000 unidades de glucosa y 73% de amilopectina, una molécula ramificada que posee cerca de 40 000 o más unidades de glucosa (Paredes, 2009).

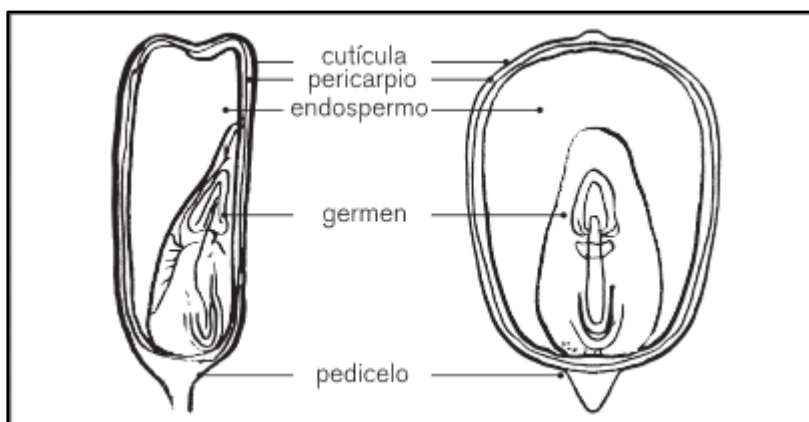


Figura 1.2 Estructura interna del grano de maíz. Fuente: (Paredes-López)

### 1.1.3. Composición química del maíz.

Existe un número considerable de datos sobre la composición química del maíz y múltiples estudios han sido llevados a cabo para tratar de comprender y evaluar las repercusiones de la estructura genética del número relativamente elevado de variedades de maíz existentes en su composición química, así como la influencia de los factores ambientales y las prácticas agronómicas en los elementos constitutivos químicos y en el valor nutritivo del grano y sus partes anatómicas. La composición química tras la elaboración para el consumo es un aspecto importante del valor nutritivo, y en ella influyen la estructura física del grano, factores genéticos y ambientales, la elaboración y otros eslabones de la cadena alimenticia (FAO, 1993).

Tabla 1.2 Composición química de las partes del maíz

Componente químico	Pericarpio (%)	Endospermo (%)	Germen (%)
<b>Proteínas</b>	3.70	8.0	18.4
<b>Extracto etéreo</b>	1.00	0.8	33.2
<b>Fibra cruda</b>	86.70	2.7	8.8
<b>Cenizas</b>	0.80	0.3	10.5
<b>Almidón</b>	7.30	87.6	8.3
<b>Azúcar</b>	0.34	0.62	10.8

Fuente: Watson, 1987.

Los porcentajes mostrados en la tabla 1.2 son una aproximación general de la composición del grano de maíz, debido a que existen diferencias en la cantidad de nutrientes entre las distintas especies; la variabilidad es debida a diferencias genéticas y ambientales. En la Tabla 1.3 se muestra la composición proximal de algunas variedades de maíz en porcentaje (FAO, 2001).

**Tabla 1.3 Composición química proximal de variedades de maíz.**

Tipo	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteínas (%)	Fibra cruda (%)	Extracto etéreo (%)	Carbohidratos (%)
Blanco	15.9	1.3	8.1	1.1	5.2	70
Amarillo	12.2	1.1	8.4	1.3	4.8	73.9
Salpor	12.2	1.2	5.8	0.8	4.1	75.9
Cristalino	10.5	1.7	10.3	2.2	5.0	70.3
Harinoso	9.6	1.7	10.7	2.2	5.4	70.4
Amiláceo	11.2	2.9	9.1	1.8	2.2	72.8
Dulce	9.5	1.5	12.9	2.9	3.9	69.3
Reventador	10.4	1.7	13.7	2.5	5.7	66.0
Negro	12.3	1.2	5.2	1.0	4.4	75.9

Fuente: Cortez y Wild Altamirano, 1972.

#### 1.1.4. Producción, consumo y distribución del maíz.

El principal producto de la agricultura y la alimentación en México es el maíz, tanto por la superficie que se destina a su siembra como por los volúmenes obtenidos de este cereal y por la cantidad consumida por la población, su principal forma de procesamiento es la tortilla. La producción de maíz en México puede incrementarse si se obtienen genotipos altamente rendidores o si se aumenta la superficie cultivada. Tal incremento puede lograrse a través de genotipos que prosperen en condiciones óptimas (características químicas, físicas de textura y microbiológicas) para su uso en la industria (Mass *et al.* 1983).

En México, los principales estados productores de maíz son: Chihuahua, Puebla y Jalisco, que producen en su mayoría maíz amarillo; y Sinaloa, Jalisco y Michoacán, que producen en su mayoría maíz blanco. En México existe una producción anual de alrededor de 19 millones de

toneladas, la cual no satisface la demanda interna de 23 a 25 millones de toneladas por año, por lo que se importan un promedio de 5 millones de toneladas anuales, de las cuales la mayor parte corresponden a maíz amarillo. De este se destina el 47% al sector pecuario y el 32% al almidonero; la industria harinera participa con el 12 % del maíz. Las importaciones que se realizan provienen en un 99% de Estados Unidos, colocando a México como el segundo importador mundial y primero en América Latina. Del porcentaje de consumo de maíz atribuido a la industria harinera, la mayor parte de la harina se destina a la elaboración de tortillas, las cuales, tan solo en México representan un consumo proximal de 12 millones de toneladas por año (Acero, 2000). En la Tabla 1.4 se muestran los datos de producción anual de maíz del año 2000 al 2014.

**Tabla 1.4 Producción anual del maíz en México**

Año	Superficie (miles ha)		Volumen de producción (miles ton)	Rendimiento (ton/ha)	Precio medio rural (\$/ton)	Valor de producción (mdp)
	Sembrada	Cosechada				
2000	8,444.8	7,131.2	17,556.9	2.5	1,507.8	26,471.9
2001	8,396.9	7,810.8	20,134.3	2.6	1,451.1	29,216.4
2002	8,270.9	7,118.9	19,297.8	2.7	1,500.6	28,957.5
2003	8,126.8	7,520.9	20,701.4	2.8	1,618.0	33,495.1
2004	8,403.6	7,696.4	21,685.8	2.8	1,678.6	36,401.6
2005	7,978.6	6,605.6	19,338.7	2.9	1,577.9	30,515.1
2006	7,807.3	7,294.8	21,893.2	3.0	2,010.6	44,017.4
2007	8,117.4	7,333.3	23,512.8	3.2	2,442.0	57,417.9
2008	7,942.3	7,344.3	24,410.3	3.3	2,817.0	68,764.9
2009	7,726.1	6,223.0	20,142.8	3.2	2,802.1	56,441.2

**Tabla 1.4 Producción anual del maíz en México (Continuación).**

Año	Superficie (miles ha)		Volumen de producción (miles ton)	Rendimiento (ton/ha)	Precio medio rural (\$/ton)	Valor de producción (mdp)
	Sembrada	Cosechada				
2010	7,860.7	7,148.0	23,301.9	3.3	2,816.5	65,629.4
2011	7,750.3	6,069.1	17,635.4	2.9	4,077.8	71,913.9
2012	7,372.2	6,923.9	22,069.3	3.2	4,009.6	88,489.6
2013	7,503.7	7,104.2	23,042.0	3.2	3,385.2	78,001.0
2014	7,469.5	7,071.9	22,630.0	3.2	N/D	N/D

Fuente. SIAP-SAGARPA./p Cifras preliminares/e Cifras estimadas (2014).

### 1.1.5. Genotipos de maíz.

La demanda de grano es abastecida con variedades criollas y mejoradas (híbridos y variedades de polinización libre), tanto locales como del interior de la República, y se complementa con grano de importación que mayormente no cumple con los requisitos de calidad nixtamalera-tortillera y harinera exigidos por la industria de la tortilla (Salinas y Pérez, 1997).

En México, como parte de un programa de mejoramiento genético, Leyva (2002) desarrollo una estrategia para seleccionar cruza simples con caracteres agronómicos y de calidad asociados con el proceso de nixtamalización, e identificó cruza simples experimentales con atributos de calidad de grano atractivo para la industria de harina de maíz nixtamalizado. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha evaluado la calidad nixtamalera-tortillera de los híbridos generados por el propio instituto, para identificar los que reúnen los atributos para la industria (Salinas y Vázquez, 2006).

La composición química y la estructura del grano de maíz influyen sobre el proceso de nixtamalización, la calidad de la tortilla y de la harina de maíz nixtamalizada. Al evaluar las propiedades físicas y químicas del grano de maíces criollos y sus retrocruzas, Vazqu ez *et al.* (2003) encontraron variación en sus características, en la nixtamalización, los maíces con mayor índice de flotación fueron los de mayor humedad de nixtamal. Además, Salinas-Moreno *et al.* (2007) al evaluar dos grupos de variedades, uno que oscurece la masa y la tortilla y otro que no, observaron que las que oscurecen tuvieron mayor contenido de fenoles libres y totales en el endospermo en grano crudo que las que no oscurecen.

En la región de los Valles Altos de México solo en el 6% de la superficie cultivada con maíz se utilizan semillas certificadas, debido posiblemente a la falta de variedades con características agronómicas y económicas adecuadas o deficiencia en la producción de semillas (González *et al.*, 2008). Al respecto, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) participa en la generación de variedades de maíz adaptadas a las diferentes regiones del país, es la institución encargada de abastecer la demanda de diferentes categorías de semillas registradas a empresas semilleras; además, desarrolla la tecnología de semilla para optimizar la producción (Barillas, 2010; Barrón, 2010; Virgen *et al.*, 2010; Sierra *et al.*, 2006) en el país. La formación de híbridos de maíz, involucra la obtención de las líneas por autopolinización controlada, determinar cuáles de las autofecundadas pueden combinarse en cruzas productivas y la utilización comercial de las cruzas para la producción de semilla.

El mejoramiento genético de maíz en los Valles Altos, ha permitido desarrollar en la última década, híbridos con alto rendimiento, porte bajo de planta y resistencia al acame (pérdida de la verticalidad en las plantas cultivadas que tienen hábito de crecimiento erecto), que han sido productos de la combinación de líneas progenitoras de valles Altos del INIFAP y del CIMMYT (Arellano *et al.*, 1997). El H-70 resulta de esa combinación como un híbrido trilineal, de grano blanco y textura semicristalina, con adopción favorable a altitudes de 2200 a 2600 m. de madurez intermedia, ya que logra su floración masculina o espigamiento a los 100 días y la femenina o jiloteo a los 102 días en promedio. Los rendimientos obtenidos con H-70 superaron en 13% al rendimiento de híbridos comerciales (SAGARPA, 2011). Su porte de



planta facilita la siembra intensiva con 70 mil plantas/ha para producción de grano y tiene potencial para la producción de forraje en áreas de riego y buen temporal. El principal impacto económico de H-70 es la diferencia de 3 a 7 toneladas/ha sobre el rendimiento de la semilla criolla, que representan de 7 a 14 mil pesos por ha. Este incremento hace rentable la producción de maíz.

El nuevo híbrido de maíz H-70 contribuye para reducir el problema de falta de híbridos de maíz de alto rendimiento, de ciclo intermedio y calidad de grano adecuada a la industria de la masa-tortilla, para siembras tradicional e intensiva-mecanizada en los Valles Altos de la mesa central de México. El híbrido de maíz H-70 se generó a partir de las líneas endogámicas mich, 21 comp. 1-7-2-14-1-3 con nivel de endogamia  $S_5$ , registrada como M-54 y Tlax. 151 SFC1-11-2-2-2 con nivel de endogamia  $S_4$ , registrada como M-55. Ambas líneas se generaron por el método de selección por pedigrí. La cruce de esas líneas dio origen al progenitor hembra M-54 X M-55, el cual se cruza con la línea registrada CML-242, para generar el híbrido H-70. La línea CML-242 cuenta con nivel de endogamia  $S_8$ , derivada de la población 85, blanco precoz sedimentado, obtenida en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), el origen de la línea M-54 se remonta al año de 1943 cuando se colectó en Zacapu Michoacán, la cual fue evaluada junto con otras colectas obtenidas por rendimiento en 1994 y 1945 (Wellhausen, 1947). La línea M-55 fue obtenida de la variedad criolla Tlaxcala-151, originaria de Huamantla, Tlaxcala y que fue colectada en 1972. El proceso de derivación y selección de líneas se realizó de 1946 a 1984. Durante el periodo de 1983 a 2009 se obtuvieron, evaluaron y seleccionaron cruces simples experimentales para identificar el progenitor hembra, la línea macho CML-242 de CIMMYT y el híbrido trilineal H -70, hasta la fecha se continúan estudios acerca de estas líneas y cruces (SAGARPA, 2011).

#### **1.1.6. Productos derivados del maíz.**

El maíz se utiliza en tres diferentes aplicaciones: como forraje para alimentación de aves, porcinos y vacunos; como materia prima de la molienda seca para producción de alimentos para consumo humano y otras materias primas intermedias usadas por la industria alimentaria; y como materia prima de la molienda húmeda para obtener ingredientes

alimentarios e insumos para industrias diferentes a la alimentaria. Los productos obtenidos mediante la industrialización del grano de maíz, tales como edulcorantes calóricos, colorante caramelo y almidones son indispensables para la elaboración de bebidas no alcohólicas gasificadas, galletitas, cervezas, golosinas, entre otros. En los países de América Latina, como México y América Central, la harina de maíz es consumida todo el año, con diferentes formas de preparación culinarias, constituyéndose en un alimento básico de su alimentación.

Otro producto obtenido a partir de la molienda seca son las hojuelas de maíz. En realidad, la industria elaboradora de los denominados cereales de desayuno se abastece del grano libre del pericarpio y desgerminado para posteriormente elaborar las hojuelas. Estos productos, como las barras de cereal han sido ampliamente aceptados por los consumidores y componen un mercado en crecimiento. Algunos otros productos derivados del maíz, son los siguientes; harina de maíz salvado, jarabe de maíz, maíz de alta fructosa-glucosa, jarabes de maltosa, colorante caramelo malto dextrina, almidones modificados y aceite de maíz. Los derivados del maíz amarillo están presentes en la vida diaria de los mexicanos, en alimentos, bebidas, vestido, cuidado de la higiene y la salud, entre otros (FAO, 1993).

## **1.2. Nixtamalización**

La Nixtamalización es un proceso muy antiguo desarrollado por las culturas Mesoamericanas y aún es utilizado para la producción de tortillas. La nixtamalización produce cambios que mejoran la calidad nutricional del maíz. De acuerdo a la NOM-147-SSA1-1996, se denomina Maíz nixtamalizado o nixtamal, al maíz sano y limpio que ha sido sometido a cocción parcial con agua en presencia de hidróxido de calcio (cal).

Después de cocer el maíz con la cal, el producto obtenido, llamado nixtamal, se lava con agua para eliminar el exceso de cal, este se moltura en molinos de piedra para obtener una pasta suave y cohesiva conocida como masa. La masa es utilizada para producir tortillas, las cuales son la principal fuente de calorías, proteínas y calcio para la población de bajos recursos económicos (Paredes, 2009).

La nixtamalización (palabra náhuatl, derivada de nextli = cenizas o cenizas de cal y tamalli = masa de maíz) es un tratamiento térmico-alkalino que se utiliza para ablandar el grano de maíz.



**Figura 1.3. Método antiguo de la Nixtamalización desarrollado por los aztecas.**  
Fuente: <http://desarrollohistoricoiee.blogspot.mx/2011/02/educacion-azteca.html>

El proceso tradicional es el siguiente: se hierva el maíz en agua con 1-3% de cal (hidróxido de calcio) de 20 a 40 minutos. El tiempo de cocción depende del tipo de endospermo del maíz. La proporción de maíz: agua es de 1:3 (peso: volumen), con un pH de 11-13. Posteriormente se deja reposar al maíz de 8 a 12 horas. El agua de cocción denominada “nejayote” se elimina y el maíz se lava con agua limpia para eliminar el exceso de álcali. Finalmente el maíz se muele en un molino de piedras para obtener la masa cuya textura servirá para la preparación de productos nixtamalizados los cuales conforman, hasta cierto punto, la base alimenticia de la mayor parte de la población en México (Paredes, 2009).

### **1.2.1. Beneficios de la nixtamalización.**

El calcio (Ca) y fósforo (P) representan el principal componente mineral del hueso. Ambos deben de estar disponibles y en cantidades suficientes para que la mineralización ósea sea la adecuada. El maíz nixtamalizado tiene una importancia nutricional al tener una relación Ca: P de 1.0 (el maíz sin nixtamalizar tiene un valor de 0.05). La relación Ca: P ideal en la dieta humana para mantener la densidad mineral apropiada en los huesos, debe de ser de 1.0 a 1.5 (una dieta con una relación Ca: P desde 0.66 a menos de 1.0, produce patologías y una precaria salud en el esqueleto) (Paredes-López, 2006).

En un estudio realizado por Martínez *et al.* (2002), se estudiaron las propiedades físicas y la composición química de fémures de ratas alimentadas con tortillas de maíz nixtamalizado y sin nixtamalizar. Se encontró que los fémures de las ratas alimentadas con tortillas de maíz nixtamalizado fueron más pesados, más gruesos y más fuertes que aquellos de las ratas alimentadas con tortillas de maíz sin nixtamalizar. Este estudio, entre otros, ha mostrado que el Ca del maíz nixtamalizado es altamente biodisponible. De hecho, en México, los productos nixtamalizados proveen más de la mitad del Ca total ingerido per cápita (Paredes-López, 2006).

Aunque la nixtamalización del maíz disminuye ligeramente el contenido de vitaminas en el grano, otorga importantes ventajas, como el incremento de la disponibilidad de niacina – vitamina B3– evitando el riesgo de desarrollar pelagra, enfermedad que se presenta en otras partes del mundo donde se consume el maíz sin nixtamalizar como alimento base sin otras fuentes que sean ricas en vitamina B3; la disminución de ácido fítico que ocasiona una mejor absorción de minerales; un incremento de la biodisponibilidad de aminoácidos; y la destrucción de aflatoxinas en el maíz contaminado por *Aspergillus flavus*.

### **1.2.2. Cambios físicos y químicos durante el proceso de nixtamalización**

El proceso de nixtamalización, en donde se utiliza hidróxido de calcio y una gran cantidad de agua trae consigo ciertos cambios durante dicho proceso, estos cambios pueden ser tanto físicos químicos y fisicoquímicos y se presentan de la siguiente manera.

#### **Cambios físicos.**

Las pérdidas de materia seca durante la cocción alcalina, reposo y lavado del grano de maíz en el proceso comercial son económicamente importantes para los productores de tortillas. Estas pérdidas han sido estimadas del 5 al 14% basadas en los datos de nixtamalización tradicional (Pflugfelder *et al.*, 1988b). La materia seca perdida se compone principalmente de pericarpio del grano (formado de hemicelulosa); las proteínas, lípidos y almidón constituyen perdidas mucho más pequeñas, 2, 20 y 5 %, respectivamente.

La disminución del contenido de materiales secos durante el proceso se incrementa debido a la utilización de maíz con endospermo suave, granos dañados (quebrados, agrietados). Por otro lado, el gran esfuerzo físico del nixtamal durante el bombeado y agitación, altas temperaturas durante el reposo y altos niveles de cal contribuyen a aumentar las pérdidas de dichos materiales. Pflugfelder *et al.* (1988b), encontraron que los tiempos de reposo prolongados (16-24 h) ocasionan las más altas pérdidas de sólidos en un proceso típico. El reposo de 5-10 h es el más adecuado para obtener resultados óptimos (pérdidas por debajo de un 5%). Durante la molienda ocurre una disminución adicional de aproximadamente 6% de materia seca. El principal cambio observado en el grano es el hinchamiento que ocurre debido a la absorción de agua. Además, el procesamiento alcalino del maíz, produce importantes alteraciones en la capa más superficial del pericarpio. Paredes- López y Saharópulos (1982), observaron a través del microscopio electrónico de barrido la superficie del maíz cocido con cal. Se encontró que el tratamiento térmico alcalino produce diversas alteraciones en las capas más superficiales del pericarpio. Estos daños estructurales ocurridos al grano facilitan el desprendimiento de la cutícula durante la etapa de lavado en el proceso de elaboración de tortillas. También observaron que la capa aleurona mantiene encerrando al endospermo y al germen después del tratamiento termo-alcalino y es debido a las características semipermeables de la aleurona, la cual contribuye a la disminución de pérdidas de nutrientes; ya que la mayor cantidad de proteína en el maíz se localiza en el endospermo.

La distribución del tamaño de la partícula en el proceso de elaboración de tortillas de maíz se ve afectada principalmente por las condiciones de molienda utilizadas en dicho proceso. Pflugfelder y Col. (1988), hicieron un fraccionamiento de la masa producida por cinco procesos comerciales. Se encontró que el nixtamal molido se compone de partículas grandes como germen (mallas N°.10-16; >1.15 mm), intermedias con pedazos de endospermo;(mallas N°. 20, 30 y 40; 0.425-1, 50µm), y pequeñas partículas constituidas por más del 90% de almidón libre (mallas N°. 230; < 63µm). Durante la molienda, el gran esfuerzo al corte al que es expuesto el nixtamal, la abertura entre las piedras del molino y la temperatura producida en esta operación influyen severamente sobre el tamaño de la partícula, afectando la capacidad de absorción de una harina (Paredes- López y Saharópulos, 1982).

## **Cambios químicos.**

Durante el proceso los componentes químicos se pierden de dos formas; por pérdidas físicas durante el proceso y por destrucción química de los mismos (Bressani *et al.* 1958). A continuación se describen algunos de los cambios químicos más importantes.

### ✓ **Comportamiento del almidón durante el proceso.**

Dentro de los cambios que se producen en el maíz, los más importantes son los del almidón que influyen directamente en las cualidades de masa y tortilla (Véles Medina, 2004). Es importante recordar, que el almidón se encuentra en la naturaleza en forma de estructuras complejas denominadas gránulos, los cuales son relativamente densos y se hidratan difícilmente en agua fría, y su capacidad espesante es sólo lograda cuando en el proceso de hidratación interviene el efecto del calor.

Una cualidad interesante del almidón es que posee una estructura polimérica compuesta por dos polisacáridos: amilosa, que es esencialmente una estructura lineal y amilopectina que es una estructura ramificada. Los gránulos intactos pueden absorber agua de manera reversible, sin embargo al calentarse se produce el proceso denominado gelatinización que consiste en un hinchamiento irreversible del gránulo y posteriormente la ruptura de algunos.

Paredes-López y Saharópulos (1982), observaron que el endospermo del maíz se modifica con la cocción alcalina debido a que algunos gránulos de almidón se hinchan y gelatinizan y una porción de la matriz de la proteína se hidrata. Cabrera *et al.* (1984), investigando la cinética de difusión del agua y la gelatinización de almidón en el maíz en cocción con álcali a 70-90 °C, encontraron que el grado de gelatinización afecta a la absorción de humedad. Rojas (2001), reporta que durante la cocción y el reposo del maíz en el endospermo los gránulos de almidón se hinchan o gelatinizan, mientras que la matriz proteica se hidrata. Los gránulos de maíz nixtamalizados desarrollan buena consistencia cuando se tiene bastante almidón gelatinizado, mientras que aquellos almidones que no gelatinizan en los sistemas continuos de amilosa, amilopectina y proteínas forman masas cohesivas.

Durante la cocción en la nixtamalización hay pérdidas de la cristalinidad y cambios en la solubilidad, además de que causa hinchamiento en los gránulos de almidón a través del grano, sin embargo en el endospermo corneo y periférico los cambios que ocurren son muy pequeños y el almidón permanece empacado en sus células originales.

✓ **Cambio nutricional.**

Durante el proceso para la elaboración de tortillas de maíz por medio de nixtamalización ocurren cambios en el contenido y disponibilidad de los nutrientes de este cereal. Entre los cambios más importantes se encuentran el aumento en el contenido de calcio, el cual se ve favorecido por los niveles de cal utilizados, las temperaturas de cocción y reposo, y por las características del grano. Además un aspecto que es de interés es que en el maíz crudo se tiene una razón calcio-fósforo de aproximadamente 1 a 20, mientras que en la tortilla esta relación es de 1 a 1, lo que significa que aun cuando hay un incremento en el contenido de fósforo durante la elaboración de tortillas (37%), el aumento de calcio es mucho mayor (Bressani, 1990; Trejo-González, 1982; y Serna-Saldívar, 1987).

Bressani (1958), realizó estudios de los cambios físicos y químicos ocurridos en el maíz durante la preparación de tortillas mediante el método tradicional para variedades con granos color blanco y amarillo. Este autor observó que las pérdidas que ocurran, dependen mucho del tipo de maíz que se utilice así como de las condiciones en las que se lleve a cabo el proceso.

### **1.3. Masa y tortilla**

Se le denomina masa, al producto obtenido de la molienda húmeda de granos de maíz nixtamalizado o pasta que se forma a partir de harina de maíz nixtamalizado, harina de trigo, harinas integrales o sus combinaciones y agua. Pudiendo estar mezclada con ingredientes opcionales y aditivos permitidos para alimentos (NOM-187-SSA1/SCFI-2002).

Se le llama tortilla al producto elaborado con masa que puede ser mezclada con ingredientes opcionales, sometida a cocción (NOM-187-SSA1/SCFI-2002). La manera de hacer la masa y la tortilla prácticamente no ha cambiado durante siglos, incluso, los procesos industriales para hacer este alimento son muy semejantes al proceso tradicional. Una vez preparado el nixtamal, se muele para preparar la masa y finalmente se prensa para sacar las tortillas. Éstas se ponen en el comal y se les da vuelta varias veces hasta que están listas para comerse.

Cada uno de los pasos para hacer tortillas tiene sus propios secretos que han pasado de generación en generación y le dan un carácter especial: pueden ser de varios tamaños y colores, gruesas o delgadas, finas o ásperas. Dos cosas fundamentales hacen una tortilla de buen sabor y consistencia: la calidad del grano de maíz y que el proceso de nixtamalización sea completo.

A pesar de que la forma tradicional de hacer tortillas ha perdido terreno ante la industrialización, los consumidores preferirían tener en su mesa aquellas tortillas calientitas, suaves y recién hechas como las que se hacen en los pueblos y rancherías.

La tortilla de maíz es el alimento más importante para los mexicanos. Actualmente se comercializan diferentes tipos; no obstante, la tortilla recién elaborada sigue en la preferencia de los consumidores (Figura 1.4)



**Figura 1.4 Tortilla de maíz**

**Fuente: <http://tortillaamano.com>**



En México se prefiere consumir la tortilla tradicional; es decir, la recién elaborada con maíz nixtamalizado debido a su olor y sabor a maíz nixtamalizado, a su color crema brillante y por ser fácil al corte y al enrollado (Ordaz y Vázquez, 1997). En los años 90's aparecieron en el mercado mexicano las tortillas empacadas, su demanda ha sido reducida. La tortilla tradicional se elabora con 100% de masa fresca o bien mezclando masa fresca con harina nixtamalizada.

### **1.3.1. Características y propiedades de masa y tortilla.**

La masa obtenida es una mezcla constituida por los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina) mezclados con gránulos de almidón parcialmente gelatinizados, gránulos intactos, partes de endospermo y lípidos. Todos estos componentes forman una malla compleja heterogénea dentro de una fase acuosa continua (Gómez *et al.*, 1987). Además, la re asociación de la amilosa y amilopectina, que depende del tiempo y la temperatura, modifica constantemente el contenido total de agua (Pflugfelder *et al.*, 1988) y su distribución dentro de esta matriz. Este proceso tiene la mayor repercusión en las propiedades reológicas y de textura de los productos elaborados a partir de masa.

A pesar de esta complejidad, se ha avanzado en el entendimiento del proceso de nixtamalización y sus efectos en el grano de maíz (Rooney y Suhendro, 1999). La cal actúa en los componentes de la pared celular del grano de maíz y convierte la hemicelulosa en gomas solubles. De esta forma, el tratamiento térmico-alkalino gelatiniza el almidón, saponifica parte de los lípidos, libera la niacina y solubiliza parte de las proteínas que rodean los gránulos de almidón. Adicionalmente, debido al pH las cadenas de glucosa a partir de la amilosa y la amilopectina se cargan, lo cual ayuda a disminuir la retrogradación.

De cualquier manera, para unir todos estos eventos y producir una masa de alta calidad, tanto la nixtamalización como la molienda del nixtamal deben ser óptimos, es decir cocer el grano de maíz al punto inferior al punto de ebullición del agua en una solución de hidróxido de calcio (0.3-2.0 g /100 g), seguido de un periodo de remojo de doce horas (Rooney y Suhendro, 1999).

### 1.3.2. Composición química de tortilla

La nixtamalización adiciona minerales como calcio y fósforo y otros nutrientes al maíz, como la niacina. Además, permite que el grano se digiera mejor y aumente su contenido de fibra dietética, es por eso que la tortilla es el principal alimento para los mexicanos.

En la Tabla 1.5 se muestra la composición química de una tortilla de aproximadamente 35 g.

Tabla 1.5 Composición química de una tortilla

Componente	(%)
Humedad	38 a 45.14
Proteína	5.42 a 7.14
Grasa	1.85 a 5.25
Cenizas	0.85 a 4
Fibra dietética	3.42 a 4
Fibra cruda	0.68 a 1.71
Hidratos de carbono	42.85 a 48.57
Calcio	0.098 a 0.20
Magnesio	0.06 a 0.06
Sodio	0.002 a 0.17
Potasio	0.105 a 0.18
Vitamina B6	0.0001 a 0.0002

Fuente: Morales, 1991.

### 1.4. Reología de masas.

#### Reología.

La reología (del griego reos, fluir y logos, estudio) es la ciencia del flujo y la deformación de la materia, describe la interrelación entre fuerzas, deformaciones y tiempo. La reología es aplicable a todos los materiales, desde los gases hasta los sólidos. La reología es entonces la

rama de la física que estudia el comportamiento de los fluidos sometidos a diferentes tipos de esfuerzos. El campo de la reología se extiende desde la mecánica de los fluidos Newtonianos por una parte, hasta la elasticidad de Hooke para materiales sólidos y semisólidos por otra (Roudot, 2001), es por ello que el comportamiento de los materiales se divide en tres categorías:

- ✓ Sólido de Hooke, materiales que obedecen la Ley Hookeano: En los cuales las propiedades viscoelásticas son una función del tiempo y no de la magnitud de la deformación ni de la velocidad de deformación.
- ✓ Materiales viscoelásticos (No Hookeanos): Estos materiales exhiben propiedades mecánicas que son función del tiempo y de la magnitud del esfuerzo aplicado
- ✓ Fluido newtoniano, materiales que obedecen la Ley de Newton.

El comportamiento sólido de Hooke o comportamiento elástico y fluido newtoniano, son casos ideales, muchos de los sistemas alimenticios se encuentran entre estos dos y quedan incluidos dentro del comportamiento viscoelástico (Casas y Ramírez, 1998).

La medición de la fuerza de corte y la viscosidad de materiales proporciona la información que concierne las propiedades del flujo del sistema. La mayoría de los sistemas son viscoelásticos y por lo tanto representan propiedades de flujo como una función de la velocidad de corte.

Cuando un sistema elástico ideal es deformado bajo una fuerza externa, la energía es totalmente almacenada y es liberada cuando la fuerza externa es removida. El mecanismo en un fluido newtoniano es representado mediante la disipación de energía en forma de calor para hacer fluir un líquido newtoniano, mientras que en el cuerpo elástico simboliza la energía almacenada por el material.

#### **1.4.1. Métodos de medición**

- **Métodos Estáticos**

Los métodos estáticos son ensayos mecánicos usualmente destructivos en los cuales las muestras quedan inutilizadas después de la realización de las pruebas. Estas consisten en la aplicación de una carga y simultáneamente, se va monitoreando la deformación inducida.

Esfuerzo-deformación. El esfuerzo corresponde a una carga o fuerza por unidad de área, aplicada sobre un material, y la deformación es el cambio en las dimensiones por unidad del tamaño original.

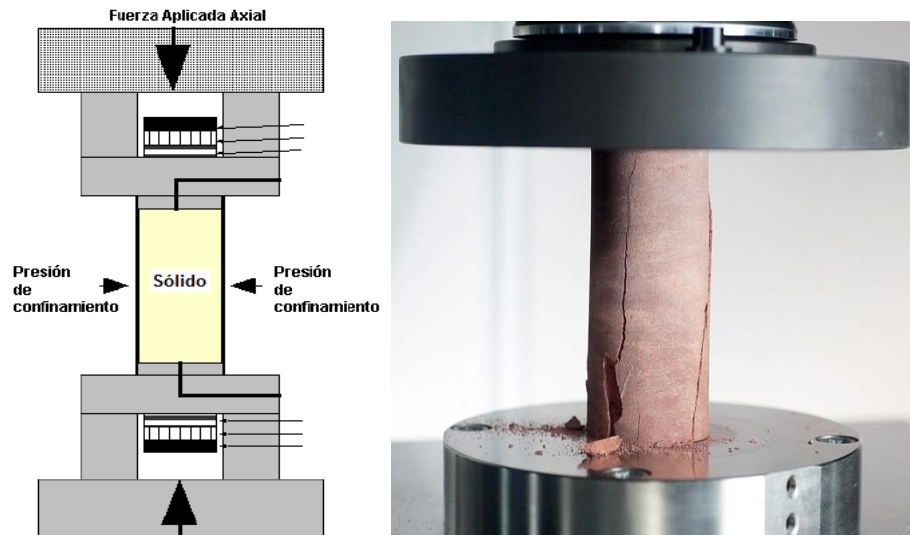
En el caso de los métodos estáticos, la carga, que puede ser estática o cambiar de forma relativamente lenta a lo largo del tiempo, se aplica de manera uniforme en una sección transversal o en la superficie de un cuerpo, y la deformación es medida y relacionada al módulo de elasticidad que puede ser el módulo de Young o de cizallamiento dependiendo del tipo de prueba (Cossolino y Pereira, 2010). Para ello, hay dos formas principales en las cuales una carga puede ser aplicada:

- Tracción y compresión para la determinación del módulo de Young.
- Cizallamiento o torcional para el módulo de cizallamiento.

En estos, la muestra es deformada con carga de tracción uniaxial que se aplica uniaxialmente, paralelamente al eje más largo de la muestra. Para el caso de esta investigación se determinó el módulo de Young o módulo elástico, en donde la resistencia a la compresión uniaxial es inversamente proporcional a la porosidad, ya que cuando un esfuerzo de sobrecarga aumenta, el material se vuelve más compacto y resistente a la fractura.

### **Compresión uniaxial.**

Con una prueba uniaxial se determina la resistencia de las masas sometidas a un esfuerzo normal en una sola dirección. Esto se puede realizar cuando la presión radial o de confinamiento es igual a cero. El ensayo consiste en comprimir lentamente la muestra, y anotar continuamente la deformación del producto y del esfuerzo ejercido para obtener esta deformación.

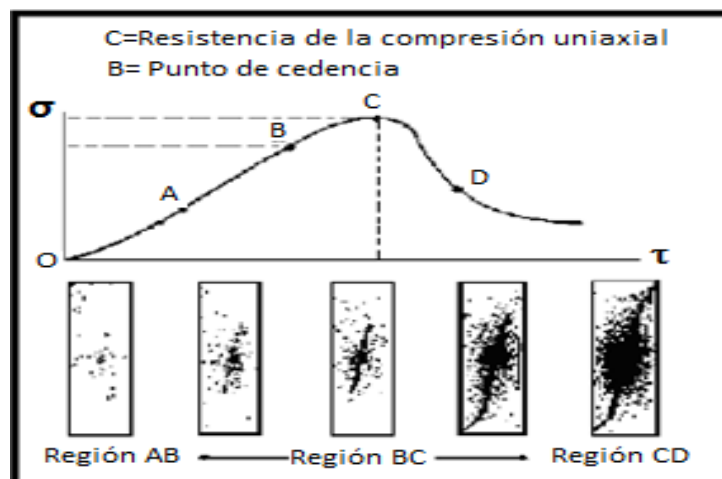


**Figura 1.5. Comportamiento de la deformación de un sólido mediante compresión uniaxial.**  
 Fuente: [www.researchgate.net/figure/Arreglo-de-ensayo-Uniaxial](http://www.researchgate.net/figure/Arreglo-de-ensayo-Uniaxial)

Se define el esfuerzo normal como el cociente entre la fuerza aplicada y la superficie de contacto, mientras que la deformación viene dada por el cociente entre la variación de altura de la muestra y su altura inicial. (Roudot, 2004)

En la Figura 1.6 se muestra una esquema de la obtención del gráfico de esfuerzo-deformación aplicado a un material como resultado de una prueba uniaxial; conceptualmente la resistencia a la compresión uniaxial es el punto máximo que muestra dicha curva, al cual se le conoce como el punto de máximo esfuerzo.

### Relación esfuerzo - deformación.



**Figura 1.6 Relación esfuerzo-deformación (Acevedo, 2009)**

En relación al comportamiento de esfuerzo – deformación, para unas condiciones dadas de presión y temperatura, un material responderá a la aplicación de un esfuerzo, primero con una deformación elástica (reversible), que es directamente proporcional al esfuerzo; luego con una deformación plástica (irreversible), que crece más deprisa que el esfuerzo; por último, con una deformación rígida (rotura), que a diferencia de las anteriores, rompe la continuidad original de los puntos materiales. Como se puede observar en la Figura 1.6, la curva presenta diferentes regiones:

- En la región OA y AB el núcleo exhibe un comportamiento esencialmente elástico, es decir el esfuerzo aplicado genera una deformación mientras éste se siga aplicando al material.
- El Punto B, se define como el punto de cedencia o límite elástico y es un punto de deflexión que marca la transición de la región elástica OB a la región dúctil BC.
- El esfuerzo en el punto C es definido como la Resistencia a la Compresión uniaxial y es el máximo esfuerzo que una masa en particular puede soportar sin que esta sufra una fractura o deformación irreversible.
- La región CD es definida como la región quebradiza o dúctil (dependiendo del tipo de masa) en donde la habilidad de la masa de mantener una carga decrece con el incremento de la deformación (Acevedo, 2009).

Un parámetro importante de la masa es la resistencia a la compresión uniaxial ( $C_u$ ), la cual se puede determinar mediante correlaciones establecidas para algunas formaciones en específico y pruebas de laboratorio.

Durante la compresión de un alimento se pueden medir varios parámetros característicos del estado físico del producto. Uno de ellos es el módulo de Young, el cual también es conocido como módulo elástico que da una medida de elasticidad del producto (Roudot, 2004).

Es posible obtener el valor de algunos parámetros o módulos elásticos, ya que, el registro de los esfuerzos y de las deformaciones correspondientes permite dibujar la curva esfuerzo – deformación del ensayo (Figura 1.6). La rama ascendente de la curva, antes de alcanzar la resistencia del pico, presenta un comportamiento lineal o elástico para la mayor parte de las

masas. En el campo elástico, la deformación es proporcional al esfuerzo y se expresa con respecto a la ecuación 1:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_{ax}} = \frac{F/A}{\Delta L/L} \quad \text{Ec. (1.1)}$$

Donde E es la constante de proporcionalidad conocida como *módulo de Young* o módulo de elasticidad que se obtiene como resultado de un esfuerzo aplicado y la deformación bajo una carga uniaxial,  $\sigma$  es el esfuerzo (relación entre la fuerza y el área) y  $\varepsilon_{ax}$  es la deformación axial aplicada en una sola dirección (relación entre la diferencia de altura con respecto a la inicial).

- **Métodos dinámicos**

En los métodos dinámicos los módulos Viscoelásticos son determinados a partir de la frecuencia de vibración natural (resonancia) del cuerpo de prueba con amplitudes de vibración (deformación) mínimas. Las pruebas dinámicas muestran como, al aplicar una deformación oscilatoria continua, a un esfuerzo constante y velocidad de deformación fija, aparece una onda sinusoidal de esfuerzo, cómo se muestra en la siguiente figura, (Ferry, 1980).

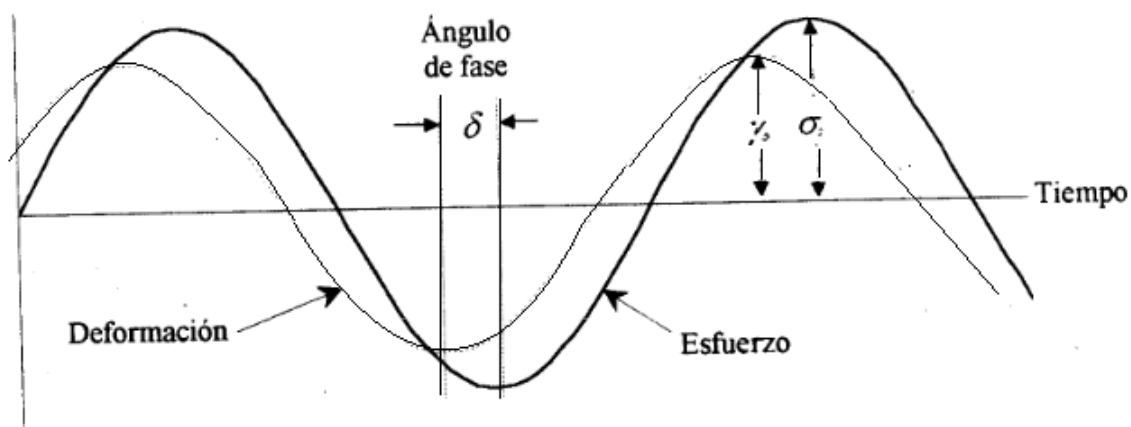


Fig. 1.7. Deformación oscilatoria y esfuerzo de respuesta en pruebas dinámicas (Goodwin y Hughes, 2000)

La curva de la fuerza seguirá la curva de deformación en la fase y el ángulo será de 0°. Para un sistema ideal viscoso, la fuerza no seguirá la curva de deformación y será 90° desfasada. Un sistema viscoelástico, por lo tanto, tendrá un ángulo de fase 0° y 90°. El ángulo más cerca del ángulo 0° es un material elástico, mientras más cerca esté a 90° el material es más viscoso.

Una relación algebraica que describe de forma simple el comportamiento reológico se da con las siguientes ecuaciones (Goodwin y Hughes, 2000):

Para un sólido completamente elástico, la ley de Hooke establece:

$$\sigma = G\gamma \quad \text{Ec. (1.2)}$$

Y para un fluido completamente viscoso, la ley de Newton de la viscosidad:

$$\sigma = \mu\dot{\gamma} \quad \text{Ec. (1.3)}$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo de cizalla  $\left(\frac{N}{m^2}\right)$

$G$  = Módulo elástico  $\left(\frac{N}{m^2}\right)$

$\gamma$  = Deformación relativa (adimensional)

$\mu$  = Viscosidad Newtoniana (Pa.s)

$\dot{\gamma}$  = Velocidad de cizalla  $\left(\frac{1}{s}\right)$

El módulo complejo incluye una porción elástica y una porción viscosa de comportamiento reológico siendo  $G'$  el módulo de almacenamiento que representa la energía que es almacenada y es definido como la fuerza en fase con la deformación en un corte de deformación sinusoidal dividida por la deformación, este es una medida de energía almacenada y recuperada por ciclo. Mientras que  $G''$  es el módulo de pérdida que indica la cantidad de energía que es disipada y es definido como la fuerza a 90° fuera de fase con la deformación



dividida por la deformación. Esta es una medida de energía disipada o pérdida de calor por ciclo de deformación sinusoidal (Ferry, 1980).

Las funciones de frecuencia, pero no de tiempo transcurrido, dependiente de la función del módulo de almacenamiento  $G'$  y el módulo de pérdida  $G''$ , siendo la fuerza una forma alternativa para visualizar la amplitud  $\sigma^0$  de la fuerza y la fase del ángulo  $\gamma^0$  entre la fuerza y deformación de relaciones trigonométricas, para cada periodo o medida de una frecuencia dada, dos funciones son evidentes  $G'$  y  $G''$ , las cuales son representadas de acuerdo (Ferry, 1980):

$$G' = (\sigma^0 / \gamma^0) \cos \delta \quad \text{Ec. (1.4)}$$

$\sigma^0$  = Amplitud del esfuerzo de corte  $\left(\frac{N}{m^2}\right)$

$\gamma^0$  = Amplitud de la deformación (a dimensional)

$\delta$  = Ángulo de desfase (rad)

$$G'' = (\sigma^0 / \gamma^0) \sin \delta \quad \text{Ec. (1.5)}$$

El ángulo de fase  $\delta$  (delta) o tangente del ángulo de desfase puede ser calculada con la relación:

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad \text{Ec. (1.6)}$$

$\tan \delta$ , multiplicada por 100 será el porcentaje de energía pérdida y energía almacenada.

#### 1.4.2 Características reológicas de la masa

La masa es un material viscoelástico muy sensible a la deformación. Cuando la masa se somete a fuerzas externas, los entrecruzamientos físicos y los puentes químicos débiles que sostienen los constituyentes de la masa se pueden romper y reorganizar, permitiendo su relajamiento, parcial o completo.

Estructuralmente se considera que la masa de un sistema complejo donde la interacción entre las proteínas hidratadas, la matriz de almidón y las interacciones almidón-proteína influyen en sus propiedades viscoelásticas. La base molecular para las interacciones almidón-almidón son

las fuerzas de van der Waals y los puentes de hidrógeno. Las proteínas interactúan por enlaces disulfuro, puentes de hidrógeno, entrecruzamientos e interacciones hidrofóbicas para formar una red continua, que es la base para el desarrollo y retención de gas en la masa.

El comportamiento macro estructural de la masa depende de su microestructura, es decir, de su composición, del arreglo espacial de sus componentes y de los tipos de enlace existentes. A pesar de que el almidón constituye gran parte del volumen de la masa, se han realizado pocos estudios describiendo su contribución en las propiedades reológicas de la masa. La capacidad de retención de agua del almidón tiene mayor efecto sobre las propiedades de tensión de la masa que el tamaño de partícula del gránulo de almidón. Algunos ensayos han determinado que el comportamiento elástico de la masa se ubica en un 2% de su deformación, mientras que el gluten exhibe el mismo comportamiento a deformaciones mayores; por consiguiente, Hibberd (1970) concluye que el almidón influye en el comportamiento viscoso del material.

El módulo de pérdida ( $G''$ ) y el módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de la masa disminuyen con el incremento del contenido de agua cuando se tiene un contenido de humedad entre 44% y 47%; la tangente de pérdida ( $\tan \delta$ ) es independiente del contenido de humedad, lo cual indica que el agua solo actúa como plastificante sin afectar la estructura de la masa; concluyendo que el almidón influye en el comportamiento viscoelástico. La masa de harina de maíz, se considera como un material compuesto, ya que este contiene una proteína llamada Zeína que forma una matriz continua y los gránulos del almidón actúan como partículas de relleno dentro de la matriz. Se asume poca contribución de las propiedades minoritarias, las propiedades reológicas de la masa de harina de maíz dependen de las propiedades de la matriz de proteína, del almidón de relleno y del grado de adhesión e interacción entre los gránulos de almidón y la matriz de proteína.

La masa de maíz es una red de moléculas de almidón solubilizadas y gránulos de almidón dispersos, parcialmente gelatinizados, en una fase continua de agua libre, que sostiene los gránulos de almidón no gelatinizados, las piezas de endospermo y los lípidos. La masa de tortilla de maíz es ejemplo de una masa que tiene propiedades cohesivas, sin gluten y sin

propiedades elásticas parecidas a la masa de trigo. Este tipo de material alcanza su máxima cohesividad cuando los espacios entre las partículas se llenan de agua. Se pueden distinguir tres tipos de deformaciones en un producto alimenticio: compresión por todos los lados; extensión o compresión uniaxial y cizalla. Compresión o extensión uniaxial, fue el objeto de estudio en este proyecto, el cual se refiere a que un material se deformara en una compresión o extensión uniaxial si se le aplica un esfuerzo  $\sigma$  normal de compresión o de tracción.

## **1.5. Textura de tortilla**

Las propiedades fisicoquímicas, reológicas texturales y la calidad final de las tortillas dependerá tanto del tipo de maíz y las condiciones del proceso de la nixtamalización, la cual actúa sobre los componentes de la pared celular del grano y convierte la hemicelulosa en gomas solubles. Por otra parte, este tratamiento térmico alcalino gelatiniza parte del almidón, saponifica algunos lípidos y solubiliza parte de las proteínas (Mendéz-Montealvo, *et al.* 2005). Los cambios en la textura de productos con alto contenido de almidón se asocian principalmente con el fenómeno de gelatinización del almidón y la retrogradación. En el caso de las tortillas, la retrogradación y la tasa de deshidratación son los factores responsables de endurecimiento, una indeseable característica ya que los consumidores prefieren las tortillas suaves.

Una propiedad textural muy importante durante el procesamiento y la transformación de las masas es la pegajosidad, la cual se define como la fuerza de adhesión que resulta cuando las superficies se ponen en contacto. En la mayoría de los sistemas alimenticios, las fuerzas de adhesión son la combinación de una fuerza adhesiva y cohesiva. Cuando la fuerza adhesiva es mayor que la cohesiva se conoce como un estado pegajoso, debido a que las propiedades de adhesividad y cohesividad de la masa se confunden, es esencialmente difícil determinar que factor o factores afectan su pegajosidad, por lo cual se afirma que cualquier factor que afecte la reología de la masa podría potencialmente afectar dicha propiedad textural.

### **Efecto de textura en el proceso de elaboración de tortillas**

Las masas de tortillas de maíz tienen una textura apropiada cuando son lo suficientemente pegajosas para adherirse levemente a los rodillos laminadores y separarse adecuadamente; sin embargo, se presentan dos problemas en el proceso, la sobre cocción del maíz produciendo una masa muy pegajosa que se adhiere fuertemente a los rodillos, y la falta de cocción del maíz, generando una masa no cohesiva e inadecuada para la formación de tortillas. Por consiguiente, una masa óptima es la que tiene fuerzas de adhesión y cohesión balanceadas.

### **Efecto de textura en la calidad de la tortilla**

Desde el momento que se habla de alimento y textura, es necesario recordar que todo esto afecta ante todo al ser humano, y que todas las medidas de textura existen con el fin de obtener modelos y de evaluar la impresión final que retendrá al consumidor, puesto que la textura es un factor de calidad y aceptabilidad sensorial importante para la aprobación de algunos alimentos por parte del consumidor.

En textura de tortillas debemos tomar en cuenta que durante el proceso de elaboración de tortillas ocurren muchos cambios que afectan sus propiedades texturales. Los más importantes son la gelatinización y retrodegradación del almidón durante y después de la cocción de la tortilla. Estos cambios propician pérdida de flexibilidad y aumento de rigidez en las tortillas que van en relación a la tasa de deshidratación del producto ya que al enfriarse en el producto comienzan cambios estructurales entre el almidón, proteínas, fibra de tal forma que confieren características indeseables ya que los consumidores prefieren tortillas suaves.

## **1.6. Microbiología de granos de maíz y tortillas**



**Fig. 1.8. Análisis microbiológicos en masa y tortilla (FAO, 1993)**

La tortilla es un producto alimenticio derivado del maíz y es de muy alto consumo en nuestro país. La elaboración de la masa para tortilla está constituida por las siguientes materias primas como es el maíz, agua e hidróxido de calcio (Cal).

La flora microbiana puede tener su origen en el suelo, aire, agua, en el medio ambiente del almacén o en la fase de manipulación y elaboración. Los microorganismos presentes en la harina son relativamente bajos, pero una vez que ha sido hidratada se crean condiciones de actividad acuosa favorables para el crecimiento de bacterias, hongos y levaduras. Las condiciones de almacenamiento, tales como el contenido de humedad de los granos, la temperatura y el tiempo de almacenamiento, son factores críticos en el control de los microorganismos.

Los contaminantes bacterianos (*coliformes*, *enterococos*, *E. coli*) son aportados por los pájaros, insectos y roedores, los cuales están ecológicamente asociados a los granos y para prevenir el crecimiento de mohos, el contenido de humedad de los cereales debe ser tan bajo como sea posible. La población bacteriana en los granos es alta, pero el número de patógenos es bajo y suele incluir *B. Cereus*, *C. Perfringens*, *C. Botulinum* y en algunos casos *Salmonella spp.* Los niveles de mohos y levaduras también son elevados, y si los granos están secos mueren lentamente. La baja actividad de agua de los granos de cereales evita el desarrollo de las bacterias, pero estos organismos pueden sobrevivir durante la molienda y contaminar las harinas.

Aunque los productos derivados de harinas sean ricos en proteínas y carbohidratos, si están adecuadamente almacenados, su escasa actividad acuosa ( $a_w$ ) restringe el crecimiento de cualquier microorganismo. Debido a que la masa tiene un alto contenido de humedad y rica en nutrientes, esta puede ser un medio favorable para que se lleven a cabo la mayoría de las reacciones químicas, enzimas y las transformaciones hidrolíticas necesarias para que un organismo crezca y se desarrolle, generando mohos los cuales son capaces de degradar al alimento, afectando la vialidad del producto ya que estos también pueden desarrollarse a bajos contenidos de humedad.

Dentro de esta microflora se pueden encontrar bacterias coliformes, que son perjudiciales en los alimentos ya que su presencia en ellos, se considera como signo de contaminación por desperdicios fecales y, por lo tanto posiblemente por bacterias entéricas patógenas. Ya que este tipo de bacterias crece en cualquier tipo de substrato, pueden causar sabores anormales y desagradables en el alimento.

También la contaminación de los alimentos está dada por algunos microorganismos patógenos, especialmente los que causan infecciones respiratorias que pueden llegar por medio del aire a los empleados y a los mismos alimentos, al igual que las esporas de los hongos que se transmiten por aire pueden ocasionar problemas importantes, ya sea por razones sanitarias como económicas.

Los estudios de la microflora en la masa de maíz elaborada por el proceso de nixtamalización, son muy escasos, por lo que no es factible poder comparar la composición microbiológica de la misma contra normas sanitarias, ya que no se han efectuado estudios más profundos sobre este tema.

## **1.7. Análisis sensorial**

La evaluación sensorial es el análisis de alimentos u otros materiales por medio de los sentidos. Es una técnica de medición y análisis tan importante como los métodos físicos, químicos, microbiológicos, etc. Este tipo de análisis tiene la ventaja de que las personas que

efectúan las mediciones llevan consigo sus propios instrumentos de análisis; o sea sus sentidos (Anzaldúa, 2005).

Para obtener los resultados e interpretaciones, la evaluación sensorial se apoya en otras disciplinas como la química, las matemáticas, la psicología y la fisiología entre otras.

### **1.7.1. Tipos de pruebas**

Las pruebas sensoriales empleadas en la industria de alimentos, se dividen en ciertos grupos, en este caso, las pruebas más utilizadas para la evaluación de alimentos son las siguientes (Aenor, 1997).

- **Pruebas afectivas.**

Las pruebas afectivas, son pruebas en donde el panelista expresa el nivel de agrado, aceptación y preferencia de un producto alimenticio, puede ser frente a otro. Se utilizan escalas de calificación de las muestras. Para este tipo de pruebas se subdividen en las siguientes pruebas: Pruebas de preferencia; prueba de preferencia pareada, prueba de ordenamiento, pruebas de satisfacción y prueba de aceptación.

- **Pruebas discriminativas.**

Las pruebas discriminativas consisten en comparar dos o más muestras de un producto alimenticio, en donde el panelista indica si se percibe la diferencia o no, además se utilizan estas pruebas para describir la diferencia y para estimar su tamaño. Las pruebas discriminativas se clasifican en: pruebas de diferenciación y pruebas de sensibilidad (Anzaldúa, 2005).

- **Pruebas descriptivas.**

Estas pruebas permiten conocer las características del producto alimenticio y las exigencias del consumidor. A través de las pruebas descriptivas se realizan los cambios necesarios en las formulaciones hasta que el producto contenga los atributos para que el producto tenga

mayor aceptación del consumidor. Las pruebas analíticas descriptivas se clasifican en: escalas de clasificación por atributos y en pruebas de análisis descriptivo (Anzaldúa, 2005).

- **Pruebas hedónicas**

En las pruebas hedónicas se le pide al consumidor que valore el grado de satisfacción general que le produce un producto utilizando una escala que le proporciona el analista. Estas pruebas son una herramienta muy efectiva en el diseño de productos y cada vez se utilizan con mayor frecuencia en las empresas.

Las pruebas hedónicas son de las más usadas para la medición de la posible aceptación de un producto en el mercado, El consumidor mide el nivel de agrado o desagrado del producto a través de una escala verbal-numérica que se encuentra explicada en el cuestionario suministrado. La escala tradicional americana tiene 9 puntos, aunque, en estudios realizados en el país han demostrado que una escala de 7 puntos es suficiente y más fácil de manejar. El número de puntos es impar para que el punto central sea un punto neutral, que generalmente corresponde a “no me gusta ni me disgusta” (Anzaldúa, 2005).



# Capítulo 2. Metodología

## 2.1. Objetivos

### Objetivo general

Evaluar el efecto de seis genotipos diferentes de maíz sobre las propiedades reológicas de masa y texturales, microbiológicas y químicas de tortilla para determinar su calidad física, sanitaria y nutrimental así como el grado de aceptación de las tortillas.

### Objetivos particulares

- 1) Evaluar los cambios reológicos y texturales de masas nixtamalizadas a partir de seis genotipos de maíz mediante pruebas de viscoelasticidad y compresión uniaxial para conocer los diferentes cambios en cada genotipo.
- 2) Realizar análisis químicos (cenizas, lípidos, fibra cruda, proteínas y humedad) y microbiológicos (mesófilos, mohos y levaduras) a las tortillas realizadas con seis genotipos de maíz mediante un análisis químico proximal y método de diluciones en serie, para obtener el contenido nutrimental y calidad sanitaria de la tortilla.
- 3) Determinar los cambios de textura en tortillas procesadas con seis genotipos de maíz mediante pruebas de extensibilidad (fuerza y distancia máxima de ruptura) para seleccionar aquel que tenga las mejores características texturales.
- 4) Evaluar las propiedades organolépticas de las tortillas obtenidas con seis genotipos de maíz mediante un análisis sensorial (pruebas hedónicas) para determinar el grado de aceptación.

## 2.2. Desarrollo metodológico

### 2.2.1. Caracterización del maíz.

Los seis genotipos de maíz que se emplearon para la experimentación fueron tres líneas agronómicas M-54 (Colectada en 1943 y originaria de Zacapu Michoacán), M55 (obtenida de la variedad criolla Tlaxcala-151, originaria de Huamantla) y CML-242 (obtenida en el centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo (CIMMYT)), dos cruza M54xM55 y M55xM54 y un híbrido H-70 (Cruza de las líneas endogámicas CML-242 y M55xM54). Estos seis genotipos de maíz fueron donados por el INIFAP (Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria).

En la Figura 2.1 se muestran los seis genotipos de maíz.

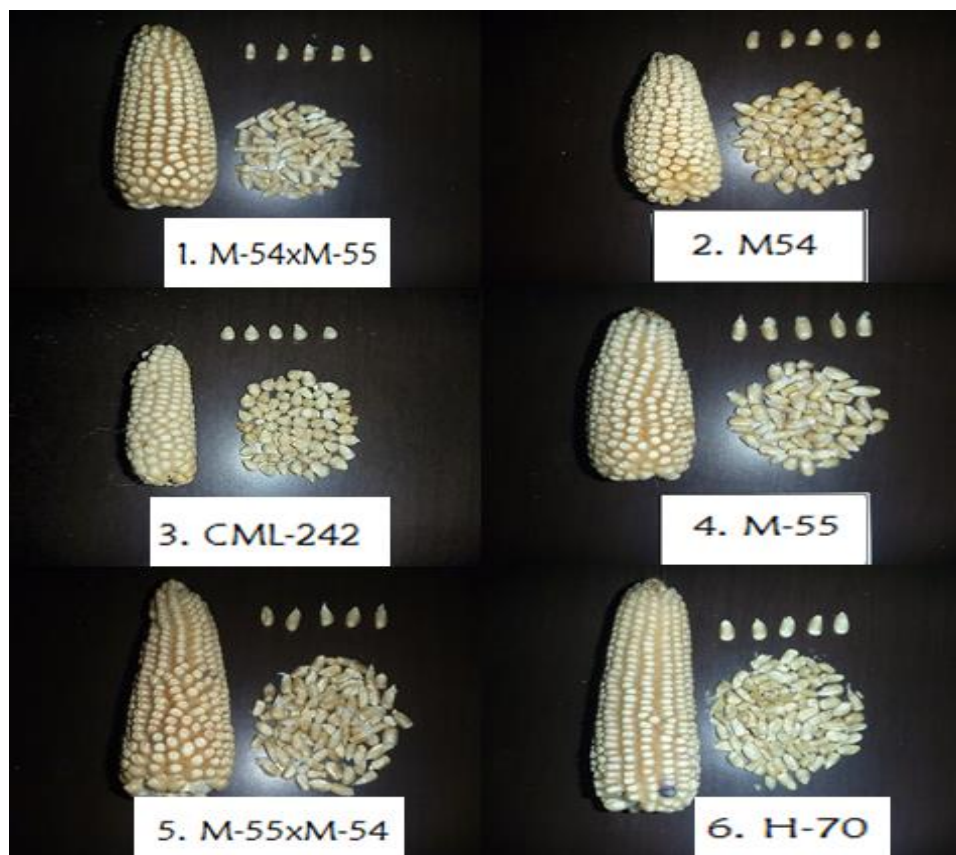


Figura 2.1 Seis genotipos de maíz.

**Tabla 2.1. Proveniencia de los genotipos de maíz**

<b>Maíz</b>	<b>Genotipo</b>
M54	Línea progenitora
M55	Línea progenitora
CML-242	Línea progenitora
M54xM55	Cruza de líneas progenitoras
M55xM54	Cruza de líneas progenitoras
H-70	Híbrido

### **2.2.2. Características físicas del maíz**

Se midieron las dimensiones del grano de maíz (longitud, diámetro y espesor), peso hectolitrico, humedad e índice de flotación para la caracterización de cada uno y microbiología por el método de recuento en placa agar para la identificación de bacterias mesófilas, mohos levaduras. Los diferentes genotipos de maíz fueron limpiados de forma manual, eliminando cualquier tipo de materia extraña, impurezas y granos rotos, pasándolo por cribas, posteriormente se seleccionaron 20 granos de maíz limpios de cada genotipo para medirlos y obtener el diámetro medio geométrico ( $D_g$ ) fue calculado por la Ec. 1, de acuerdo a Vilche *et al.* (2003):

$$D_g = \sqrt[3]{l d t}$$

**Ec. (2.1)**

**Dónde:**

$D_g$ = Diámetro medio geométrico (mm)  $l$ = Longitud (mm)

$d$ = Diámetro (mm)  $t$ = Espesor (mm)

**Peso hectolítrico**

El peso hectolítrico, se determinó para cada una de las 6 variedades de maíz utilizado, se colocó el grano de maíz limpio sobre el cono de la balanza de peso hectolítrico, posteriormente se abrió el paso para que el grano cayera sobre el recipiente (1 L) que se encuentra debajo de la balanza, se eliminó el exceso y finalmente se pesó el recipiente para determinar la masa específica del grano, reportando el resultado en Kg/h (AOAC, 2000),



**Figura 2.2 Balanza de peso hectolítrico marca OHAUS**

### **Humedad**

La humedad es definida como el agua que contiene el maíz, expresada en porcentaje de masa sobre base húmeda. De acuerdo a la NMX-FF-034/2-SCF-2002 el contenido de humedad adecuado para permitir el manejo, conservación y almacenamiento de maíz, debería ser 15%, y se calculó en base a la metodología de secado de muestras de maíz con una estufa de circulación de aire forzado durante 72 horas a 103°C (AOAC 1990).



**Figura 2.3. Determinación de humedad**

## Peso de 1000 granos

Se calculó el peso de 100 granos de acuerdo a la metodología reportada por Serna-Saldivar *et al.* (1992).

## Índice de flotación

El índice de flotación es un método indirecto para medir la dureza, ésta es dada por la composición y grosor del pericarpio, y de la relación de concentración de amilosa y amilopectina (Badui, 2013) y se midió de acuerdo a la metodología de Salinas *et al.* (1992). El método consiste en seleccionar aleatoriamente 100 granos que no estén dañados, y limpios de impurezas, después preparar una solución de nitrato de sodio (41.0 g en 100 ml de agua) con una densidad de  $1.2500 \pm 0.0005$  g/mL. Posteriormente depositar de 500 a 600 mL de solución en un vaso de precipitado de 1 L, añadir los 100 granos, agitar levemente y esperar un minuto.

El índice de flotación se considera como el número de granos que ascienden a la superficie, estos son contados y registrados. Este método se basa en el principio de que los granos duros son de mayor densidad y por lo tanto tales granos flotan en menor cantidad que los granos de menor densidad en la solución de nitrato de sodio, y con base a la Tabla 2.2 de acuerdo a la NMX-FF-034/2-SCF-2003, se determinó la dureza del grano.

**Tabla 2.2 Clasificación de dureza del grano de acuerdo al índice de flotación.**

Índice de flotación	Dureza
0-12	Muy duro
13-37	Duros
38-62	Intermedios
63-87	Suave
88-100	Muy suaves

Fuente: NMX-FF-034/2-SCF-2003

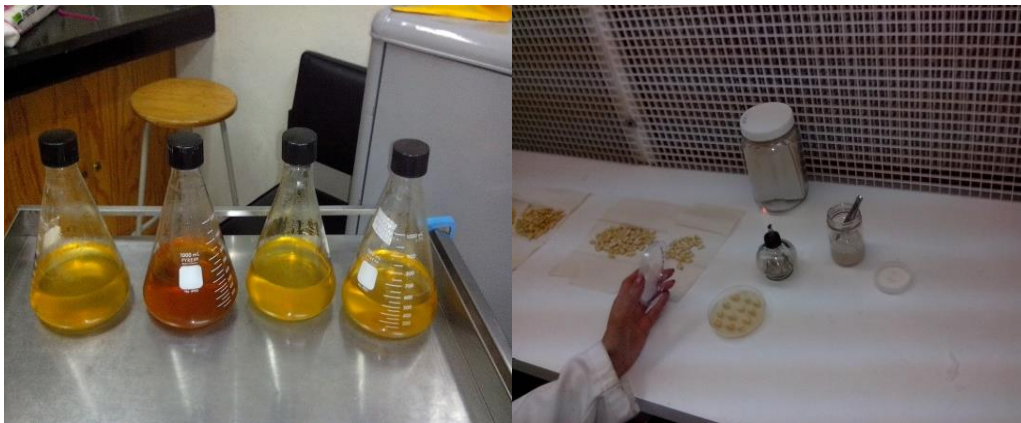
### 2.2.3. Microbiología del maíz

Para la caracterización de cada genotipo de maíz se realizó el análisis microbiológico mediante el método de recuento en placa agar para la identificación de bacterias mesófilas, mohos y levaduras.

#### **Determinación de Bacterias Mesófilas Aéreas en placa (NOM-092-SSA1-1994) y Mohos y Levaduras (NOM-111-SSA1-1994).**

Se realizó la determinación de bacterias mesófilas de acuerdo a la norma NOM-092-SSA1-1994. Consiste en un conteo de colonias que se desarrollan en el medio de elección después de un cierto tiempo y temperatura de incubación. El método admite numerosas fuentes de variación, algunas de ellas controlables, pero sujetas a varios factores que influyen.

Para la determinación de mohos y levaduras, el método de acuerdo a la norma NOM-111-SSA1-1994, se basa en inocular una cantidad conocida de muestra de prueba en un medio selectivo específico, acidificado a un pH 3,5 e incubado a una temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ , dando como resultado el crecimiento de colonias características para este tipo de microorganismos.



**Figura 2.4 Análisis microbiológico para determinación de Bacterias Mesófilas aéreas totales en placa y determinación de mohos y levaduras**

Para identificar el número de bacterias mesófilas, mohos y levaduras en el grano de maíz se sembraron 50 granos en dos medios de cultivo papa dextrosa agar (PDA) y extracto de malta y levadura agar (MEA), ambos adicionados con tergitol (heptadecilsulfato de sodio) que actúa

inhibiendo la flora secundaria indeseable. Los granos se sembraron bajo condiciones de asepsia en una campana de flujo laminar (VECO ®) y se introdujeron a 25°C en una incubadora (Precision scientific Inc.) por 5 días. Posteriormente se cuantificó el número de bacterias mesófilas y el número de colonias de hongos. El informe de la prueba para bacterias mesófilas se reporta como: Unidades formadoras de colonias (UFC/g o mL), de bacterias aerobias en placa en agar nutritivo o agar para cuenta estándar, incubadas 48 horas a 30 °C.

Y en el caso de mohos y levaduras se reporta como: Unidades formadoras de colonias por gramo o mililitro (UFC/g o mL) de mohos y levaduras en agar papa - dextrosa acidificado, incubadas a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 5 días.



**Figura 2.5 Cuantificación de número de colonias formadas después de la incubación.**

Para el análisis microbiológico todo material que tenga contacto con la muestra se esterilizo previamente mediante la autoclave.

#### **2.2.4. Proceso de nixtamalización**

En la Figura 2.6 se muestra el diagrama del proceso de nixtamalización para la obtención de masa y tortillas.

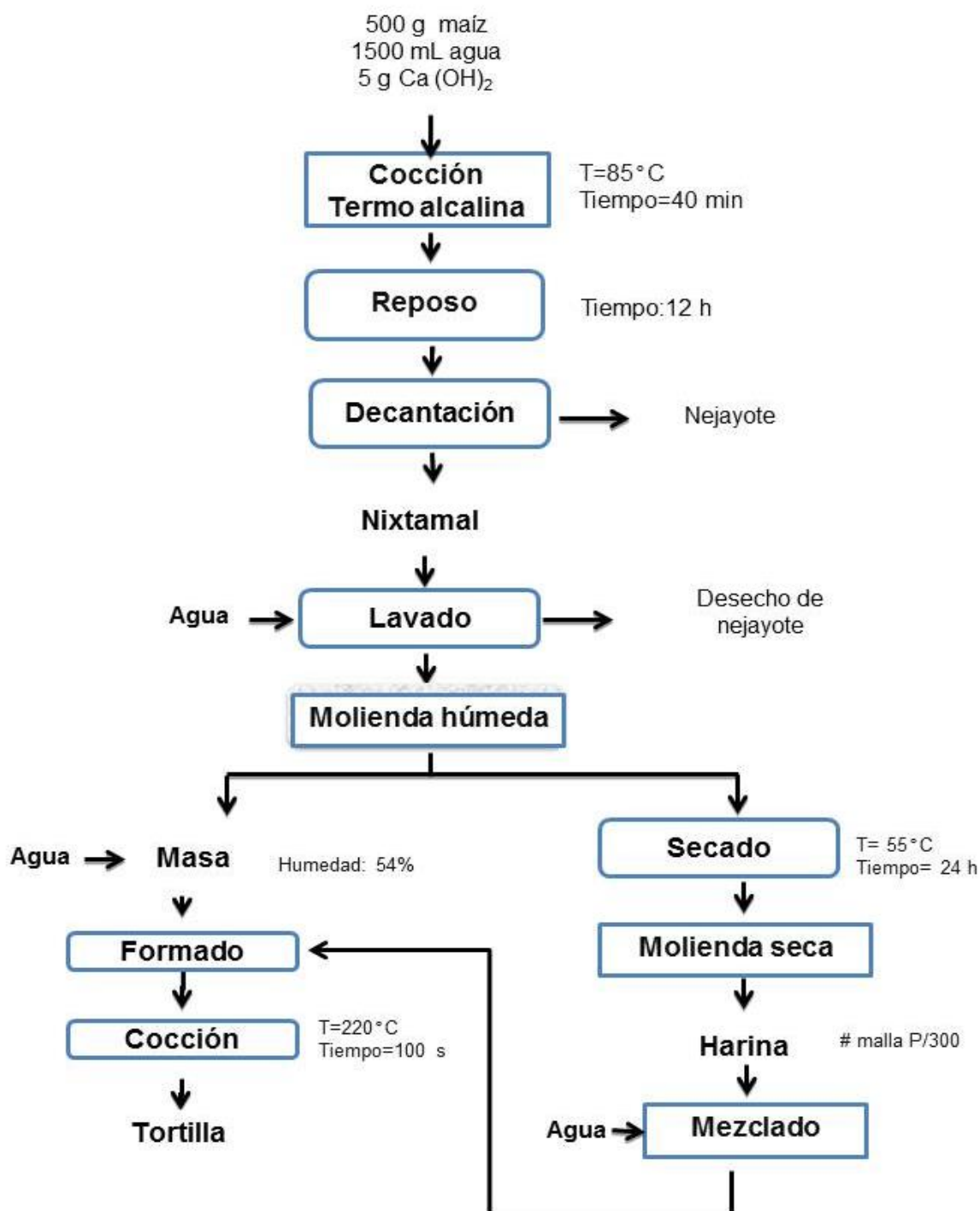


Figura 2.6 Diagrama del proceso de nixtamalización

Para la obtención del nixtamal se pesaron 500 g de maíz, se agregaron 1500 mL de agua con 1 % de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a un recipiente de acero inoxidable, se sometió a cocción el grano de maíz de cada uno de los genotipos de maíz a nixtamalizar: M55, CML-242, M-54, M54xM55, H-70,



y M55xM54 por un tiempo de 35, 40, 30, 35, 45, y 40 minutos respectivamente (tiempo determinado con respecto a la dureza del grano por medio del índice de flotación) a una temperatura de 85 °C. El nixtamal obtenido se dejó reposar por 12 horas, posteriormente el grano nixtamalizado se separó del nejayote, se lavó el nixtamal con 750 mL de agua para eliminar el exceso de pericarpio. Una vez que el pericarpio fue lavado se colocó en charolas y se sometió a un proceso de secado a una temperatura de 55 °C durante 24 horas; el nixtamal seco fue molido con ayuda de un molino de martillos Pulvez 200 en donde se colocó una malla de número 300 a la salida del molino. La harina de maíz nixtamalizado de los seis genotipos se envasó y almacenó a temperatura ambiente hasta su uso. Posteriormente, se hidrataron cada una de las harinas hasta alcanzar una humedad de 54% para obtener las masas, una vez obtenidas las masas se pesaron 20 g de las masas y se les dió forma con ayuda de una máquina manual de tortilla, finalmente se calentó una superficie de teflón a 220°C para cocer las tortillas, dejando calentar por 50 s cada lado hasta completar 100 s.

### 2.2.5. Reología de masas

- **Relación esfuerzo-deformación por compresión uniaxial**

Las pruebas para la relación esfuerzo-deformación por compresión uniaxial se realizaron por medio del Texturómetro SHIMADZU EZ-S formando con la masa un cilindro de 35 mm de diámetro y 30 mm de altura, a una velocidad de 1mm/s.



**Figura 2.7. Texturómetro SHIMADZU EZ-S**

La prueba se realizó por triplicado para obtener la curva de esfuerzo-deformación de cada uno de los genotipos. El equipo registra datos de fuerza respecto a la distancia de compresión, por

lo que el esfuerzo y deformación se obtuvieron a partir de las ecuaciones 2.2 y 2.3, respectivamente.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. (2.2)}$$

$$\gamma = \frac{\Delta L}{L} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Donde:

$\tau$ = Esfuerzo (Pa)

F= Fuerza (N)

A= Área del cilindro (m<sup>2</sup>)

$\Delta L$ = Distancia de compresión (m)

L= Altura del Cilindro (m)

De la curva esfuerzo-deformación se obtuvieron los datos de la zona AB (Figura 2.9), que corresponde a la deformación elástica para obtener la pendiente de la recta por regresión lineal, la cual corresponde al módulo de Young. Los datos de la región BC que corresponden al punto de cedencia o límite elástico en donde el esfuerzo en esta región siempre induce a una deformación permanente, los datos de la región C que se refiere al punto máximo de esfuerzo de cada masa y la región CD que es la región quebradiza en donde la masa mantiene una carga y decrece con el incremento de la deformación.

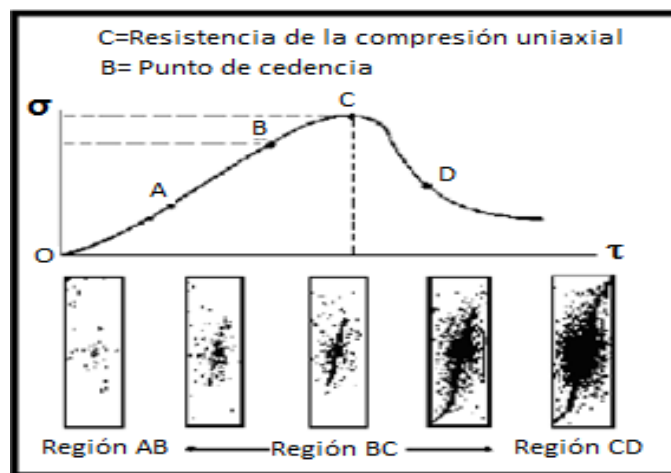


Figura 2.8. Relación esfuerzo-deformación.

Fuente: Tapia, Luis año 2009

- **Parámetros reológicos.**

Los parámetros reológicos de las masas fueron determinados por pruebas oscilatorias dinámicas de 0.1 Hz a 10 Hz de frecuencia en un equipo TA Instruments Rheometer, modelo RT 20 Haake (New Castle, USA) con placa paralela rugosa de 35 mm de diámetro con una separación entre platos de 1 mm. Cada muestra fue colocada entre las dos placas y se aplicó una capa fina de aceite a las caras expuestas del material para prevenir pérdida de humedad. La masa fue estabilizada por 15 minutos como lo propuso Magaña *et al.*, (2009).

Las pruebas de barrido de esfuerzo dinámico fueron realizadas para determinar la región de viscoelasticidad lineal (LVR) (0 a 80 Pa at 25°C), con la finalidad de que todas las pruebas oscilatorias se realizaran dentro de esta región. De tal forma que los parámetros obtenidos son el módulo de almacenamiento o elástico ( $G'$ ) y el módulo de pérdida o viscoso ( $G''$ ).



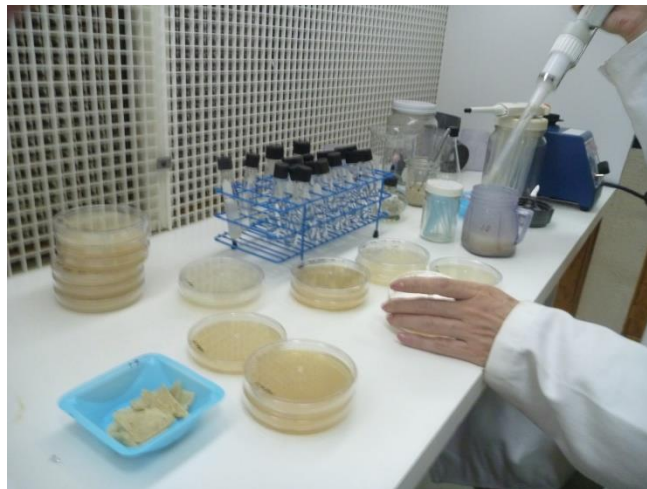
**Figura 2.9 Reómetro RT 20 Haake**

#### **2.2.6. Análisis químico proximal en las tortillas.**

A las tortillas elaboradas con cada uno de los genotipos de maíz, se realizó el análisis químico proximal; para la determinación de lípidos se realizó mediante el método de Soxhlet (AOAC, 1998), fibra cruda por Weendy (AOAC, 1998), proteínas por Microkjeldahl (AOAC, 1998) y determinación de cenizas por el método de Klemm (de acuerdo a la norma (NMX-F-066-S-1978).

### 2.2.7. Análisis microbiológico a las tortillas.

Los análisis microbiológicos se realizaron por el método de diluciones para la identificación de bacterias mesófilas, mohos y levaduras, el cual consiste en distribuir las cajas con el medio estéril en la mesa de trabajo. Marcar las bases de las cajas con los datos pertinentes antes de inocular. Se inocula por duplicado, 0.1 ml de la dilución correspondiente en cada caja, mediante pipeta estéril. Para distribuir de manera homogénea, extender el inóculo utilizando una varilla de vidrio estéril (en forma de escuadra o "L") haciendo movimientos giratorios de manera perpendicular al medio de cultivo, hasta lograr la completa incorporación del inóculo en el medio; cuidar que el inóculo se absorba antes de incubar (se recomienda un tiempo de espera aproximado de 10 minutos).



**Figura 2.10 Análisis microbiológico por dilución.**

El tiempo transcurrido desde el momento en que la muestra se incorpora al diluyente hasta que finalmente se inocula en el medio de cultivo a las cajas, no debe exceder de 20 minutos. Incluir una caja sin inóculo por cada lote de medio y diluyente preparado como testigo de esterilidad. Incubar las cajas en posición invertida durante un tiempo de 5 a 7 días a una temperatura de 25° C. Después de la incubación, se contaron todas las colonias desarrolladas en las placas seleccionadas (excepto las de mohos y levaduras; si se sospecha que es una colonia de este grupo de microorganismos, se recomienda confirmar por microscopía), incluyendo las colonias puntiformes.

### 2.2.8. Extensibilidad en las tortillas.

El punto de ruptura y extensibilidad de la tortilla fueron medidos con un texturómetro SHIMADZU (modelo EZ-S, Tokyo, Japón). La tortilla fue colocada entre dos placas de metal que tenía un orificio de 5 cm de diámetro. Un accesorio con una parte terminal de forma esférica de 6.25 mm fue pasada a través de éste orificio a una velocidad de 1mm/s. La esfera hizo contacto con la tortilla, la cual fue elongada hasta su ruptura. La ruptura es el punto máximo de ruptura. La distancia después de hacer contacto la tortilla con la parte terminal de forma esférica y antes de su ruptura es llamada elongación.

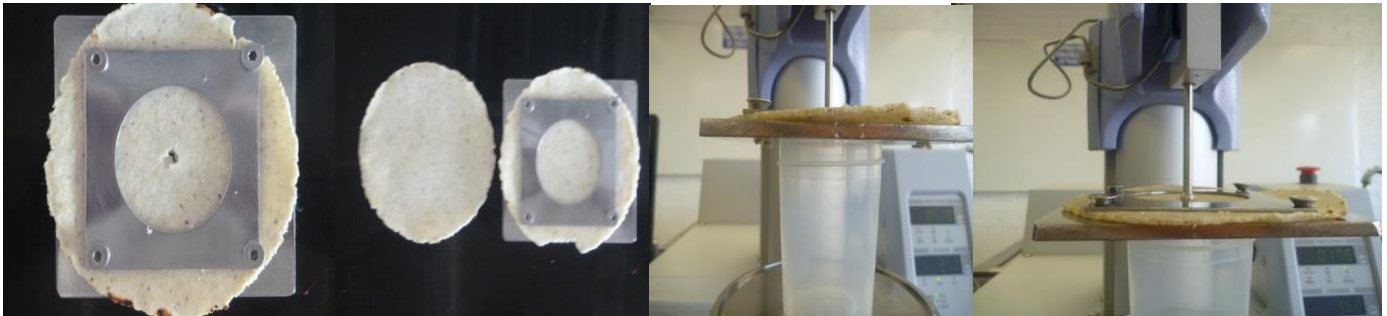


Figura 2.11 Pruebas de extensibilidad en la tortilla

### 2.2.9. Evaluación sensorial.

Se realizaron pruebas de evaluación sensorial hedónicas estructuradas de tortillas. La prueba se realizó con las tortillas obtenidas de los seis genotipos de maíz (M54xM55, M54, CML-242, M55, M55xM54, H-70). Se seleccionaron treinta jueces semi-entrenados, estudiantes de la carrera de Ingeniería en Alimentos, identificando género y edad; se procedió a dar una breve explicación de las muestras a evaluar y el número de código respectivo, indicando que las características a evaluar eran: color, olor, sabor, textura, espesor, resistencia a la ruptura, masticabilidad y atributos en general. En la tabla 2.3 se muestra la calificación con la que evaluaron el producto correspondiente a cada categoría. En la tabla 2.4 se muestran los códigos de las tortillas a evaluar y las características.

**Tabla 2.3 Calificación de acuerdo al grado de aceptación.**

<b>Puntaje</b>	<b>Categoría</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Categoría</b>
<b>1</b>	Me disgusta extremadamente	<b>6</b>	Me gusta levemente
<b>2</b>	Me disgusta mucho	<b>7</b>	Me gusta moderadamente
<b>3</b>	Me disgusta moderadamente	<b>8</b>	Me gusta mucho
<b>4</b>	Me disgusta levemente	<b>9</b>	Me gusta extremadamente
<b>5</b>	No me gusta ni me disgusta		

**Tabla 2.4 Código de muestras de los genotipos de maíz nixtamalizado.**

<b>Código</b>	<b>Genotipo</b>
<b>T1</b>	M54
<b>T2</b>	M55
<b>T3</b>	CML-242
<b>T4</b>	M54xM55
<b>T5</b>	M55xM54
<b>T6</b>	H-70

En la Tabla 2.4 se identifican los seis genotipos de maíz, en donde las características a evaluar fueron color olor, sabor, textura, espesor, resistencia a la ruptura, masticabilidad y atributos en general, de tal forma que se asignara una calificación de acuerdo al puntaje de preferencia de cada juez en base a la tabla 2.3. Los resultados de las pruebas se obtuvieron mediante los promedios de cada uno de los atributos y fueron graficados radialmente.

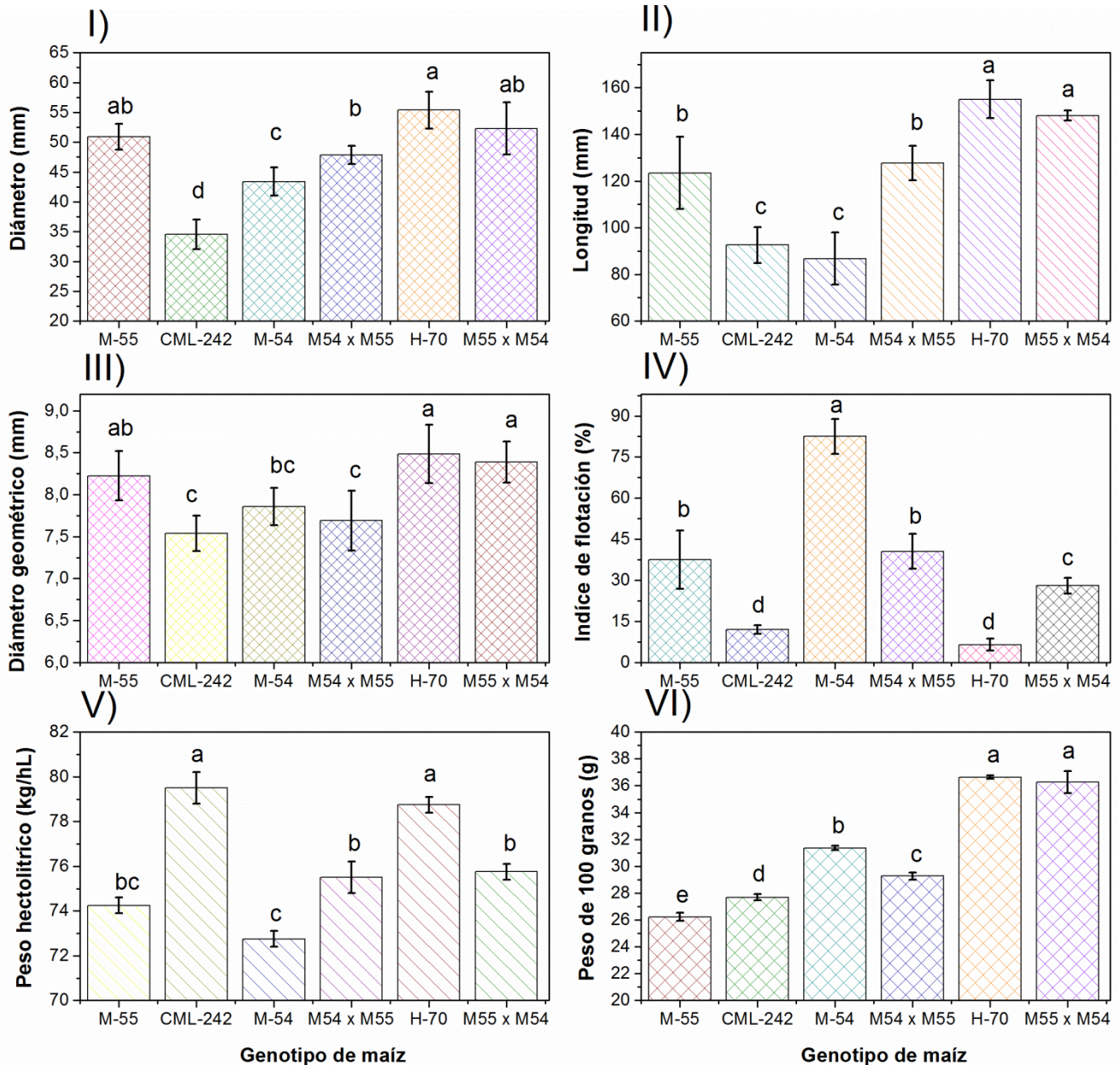
### **2.2.10. Análisis estadístico**

Los resultados de la caracterización del grano, análisis microbiológico, químicos, reológicos y de textura se analizaron estadísticamente mediante ANOVA con diferencia de medias empleando el software Minitab statistical software, versión 17 (Minitab Inc., State College PA, USA). Los resultados expresados con letra diferente en cada uno de los análisis indican diferencia significativa a diferencia de aquellas con la misma donde no hay diferencia significativa y de acuerdo al método de Tukey con un error de significancia ( $\alpha=0.05$ ).

# Capítulo 3. Resultados y análisis.

## 3.1. Caracterización del maíz

En la Gráfica 3.1 se muestran los resultados de los parámetros físicos de los seis genotipos de maíz.



Gráfica 3.1. Resultados de parámetros físicos de los genotipos de maíz I) Diámetro de mazorca II) Longitud de mazorca III) Diámetro geométrico de granos IV) Índice de flotación V) Peso hectolitrico y VI) Peso de 100 granos. Los resultados promedio con letra diferente presentan diferencia significativa y dos letras juntas no presentan significancia, según la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

Gráfica 3.1, I) Diámetro de la mazorca, se identifica que entre la mazorca M-55, M55xM54 y H-70 no hay diferencia significativa, ya que estos tres genotipos se encuentran entre los valores de 50 y 55 mm de diámetro, entre las mazorcas CML-242, M-54, M54xM55 si hay diferencia significativa dado que su rango de valores varía desde los 33 mm y 48 mm de diámetro aproximadamente.

Gráfica 3.1, II) Longitud de la mazorca, se identificó que entre los tamaños de las mazorcas H-70 y M55xM54 no hay diferencia ya que el maíz H-70 se obtuvo de la cruce de M55xM54 con CML-242, de igual forma no hay diferencia significativa para las variedades M-55 y M54XM55 ya que entre estas variedades son derivadas de la cruce entre las líneas progenitoras originales, con respecto a las variedades CML-242 y M-54 comparado con cruces (M54XM55, M55XM54) y el híbrido H-70, se encontró diferencia significativa ya que al obtener la cruce de las líneas de maíz cambian sus características de acuerdo al fenotipo, ubicación geográfica y cruces de los mismos.

Gráfica 3.1 III) Diámetro geométrico, se observa que comparando todas las variedades de maíz hay diferencia significativa ya que el diámetro geométrico se encuentra entre un intervalo de 7.5 a 8.2 mm, esto debido a que las características físicas de los granos de maíz dependen de la variedad (genotipo) y de las condiciones ambientales (humedad y temperatura) durante su desarrollo.

Con respecto al índice de flotación, Grafica 3.1 IV), se identificó que hay diferencia significativa entre los genotipos M54 CML-242, H-70 y M55xM54. Sin embargo, en los maíces con clave M-55 y M54xM55 no presentan diferencias significativas dado que sus valores se encuentran entre 35% y 38% de índice de flotación, característica que se atribuye a que el M54xM55 es una cruce de dos líneas de maíz puras (M-54 Y M55) concluyendo que estas son similares con respecto a su dureza la cual se determinó a partir del índice de flotación. Esto nos indica que estas variedades de maíz tienen una mayor dureza con respecto a los otros genotipos de acuerdo a la tabla de clasificación de índice de flotación por la NMX-FF-034/1-2002, y que a su vez la dureza igualmente depende del contenido de amilosa y amilopectina en el almidón del grano de maíz. El tamaño del grano es un criterio que no se



consigna en dicha norma, pero tiene influencia en la capacidad de hidratación del grano, ya que bajo una misma dureza se hidratan mejor los de grano pequeño que los de grano grande (Sánchez *et al.*, 2007) y en este caso los maíces M-55 y M54xM55 se reportaron valores entre 38 y 62 % de índice de flotación que de acuerdo a la NMX-FF-034/1-2002 se clasifican como granos de dureza intermedia.

Con respecto al peso hectolítrico, Gráfica 3.1 V), entre los maíces CML-242 y H-70 no hay diferencia significativa, de igual forma entre M54xM55 y M55xM5, estos se encuentran en un intervalo de valores de 75 a 79 kg/hl aproximadamente, esto indica que dado que el peso hectolítrico muestra que tan sano es el grano, estos maíces son aquellos que se encuentran sanos, esto para el desarrollo de la investigación fue de suma importancia en su determinación porque cuanto más sano sea el grano (menor cantidad de impurezas, granos dañados o quebrados, picados o con presencia de cualquier impureza), mayor será la proporción de almidón en el grano y mejor será la separación del endospermo del resto del grano. Por lo tanto, cuanto más sano mayor extracción de harina. Por consiguiente, el peso hectolítrico es una buena estimación tanto de la calidad física del grano como de la calidad molinera. De acuerdo a la NMX-FF-034/1-SCFI-2002 para el caso de maíz blanco en la elaboración de tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizados de calidad comercial, se considera que el grano deberá tener una densidad mínima (peso hectolítrico) de 74 kg/hL.

Finalmente en los resultados de peso de 100 granos, si observamos la Gráfica 3.1 VI), podemos identificar que hay diferencia significativa entre las variedades M-55, CML-242, M-54 y M54xM55 ya que el peso se encuentra en un intervalo de 26 a 31 g/ 100 granos de maíz, sin embargo, comparando las variedades H-70 y M55xM54 no se identificó diferencia significativa ya que se encuentran de 36.5 a 37 g/ 100 granos de maíz, lo cual indica que son granos de mayor tamaño, ya que se sabe que el peso de 100 granos es un indicador del tamaño y la densidad del grano, características importantes para los productores de harina porque los granos grandes contienen mayor proporción de endospermo que los granos pequeños, de modo que tienen mayor rendimiento de harina (Mauricio *et al.* 2004).

### 3.1.1 Humedad de los granos de maíz.

En la Tabla 3.1 se muestra el porcentaje de humedad de los seis genotipos de maíz.

Tabla 3.1 Porcentaje de humedad de los genotipos de maíz

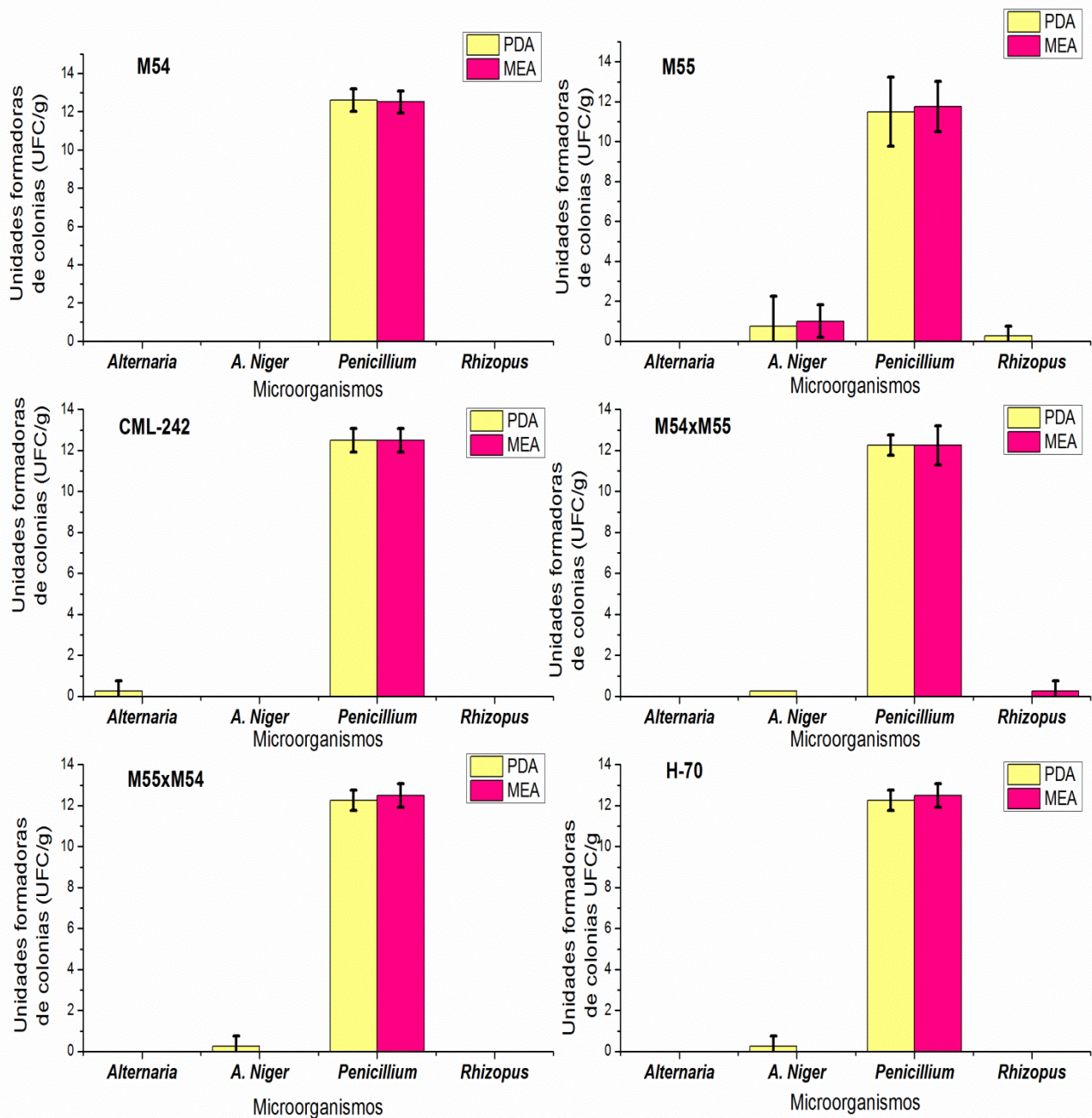
Maíz	% Humedad
M54	11.6 ± 0,049
M55	11.6 ± 0,014
CML-242	12.03 ± 0,049
M54xM55	11.6 ± 0,141
M55xM54	11.82 ± 0,148
H-70	12.64 ± 0,070

En la Tabla 3.1 se muestra que los maíces con mayor porcentaje de humedad son el de la clave H70 con una humedad del 12.64% y el maíz con la clave CML-242 con una humedad del 12% la cual nos indica que son en consideración, los maíces con mayor capacidad para su manejo conservación y almacenamiento, en algunos granos la humedad es uno de los factores principales que influyen en el rendimiento industrial y con humedades de 13 % a 14.5 % se logra el máximo volumen de expansión (Maier, 2000).

En conclusión, todos los granos cumplen con la norma, ya que, de acuerdo a está, se considera que el contenido de humedad que permite el buen manejo; conservación y almacenamiento del maíz, es del 14% (NMX-FF-034/1-SCFI-2002). Aunque los resultados de humedad estuvieron por debajo del porcentaje establecido en la norma, un contenido bajo de humedad es favorable para los maíces ya que hay menor riesgo de crecimiento de microorganismos.

### 3.2. Características microbiológicas del maíz

En la Figura 3.2 se muestran los resultados de las unidades formadoras de colonias en los microorganismos presentes en el maíz.



**Gráfica 3.2. Análisis microbiológico del maíz.**

Al obtener los resultados de unidades formadoras de colonias de bacterias mesófilas y para mohos y levaduras, en dos medios de cultivo, MEA y PDA, se puede observar en las gráficas de la Gráfica 3.2, que no hubo reporte de presencia de bacterias mesófilas en los granos de maíz, sin embargo, se encontró presencia de mohos desarrollándose con mayor frecuencia los géneros *Penicillium sp*, *Aspergillus niger*, *Rhizopus* y *Alternaria*.

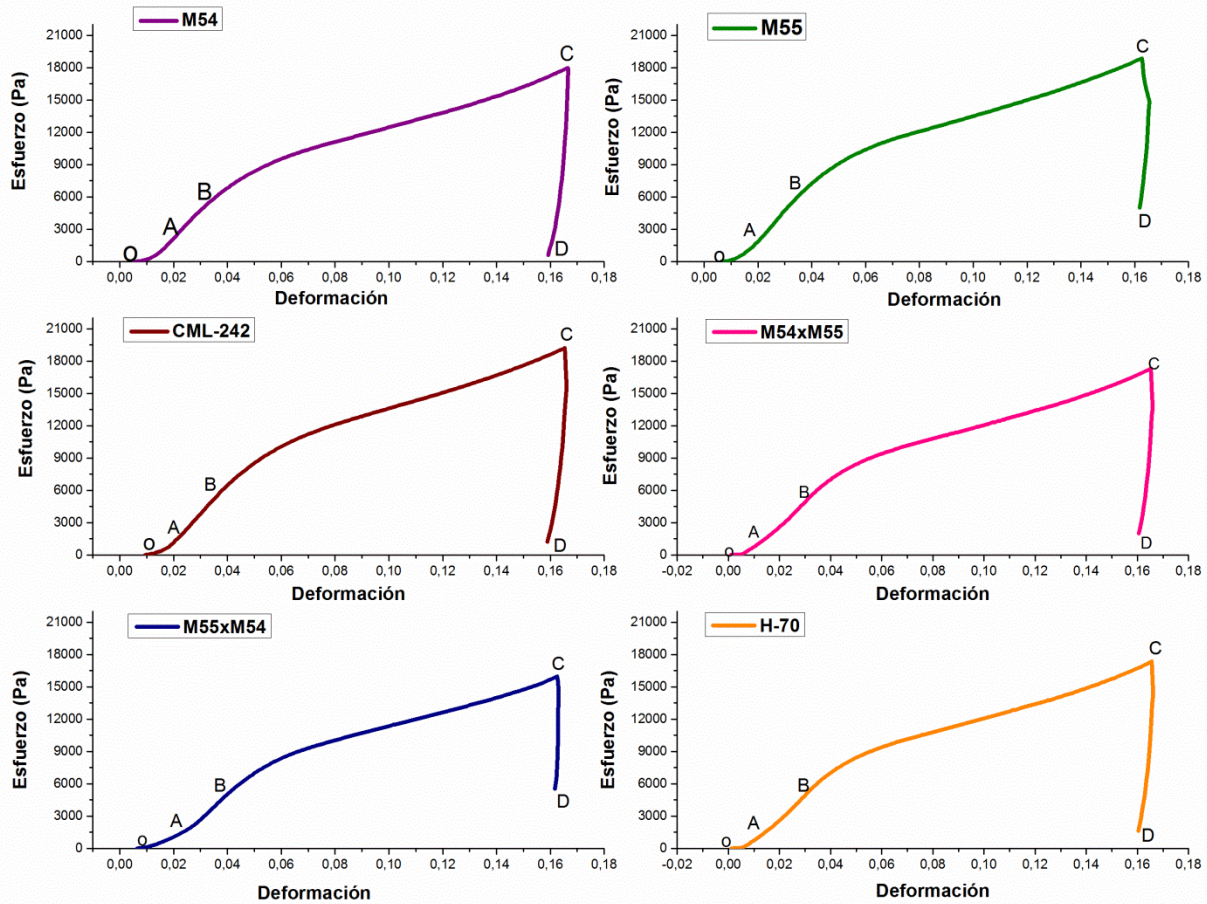
El moho *Penicillium*, tanto en el medio MEA como en el PDA fue muy elevado en todos los genotipos de maíz y esto es debido a que esta bacteria tiene un desarrollo fácil a 20 °C y humedad relativa alta. Este hongo *Penicillium* puede desarrollarse fácilmente en cuanto entra en contacto con los líquidos liberados por las heridas de la corteza del grano además de que el *Penicillium* produce podredumbres de espiga que se caracterizan por una proliferación de micelio sobre los granos o entre ellos. Generalmente aparece en la punta de la espiga y hace que esta adquiera un aspecto pulverulento de color verdoso o verde azulado (Presello y Botta, 2002). El desarrollo del moho *Aspergillus Niger* en el grano de maíz M55 fue mayor el desarrollo en el medio de cultivo MEA con 0.9 UFC/g a 1 UFC/g que en el medio PDA con 0.8 UFC/g a 0.9 UFC/g. En los maíces M55xM54, M54xM55 y H-70 también se desarrolló el hongo pero solo en el medio de cultivo PDA con valores muy bajos de 0.2 UFC/g a 0.4 UFC/g. El crecimiento de ese microorganismo en los maíces es debido a que este hongo ataca y daña el grano cuando su humedad es alta, por encima de 18% (Smith y White, 1988). Estos hongos son un problema cuando el maíz se cosecha mecánicamente y está húmedo y no es correctamente secado antes de transportarlo o almacenarlo.

*Rhizopus*, es uno de los mohos más comunes que se desarrollan en cualquier tipo de leguminosas frutos u hortalizas, en los resultados obtenidos tanto en el medio de cultivo MEA y PDA este hongo solo se presentó en el maíz M54xM55 con valores de 0.4 UFC/g A 0.6 UFC/g, en tanto al maíz M55, este moho también se desarrolló en colonias relativamente bajas para el medio de cultivo PDA de 0.5 UFC/g a 0.6 UFC/g, en el medio de cultivo MEA para este maíz fue nulo. Para los maíces M54, CML-242, M55xM54 y H-70 el hongo no se desarrolló en ninguno de los dos medios. El desarrollo de este moho en los maíces, se debe principalmente a la cantidad de humedad presente en el grano ya que este se desarrolla en los granos que contengan un alto porcentaje (Presello y Botta, 2002). Por último el moho *Alternaria* solo se desarrolló en el medio de cultivo PDA en el maíz CML-242 y el crecimiento fue muy bajo de 0 a 2 UFC/g y esto se debe a que este hongo solamente se desarrolla en condiciones de humedades relativas altas, épocas de rocíos y alternancias de sol y lluvia. En general el crecimiento de microorganismos en los diferentes genotipos de maíz dependen de las condiciones de almacenamiento, tales como el contenido de humedad, temperatura y tiempo de almacenamiento, ya que son factores críticos en el control de microorganismos

### 3.3. Reología de masas

#### 3.3.1. Relación esfuerzo-deformación por compresión uniaxial

En la Gráfica 3.3. Se observan el comportamiento de cada una de las masas con relación al esfuerzo-deformación por compresión uniaxial.



Gráfica 3.3. Relación esfuerzo-deformación por compresión uniaxial

Los datos obtenidos se analizaron para obtener la curva de esfuerzo-deformación, de la cual se identificara la región elástica y el punto máximo de esfuerzo para cada una de las masas

**Tabla 3.2 Datos de las regiones para la curva esfuerzo-deformación**

<b>Maíz</b>	<b>Esfuerzo de región AB (Pa)</b>	<b>Esfuerzo de región CD (Pa)</b>
<b>M-54</b>	6.20x10 <sup>2</sup> a 9.05x10 <sup>3</sup>	1.79x10 <sup>4</sup> a 1.25 x10 <sup>3</sup>
<b>M-55</b>	7.67 x10 <sup>2</sup> a 9.27 x10 <sup>3</sup>	1.91 x10 <sup>4</sup> a 1.37 x10 <sup>3</sup>
<b>CML-242</b>	5.98 x10 <sup>2</sup> a 9.61 x10 <sup>3</sup>	1.93 x10 <sup>4</sup> a 1.05 x10 <sup>3</sup>
<b>M54 x M55</b>	7.33 x10 <sup>2</sup> a 7.82 x10 <sup>3</sup>	1.74 x10 <sup>4</sup> a 1.24 x10 <sup>3</sup>
<b>M55 x M54</b>	6.51 x10 <sup>2</sup> a 7.94 x10 <sup>3</sup>	1.65 x10 <sup>4</sup> a 1.10 x10 <sup>3</sup>
<b>H-70</b>	5 x10 <sup>2</sup> a 6.17 x10 <sup>3</sup>	1.74 x10 <sup>4</sup> a 1.28 x10 <sup>3</sup>

En la Tabla 3.2 se muestran los datos obtenidos de las regiones de A a B, la cual indica el punto de cedencia o límite elástico y de la región C a D que es definida como la región quebradiza en donde la habilidad de la masa de mantener una carga decrece con el incremento de la deformación. Como resultado de una prueba uniaxial como se puede observar en la Figura 3.3, todas las masas presentan la resistencia a la compresión uniaxial que es el punto máximo de esfuerzo, lo cual quiere decir que las masas tenían una textura y composición fina, y debido a que no se presentó alguna deformación significativa que pudiera provocar grietas o abultamientos al momento de aplicar el esfuerzo con un cilindro sobre la masa, todas las masas como se observa en las gráficas de la Figura 3.3 muestran la región C, la cual nos indica que hay resistencia a la compresión uniaxial y es el máximo esfuerzo que la masa puede soportar sin que esta sufra una fractura (Tapia, 2009).

En la Tabla 3.2 se muestra la tendencia de los datos obtenidos de la prueba de compresión uniaxial en donde se identifica que las masas de maíz nixtamalizado responde a la aplicación de un primer esfuerzo, en la región AB se identifica una deformación elástica que puede ser

reversible, posteriormente se inicia una deformación plástica la cual es irreversible identificada en el punto BC, finalmente se identifica la región C que es definida como la región quebradiza en donde la masa llega al límite máximo de elasticidad generando una deformación hasta su deformación permanente que corresponde al punto CD. Como resultado de una prueba uniaxial como se puede observar en la Gráfica 3.3, todas las masas presentan la resistencia a la compresión uniaxial que es el punto máximo de esfuerzo, lo cual quiere decir que las masas tenían una textura y composición fina, y debido a que no se presentó alguna deformación significativa que pudiera provocar grietas o abultamientos al momento de aplicar el esfuerzo con un cilindro sobre la masa; todas las masas, muestran la región C, la cual nos indica que hay resistencia a la compresión uniaxial y es el máximo esfuerzo que la masa puede soportar sin que esta sufra una fractura (Tapia, 2009).

En la Tabla 3.3 se muestran los datos obtenidos para el módulo de Young y el esfuerzo máximo de cada una de las masas.

**Tabla 3.3. Valores del módulo de Young y esfuerzo máximo**

<b>Maíz</b>	<b>Módulo de Young (Pa)</b>	<b>Esfuerzo máximo (Pa)</b>
<b>M54</b>	$27.98 \times 10^5$	$17.88 \times 10^4$
<b>M55</b>	$27.01 \times 10^5$	$19.12 \times 10^4$
<b>CML-242</b>	$28.03 \times 10^5$	$19.36 \times 10^4$
<b>M54xM55</b>	$16.022 \times 10^4$	$17.49 \times 10^4$
<b>M55xM54</b>	$22.65 \times 10^4$	$16.57 \times 10^4$
<b>H-70</b>	$19.57 \times 10^4$	$17.66 \times 10^4$

Tanto el módulo de Young como el límite elástico, son naturalmente peculiares para los distintos materiales. No todos los materiales llegan al límite o esfuerzo máximo como lo indica la ley de Hooke, pero en este caso, al obtener los datos del módulo de Young y esfuerzo máximo, se puede observar que todas las masas alcanzan su punto máximo con respecto al esfuerzo. De acuerdo con la tabla 3.3 y el análisis estadístico de los resultados se identificó

que no hay diferencia significativa entre las variedades M54, M55 Y CML-2242, sin embargo, se identificó una diferencia estadísticamente significativa con respecto al esfuerzo máximo aplicado en todas las masas. Todas las masas tuvieron un comportamiento uniaxial en la cual alcanzaron el esfuerzo máximo representado en la Gráfica 3.3 como la región C.

Las masas que se evaluaron tuvieron un intervalo de valores al módulo de Young entre  $16.022 \times 10^4$  Pa y  $28.03 \times 10^5$  Pa, valores que nos muestran diferencias entre los diferentes tipos de masas. No hay evidencias de datos de módulos de Young de estos genotipos de maíz por lo que la aportación que se da en esta investigación da una muestra de los cambios reológicos que las masas pueden tener. Roy y Peleg (1989) determinaron el módulo de Young de diferentes productos alimenticios (geles de agar, manzana, queso Cheddar, pera, zanahorias y papas) de muestras tomadas en forma cilíndrica y semicilíndrica utilizando una prueba de compresión uniaxial en las que presentan las curvas de esfuerzo-deformación en las que el coeficiente se relaciona con la “dureza” del material mientras el exponente se afecta tanto por la geometría como por las características estructurales del material. El módulo de Young, es una de las medidas fundamentales dentro de las propiedades reológicas de los alimentos, y se pueden relacionar a través de algunas expresiones matemáticas (De Hombre y Castro, 2007).

Los valores del módulo de Young para algunos alimentos de acuerdo a Lewis, 1993 se presentan en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4. Valores del módulo en diferentes alimentos**

<b>Alimento</b>	<b>Módulo de Young (MPa)</b>
Zanahoria	$(2-4) \times 10^7$
Peras	$(1.2-3) \times 10^7$
Patatas	$(0.6-1.4) \times 10^7$
Manzanas	$(0.6-1.4) \times 10^7$
Melocotón	$(0.2-2) \times 10^7$
Plátanos	$(0.08-0.3) \times 10^7$

Fuente Lewis, 1993



Castro *et al.*, (1997) presentan un estudio para pasas deshidratadas osmóticamente y secado con aire caliente de las curvas de esfuerzo-deformación. Estos autores determinaron el módulo de Young del producto utilizando una prueba de compresión uniaxial montada en una máquina Lloyd y reportan que el resultado de este parámetro fue de  $1 \times 10^9$  MPa.

Somers (1965) reporta que pequeños cambios en la humedad de tejidos de cualquier alimento o material está asociado con cambios profundos en el módulo elástico, esto quiere decir que cuanto menor sea el módulo de Young, mayor será la deformación elástica del material ya que está relacionado con la estructura de cada material porque en muchos materiales pueden cambiar su estructura o composición. Estos cambios y los debidos al esfuerzo modifican los valores de los módulos respectivos (Soria, 2005).

Existen algunos otros estudios realizados sobre el módulo de elasticidad o módulo de Young para materiales dúctiles (cuarzo, acero inoxidable, cobre, aluminio, madera, rocas, etc.) en los que sus valores del módulo de elasticidad varían entre  $11 \times 10^9$  GPa y  $310 \times 10^9$  GPa.

El módulo elástico es solo aplicable a pequeñas deformaciones elásticas y depende de las condiciones de la prueba, especialmente de las dimensiones de la muestra así como de la velocidad de deformación (Peleg, 1977). No obstante, si estos efectos dentro de ciertas condiciones experimentales son secundarios en magnitud, tal módulo puede ser un parámetro útil y práctico en la caracterización mecánica de alimentos.

En conclusión todas las masas tienen la capacidad de deformarse, ya que estas están compuestas por una red de moléculas de almidón solubilizadas y gránulos de almidón dispersos, parcialmente gelatinizados, en una fase continua de agua libre, que sostiene los gránulos de almidón no gelatinizados, las piezas de endospermo y los lípidos (Saldivar y Gomez, 2001). La masa es un material viscoelástico muy sensible a la deformación. Cuando la masa se somete a fuerzas externas, los entrecruzamientos físicos y los puentes químicos débiles que sostienen los constituyentes de la masa se pueden romper y reorganizar, permitiendo su relajamiento, parcial o completo (Masi y Cavella, 1988).

A pesar de que el almidón constituye gran parte del volumen de la masa, se han realizado pocos estudios describiendo su contribución en las propiedades reológicas de la masa. La

capacidad de retención de agua del almidón tiene mayor efecto sobre las propiedades de tensión de la masa que el tamaño de partícula del gránulo de almidón (Edwards *et al.* 2002). Ensayos han determinado que el comportamiento elástico de la masa se ubica en un 2% de su deformación, por consiguiente Hibberd (1970), concluyó que el almidón influye en el comportamiento viscoso del material, por lo tanto, mientras más altos sean los valores del módulo de Young menor será la deformación elástica del material y mientras más bajos sean los valores del módulo mayor será la deformación, y mucho más fácil de doblar bajo carga (Kong *et al.*, 2001).

En la Tabla 3.3, se identificó que los valores más bajos para el módulo de Young, corresponde a las masas elaboradas con los genotipos M54xM55, M55xM54 y H-70, sin embargo, los valores más altos para el módulo de Young fueron las masas elaboradas con los genotipos CML-242, M54 y M55, pero relacionados con el esfuerzo máximo de cada una de las masas se obtuvo que las masas H-70 y M54xM55 que corresponden a valores bajos del módulo y M54 que corresponde a un valor alto requirieron de un esfuerzo de  $17.66 \times 10^4$  a  $17.88 \times 10^4$  Pa. Esto puede suponer que la dureza de las masas inicialmente como materia prima (grano) interfieren en el comportamiento elástico del grano como masa, pero en este caso se puede observar que no importando que los granos sean de dureza alta como lo es H-70 y M55xM54 se obtuvo que tienen menor elasticidad, de tal forma que la dureza del grano no afecta directamente las características de elasticidad ya que los genotipos M55 y M54xM55 presentaron diferencia entre el módulo de Young,  $27.07 \times 10^5$  y  $16.02 \times 10^5$  Pa, respectivamente. Por lo que no necesariamente se ve influenciada la elasticidad de la masa con la dureza del grano sino que esto se le atribuye a la estructura interna y composición del almidón de cada genotipo de maíz, ya que el almidón influye directamente sobre las características reológicas y texturales de productos a base de maíz nixtamalizado. Las propiedades específicas del almidón en cada genotipo, afectan características como textura, volumen, consistencia, humedad y la vida de anaquel de los alimentos (Raeker *et al.*, 1998). Entender cómo controlar o seleccionar las propiedades del almidón para cada proceso o producto, ha sido objeto de varias investigaciones (Li *et al.*, 2003; Raeker *et al.*, 1998; Seetharaman *et al.*, 2001; Peng *et al.*, 1999; Jane *et al.*, 1999).

El contenido de almidón en los genotipos evaluados para esta investigación es desconocido, ya que no existe información sobre ellos en cuanto a su contenido, lo cual da hincapié a que la investigación se utilice para el desarrollo de nuevos en donde se pueda evaluar el contenido de almidón en los genotipos y se pueda hacer una comparación profunda, ya que no existe información suficiente de los genotipos utilizados en la investigación, pero se sabe que se utilizaron tres líneas endogámicas dos cruzas y la generación de un híbrido, por lo tanto un híbrido hereda el contenido nutrimental de sus líneas progenitoras y en ocasiones el doble de su contenido, por tanto la viscoelasticidad del almidón exhibe una respuesta reológica que refleja características tanto de sólido como de líquido. Se caracterizan por la presencia de una red tridimensional incompleta que se destruye por aplicación de un esfuerzo y solo se recupera parcialmente cuando el esfuerzo es removido. Mientras más completa y resistente a la ruptura es la estructura, más pronunciada es su elasticidad, y mientras más fácil se rompa su estructura, mayor es su comportamiento viscoso.

Sin importar el esfuerzo aplicado en las masas, estas se deforman hasta que se logre la forma requerida o deseada para su aplicación en la industria alimentaria a diferencia de otros materiales como se mencionó anteriormente, algunos alimentos u otros materiales tienen valores muy altos del módulo y no pueden deformarse tal como lo hacen las masas, ya que su estructura es mucho más rígida.

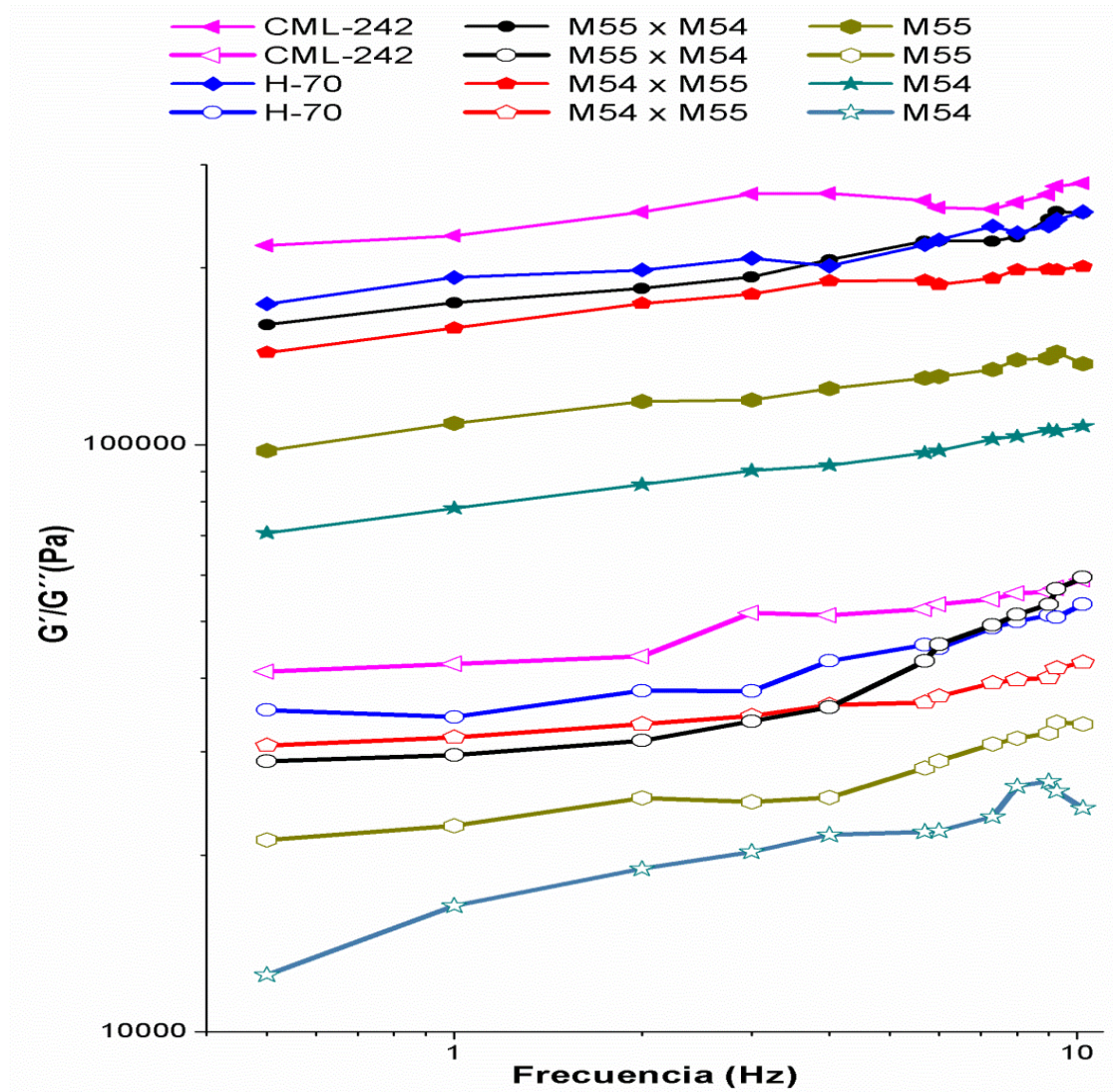
Los resultados obtenidos del módulo de Young y esfuerzo máximo en las masas de los seis genotipos de maíz en esta investigación son relevantes, ya que no se han encontrado estudios o investigaciones acerca del comportamiento en relación a la aplicación de un esfuerzo y la deformación del material. Con respecto al esfuerzo máximo aplicado se encontró que las masas menos viscoelásticas ya que el esfuerzo máximo decrece al obtener genotipos de maíz a partir de cruzas entre variedades de maíz, siendo más fácil la deformación ante la aplicación de esfuerzos menores.

### **3.3.2. Parámetros reológicos.**

En la Gráfica 3.4 se muestra el barrido de frecuencia de cada una de las seis diferentes masas en las cuales sus propiedades viscoelásticas, módulo elástico  $G'$  y módulo viscoso  $G''$  pueden observarse dependientes de la frecuencia ya que cuando aumenta la frecuencia,

ambos parámetros aumentan. Para todas las masas y a cualquier frecuencia, se observa que el modulo elástico  $G'$  fue siempre mayor que el módulo viscoso  $G''$ . Un comportamiento similar fue reportado por Méndez-Montalvo *et al.*, (2006), Mondragón *et al.*, (2006) y Valderrama-Bravo *et al.*, (2015).

De acuerdo con la literatura, este comportamiento es característico de los geles de almidón presentes en las masas de maíz.



Gráfica 3.4 Barrido de frecuencia de las masas de los maíces genotipos.

Los valores más altos de  $G'$  y  $G''$  se observan en las masas CML-242 y H-70, mientras que los más bajos se encuentran en la masa M-54. Estos resultados indican que el comportamiento

elástico de la masa de maíz CML-242 es mayor que el de los otros genotipos, esto, posiblemente es debido a la variación de contenido de almidón en las masas o sus componentes químicos como la proteína, lípidos y la fibra, además de estos componentes, también interfiere en su capacidad de cada una de las masas para absorber el agua.

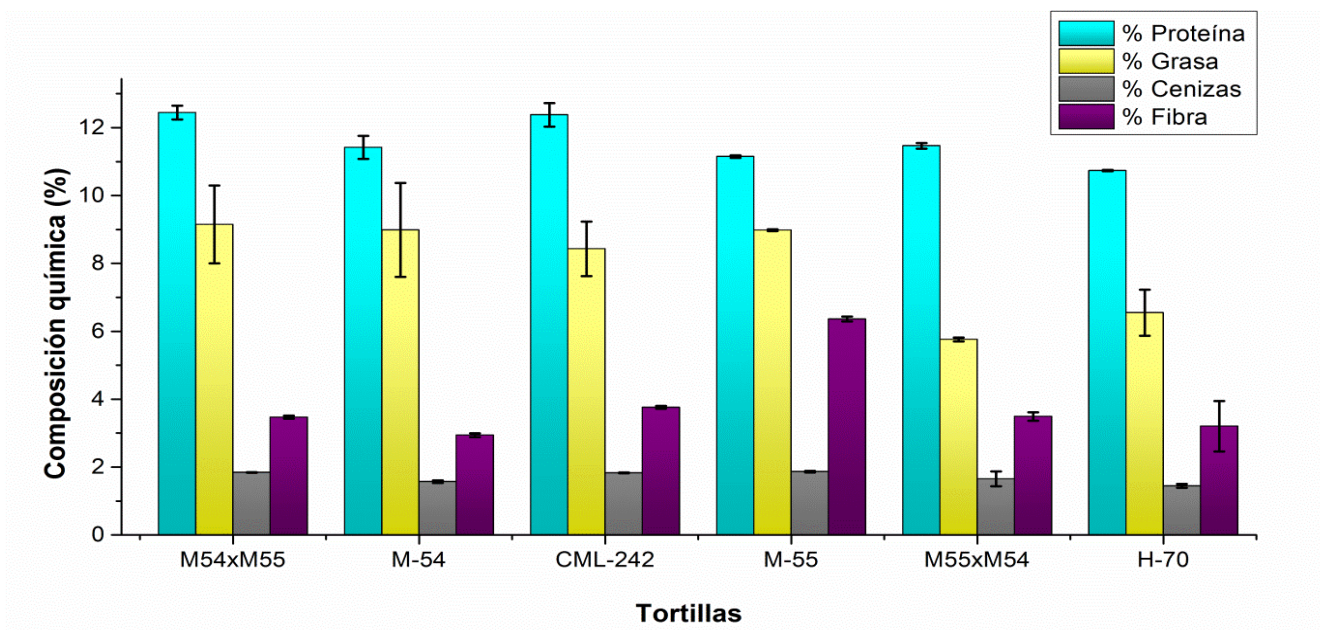
En la Gráfica 3.4, se observan los módulos viscoelásticos, en donde  $G'$  que se refiere al módulo de almacenamiento o elástico, siempre fue mayor en todas las masas que  $G''$  módulo de pérdida o viscoso, esto significa que en las masas es predominante el módulo elástico, lo cual, de acuerdo a Campos *et al.*, 1997 indican que cuando un valor alto del módulo de almacenamiento ( $G'$ ) es predominante en las masas es debido a una fuerza mayor de amasado en la masa y a la composición de almidón (de acuerdo al porcentaje de amilosa y amilopectina) presente en los granos (Hayta y Schofield, 2005; Van Bockstaele *et al.*, 2008), lo cual puede utilizarse para diferenciar la viscoelasticidad de masas (Lee y Mulvaney, 2003).

Al aumentar el valor de la frecuencia (1 Hz a 10 Hz), también incrementan los valores de  $G'$  y  $G''$ , para todas las variedades, coincidiendo con otros trabajos (Campos *et al.*, 1997; Hibber y Wallace, 1966; Ramkumar y Bhattacharya, 1996; Rao, 1999). El incremento de los módulos de almacenamiento y el módulo de pérdida, con respecto a la frecuencia en las masas, indica que los componentes como el almidón, fibra, lípidos, proteínas y la interacción que hay entre el hidróxido de calcio al nixtamalizar presenta cierta fuerza ante la deformación a la que está siendo sujeto. A una frecuencia de 10 Hz se obtuvieron mayores diferencias entre variedades en los valores de  $G''$  que en los valores de  $G'$ . Los valores de  $G''$  (módulo viscoso) en las masas H-70, M55xM54 y M54xM55, como se observa en la gráfica 3.4, presentan mayor diferencia entre ellas y su comportamiento es muy diferente a las mismas que en la parte del módulo elástico  $G'$ . Por lo que se concluye que las propiedades viscoelásticas tienen dependencia con la frecuencia, ya que al aumentar esta aumentaron  $G'$  y  $G''$ , de tal forma que en cualquier intervalo de frecuencia para cualquier genotipo de maíz  $G' > G''$ . Aun cuando los genotipos evaluados, pertenecen a tres líneas endogámicas, dos cruza y un híbrido como resultado, se lograron encontrar diferencias entre sus propiedades visco elásticas. El método dinámico se puede considerar como una herramienta reológica capaz de diferenciar masas de cualquier semilla. Es importante mencionar que actualmente no se cuenta con estudios suficientes que caractericen a la masa de maíz de diferentes

genotipos, por lo que con este trabajo se genera información nueva que servirá para comparar con otras variedades y finalmente poder correlacionarlo con la calidad de un producto final específico.

### 3.4. Análisis químico proximal en las tortillas.

En la Gráfica 3.5 se muestra el análisis químico proximal para cada uno de los genotipos de maíz en tortilla



Gráfica 3.5. Análisis químico de las tortillas de 6 genotipos

Tabla 3.5. Contenido de carbohidratos de la tortilla

Tortilla	Carbohidratos (%)
M54	75,10 ± 0,15
M55	71,66 ± 0,60
CML-242	73,61 ± 0,29
M54xM55	73,11 ± 0,69
M55xM54	77,64 ± 0,54
H-70	78,09 ± 0,07

Los resultados en la Gráfica 3.5, mostraron que el porcentaje de proteína fue mayor en las tortillas M54xM55 (12%) y la tortilla CML-242 (12%), a partir de éstas los siguientes cuatro genotipos no tienen diferencia significativa entre ellas. De acuerdo a los valores bibliográficos reportados por Morales (1991), los valores de proteína obtenidos en la investigación excedieron el porcentaje bibliográfico, ya que, debe ser entre 5.42 -7.14 %, y los valores obtenidos fueron del 10% al 12.5%, lo cual quiere decir que las tortillas hechas a bases de diferentes genotipos pueden aportar más nutrientes para el consumidor, la tortilla aporta 38.8 % proteínas, 45.2 % calorías y 49.1 % calcio de la dieta diaria de una persona (Ortega, 2005).

Con respecto al contenido de grasas el genotipo con menor contenido de grasa fue la tortilla elaborada con el genotipo M55xM54 con un porcentaje de 5.9 % de grasa y posteriormente la tortilla H-70 con 6.4 %, comparando estos datos con los bibliográficos, son elevados ya que bibliográficamente debería de ser entre 1.85 % y 5.25 %; Pflugfelder *et al.* (1988b) indicaron que el alto contenido de grasas podía deberse parcialmente a la enérgica manipulación del maíz cocido durante la producción de éstas. Del 25 % al 50 % de los lípidos de la masa eran libres y parcialmente emulsionados. Según Bedolla *et al.* (1983), los valores de extracto etéreo ascendían a 5.0, 3.1 y 3.6 % en el maíz crudo, el maíz cocido y las tortillas, el aumento o disminución del contenido de grasas puede deberse a la pérdida de la cubierta seminal, la capa de aleurona y, posiblemente parte del germen; asimismo, a las sustancias solubles en éter, que no son necesariamente grasas. Aunque durante el proceso de transformación del maíz en tortillas se pierden sustancias extraíbles con éter, la distribución de los ácidos grasos no cambia en el maíz común. Se han hallado diferencias relativamente mayores entre diversas muestras de maíz, sin tratar o elaboradas, que entre el maíz crudo y las tortillas, lo que indica que el método de cocción en agua de cal no modifica la distribución de ácidos grasos.

El porcentaje de cenizas que se obtuvo en la investigación para todos los genotipos fue entre 1- 2%, no hubo diferencia significativa entre uno y otro, comparados con los valores bibliográficos de ceniza que son entre 0.857% y 4%, el porcentaje de ceniza obtenido en la investigación es similar. La mayoría de los estudios realizados indican que hay un aumento del contenido total de cenizas en la transformación del maíz en tortillas por la cal que se utiliza para la cocción, además de que también hay aumento importante del contenido de calcio.

Según Pflugfelder *et al.* (1988), en el aumento de contenido de cenizas y calcio de la masa influyen los niveles de cal, las temperaturas de cocción y las características del maíz. Los cambios del contenido de otros minerales varían y dependen posiblemente de la pureza de la cal empleada y del tipo de aparato de molienda utilizado. En un estudio (Bressani *et al.*, 1989; Bressani *et al.*, 1990), el contenido de minerales pasó del 8 al 35 % del maíz a la tortilla, también aumentaron los valores del contenido de hierro, aunque posiblemente se debía a la contaminación. Asimismo, aumentó el contenido de fósforo entre el maíz y la tortilla, según diversas investigaciones para los estudios de nutrición es el hecho de que la proporción entre el calcio y el fósforo, que es de 1:20 aproximadamente en el maíz, pasa a ser casi 1:1 en la tortilla.

El porcentaje de fibra fue mayor en la tortilla M-55, a diferencia de los demás genotipos de tortilla, con un porcentaje de 6.3 %. Ya que durante el proceso de nixtamalización solo se utilizó una concentración de hidróxido de calcio, el contenido de fibra y cenizas no se vió significativamente afectado ya que la variación en la concentración de  $\text{CaOH}_2$  influye directamente sobre la cantidad de solidos solubilizados (pericarpio, rico en fibra y minerales) en el nejayote, sin embargo con respecto al contenido de grasa y proteínas se observó una diferencia significativa entre los genotipos y esto puede ser atribuido a que durante el proceso de nixtamalización el grano de maíz de los genotipos y el cocimiento de la tortilla, se llevan a cabo reacciones químicas que afectan directamente en el contenido de proteínas y lípidos. Según Putseys *et al.*, (2010), menciona que durante el cocimiento de la tortilla los complejos amilosa-lípido de tipo I pueden formarse a temperaturas menores de 60 °C; mientras tanto, los complejos de tipo II se obtienen por calentamiento de la mezcla de proteínas y lípidos a altas temperaturas (> 90 °C), temperatura durante la cocción, de tal forma que es posible que los complejos V-amilosa-lípidos también se formen durante esta etapa, ya que el contenido de fibra cruda conforme a la metodología de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC) disminuye cuando se transforma el grano en tortillas, es por esto que las tortillas de maíz se consideran fuente de fibra dietética, la cual está constituida por aquellos hidratos de carbono estructurales que son insolubles como las glumas, el pericarpio y paredes celulares del endospermo.



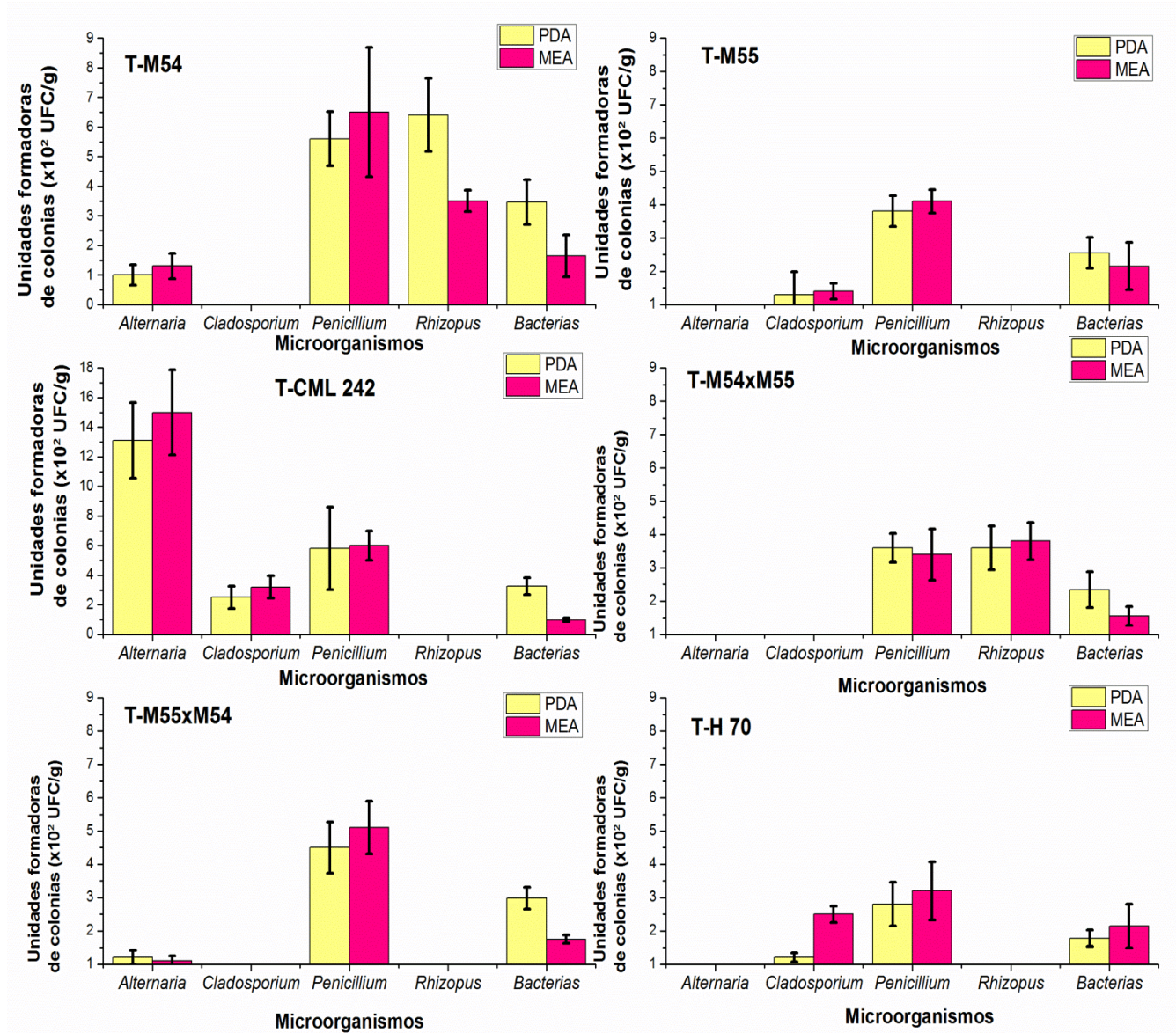
El contenido de carbohidratos fue estimado por el método de diferencia y como se observa en la tabla 3.5, el porcentaje más bajo en contenido fue la tortilla M55 con 71,66 % y el de mayor contenido fue H-70 con 78,09 %, lo cual indica que hay diferencias significativas entre ellas, pero, comparado con un estudio realizado por Gutiérrez et al., 2008, en donde se realizó una comparación de tortillas hechas a base de maíz transgénico y tortillas a base de maseca, tuvieron valores de 79.81% y 82.67% respectivamente de contenido de carbohidratos, los valores son más elevados.

Comparando el contenido de carbohidratos en las tortillas realizadas en el estudio mencionado con las tortillas hechas a base de diferentes genotipos de maíz en la investigación, tortillas hechas a base de diferentes genotipos pueden tener un impacto positivo en el estado nutricional de las personas de países donde la tortilla de maíz es un alimento básico.

En general, de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis químico proximal, todos los genotipos de maíz resultaron similares al contenido nutrimental bibliográfico, algunos componentes como las proteínas fibra y carbohidratos podrían ser beneficiosos para los consumidores. Paredes (2005) indicó que la nixtamalización adiciona minerales como calcio y fósforo y otros nutrimentos al maíz, como la niacina. Además, permite que el grano se digiera mejor y aumente su contenido de fibra dietética, el contenido nutrimental depende del tipo de maíz, sus características físicas y sobre todo al proceso de nixtamalización (Rooney y Suhendro, 1999). La información obtenida en esta investigación puede utilizarse para realizarse nuevos estudios enfocados a la obtención de productos hechos a base de estos maíces y que sean aptos para su consumo.

### 3.5. Análisis microbiológico a las tortillas.

En la Gráfica 3.6 se presentan los microorganismos desarrollados en la tortilla en los medios de cultivo PDA Y MEA.



Gráfica 3.6. Microbiología de las tortillas

La Gráfica 3.6 muestra los resultados microbiológicos para cada tortilla en dos diferentes medios de cultivos MEA y PDA, pero el desarrollo fue mayor en el medio MEA. Todas las tortillas desarrollaron el hongo *Penicillium* en los dos medios (PDA y MEA) de  $2.7 \times 10^2$  UFC/g

a  $6.5 \times 10^2$  UFC/g. las tortillas con frecuencia tienen niveles excesivos de gérmenes (bacterias, levaduras y mohos) que se destruyen durante la cocción. Las tortillas constituyen elementalmente un medio húmedo muy rico para el crecimiento microbiano, que puede tener lugar en 24 horas en condiciones tropicales (Capparelli y Mata, 1975).

Las tortillas de maíz se preparan comúnmente en condiciones primitivas, en especial en las zonas rurales. Afortunadamente, el tratamiento del maíz con agua de cal y la cocción destruyen las micotoxinas que pudieran existir en el maíz original. Un hecho de máxima importancia en cuanto a calidad para millones de personas en Hispanoamérica (Ulloa-Sosa y Shoroeder, 1969).

La cocción también destruye las bacterias patógenas; sin embargo, las tortillas se recontaminan con frecuencia, inmediatamente, y debido a su elevado contenido en humedad y a la elevada temperatura ambiente, pueden crecer *Escherichia coli*, *Staphilicoccus aureus*, *Bacillus cereus* y posiblemente otras bacterias patógenas. Si las tortillas de maíz no se consumen inmediatamente después de cocinarlas, pueden dar lugar a brotes epidémicos (capparelli y Mata, 1975).

### 3.6. Extensibilidad de tortilla

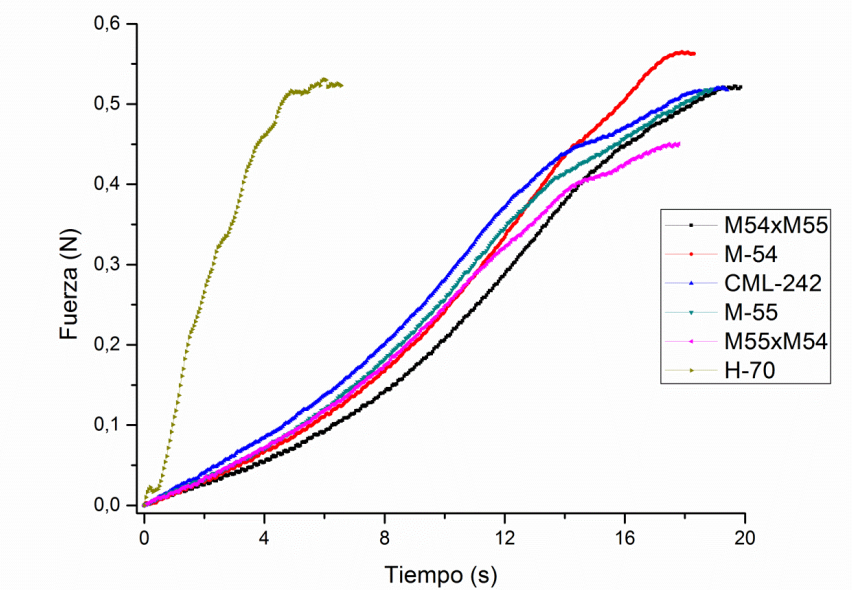


Figura 3.7. Extensibilidad de tortilla

Se evaluó la extensibilidad de la tortilla con respecto a la fuerza necesaria para su ruptura y el tiempo en segundos. La fuerza de ruptura que es un parámetro que simula la fuerza que debe de ser aplicada a una tortilla hasta su máximo estiramiento antes de provocarse una ruptura cuando es sometida a una tensión, proceso similar al que se lleva a cabo durante la manipulación en el consumo, y la elongación que se refiere al estiramiento de la tortilla.

En la figura 3.9 la tortilla H-70 indica que a una fuerza aproximadamente 0.5 N a 0.6 N en un tiempo de 5 a 7 segundos alcanza su límite máximo de elongación, lo cual indica que es una tortilla de textura muy suave a comparación de las demás tortillas (M54, M55, CML-242, M54xM55 y M55xM54), las cuales requieren fuerza entre 0.45 N a 0.55 N y un tiempo de elongación entre 16 y 18 segundos para su ruptura y que de acuerdo a estos resultados las tortillas mencionadas son de textura más dura que la H-70 y que requieren una fuerza y tiempo mayor para su ruptura.

### 3.7. Evaluación sensorial.

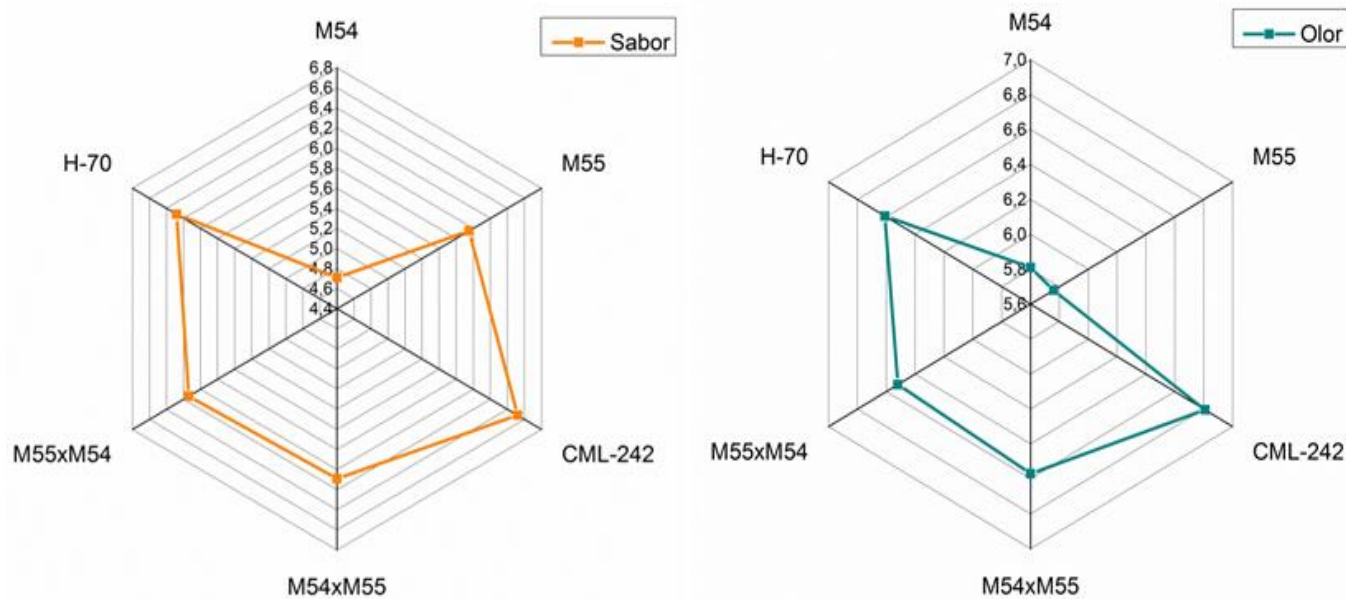


Figura 3.8. Gráficos radiales del sabor y olor en la tortilla.

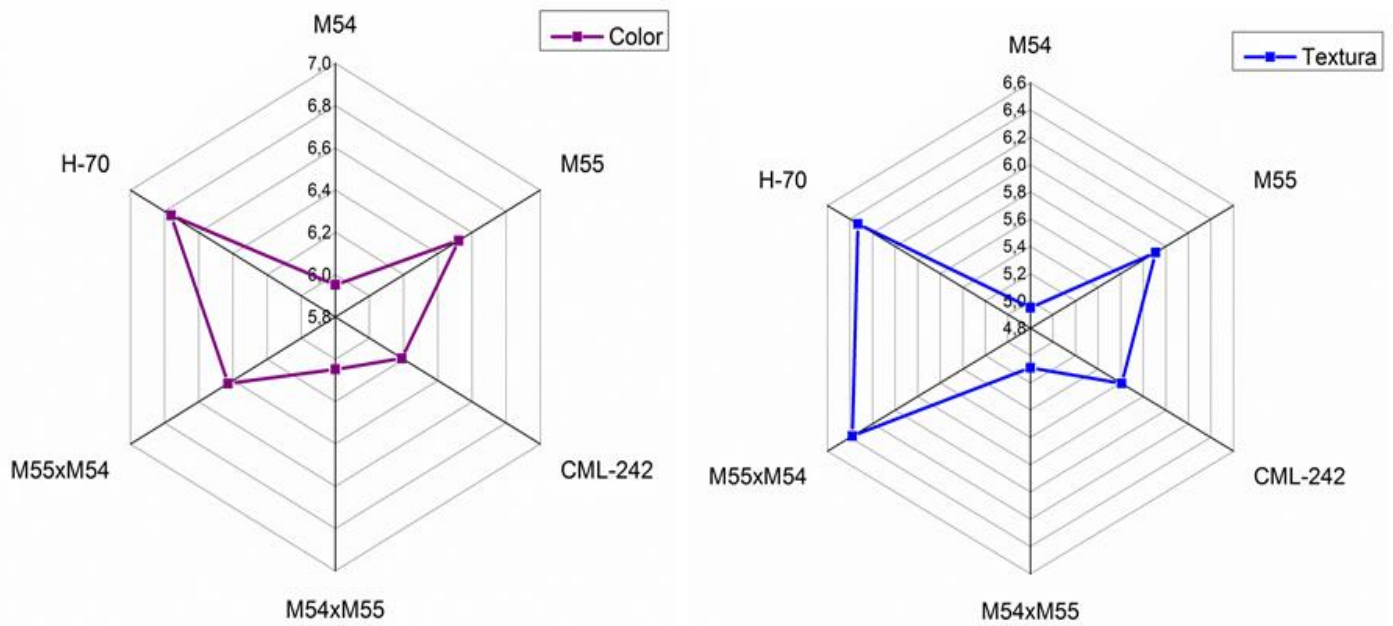


Figura 3.9. Gráficos radiales de color y textura en la tortilla.

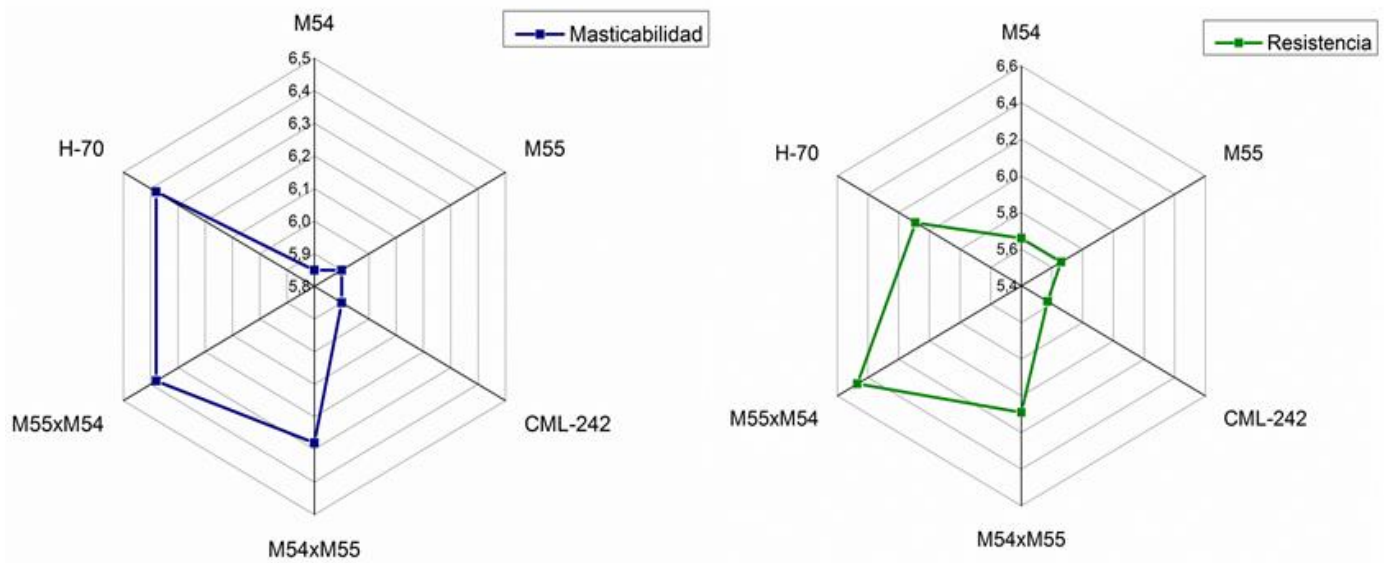
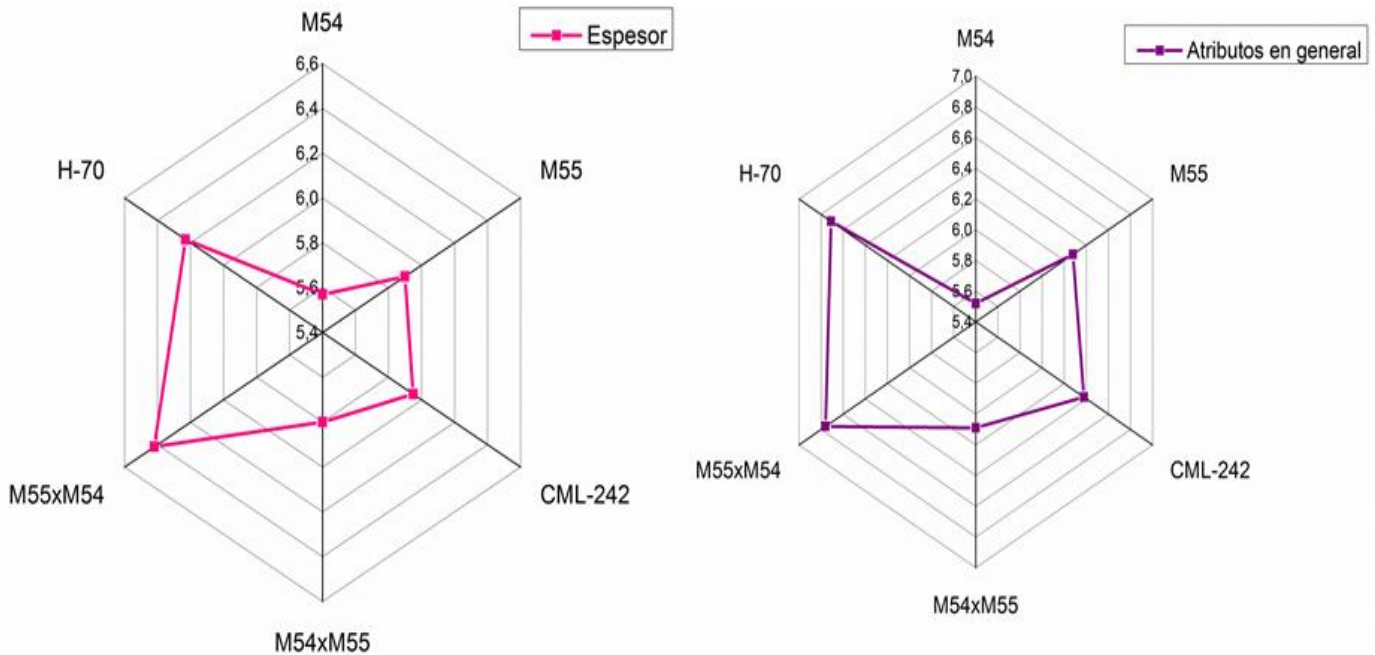


Figura 3.10. Gráficos radiales de masticabilidad y resistencia en la tortilla.



**Figura 3.11. Gráficos radiales de espesor y atributos en general de la tortilla.**

La Figura 3.8 muestra el gráfico radial de los atributos sabor y olor, en donde se observa que las tortillas CML-242 y H-70, fueron más agradables en ambos atributos y las tortillas M54 y M55 como las de menor agrado.

Con respecto a los atributos de color y textura, como se observa en la Gráfica 3.9, la tortilla con mejor agrado de color fue H-70, en cuanto a la textura M55xM54 y H-70; para ambos atributos las tortillas con menor agrado fueron M54 Y M54xM55.

En la Figura 3.10, de acuerdo a los jueces las tortillas H-70 M55xM54 y M54xM55 tuvieron mayor aceptación en el atributo masticabilidad y menor aceptación en las tortillas CML-242 M55 y M54, al igual que en el atributo de resistencia.

Finalmente, en la Figura 3.11, se muestra el gráfico radial del atributo espesor y un gráfico con la evaluación de los atributos en general, con respecto al espesor las tortillas con mayor aceptación fueron M55xM54 y H-70, siendo las de menor agrado M54 M54xM55, M55 y CML-242, en cuanto a la evaluación de atributos en general las tortillas que en general obtuvieron el mayor nivel de agrado para todos sus atributos (sabor color, olor, masticabilidad, resistencia

y textura), fueron las tortillas H-70 y M55xM54. Esto indica que maíces híbridos resultantes de cruzas de líneas progenitoras y las cruzas de las mismas como lo es M54xM55, aunque no son muy comunes para su uso en producción de tortillas presentaron las mejores características sensoriales, esto es favorable para la investigación, ya que nos muestra que no solo los maíces blancos o amarillos pueden utilizarse para la producción de tortillas, y que existen otros maíces de diferentes variedades que son aptos y agradables para su consumo, ya que en México se prefiere consumir aquella tortilla que sea recién elaborada con maíz nixtamalizado, el cual define su color crema brillante, olor y sabor a maíz nixtamalizado, y sobre todo por ser fácil al corte y al enrollado (Ordaz y Vázquez, 1997). Por supuesto, esas características de calidad y otras como tamaño, espesor masticabilidad y la textura varían según las regiones de donde provienen las distintas variedades de maíz, ya que el contenido nutrimental de cada uno determina las propiedades físicas, químicas y sensoriales del producto final (Waliszewski *et al.*, 2002).

# Conclusiones

1. El maíz es uno de los cereales más importantes del mundo, ya que suministra elementos nutritivos e importantes para los seres humanos y los animales además de que es una materia prima básica de la industria de transformación, con la que se producen diversos productos, una de ellas la tortilla, es por esto la importancia de realizar estudios a los diferentes tipos de maíz sin importar origen.
2. La caracterización física y determinación del % de humedad de los seis genotipos de maíz (M54, M55, CML-242, M54xM55, M55xM54 y H-70), mostró que no hay diferencias significativas entre ellos, es decir, que de acuerdo a valores bibliográficos y con respecto a la norma algunos de ellos como lo es el maíz CML-242, M55xM54, M54xM55 y H-70 pueden utilizarse al igual que el maíz blanco para elaborar productos hechos a base de este, ya que se obtuvieron resultados favorables en relación al diámetro, longitud, diámetro geométrico, índice de flotación, peso hectolítrico y % de humedad.
3. Como ya se mencionó, la tortilla a base de maíz es uno de los alimentos más importantes y nutritivos para el ser humano es por eso que al realizar el análisis químico, las tortillas resultaron con altos porcentajes de proteínas fibras y cenizas, lo cual es favorable para la investigación, ya que no existe información en base a estos parámetros que puedan definir las propiedades nutrimentales que estos maíces aportan al consumidor.



4. Con respecto a las características microbiológicas, se obtuvo que un maíz con bajo porcentaje de humedad disminuye el crecimiento microbiano tanto en la tortilla como en el maíz en los cuales algunas bacterias mohos y levaduras fueron nulas a comparación de otros maíces que tienen alto contenido de humedad ya que desarrollan este tipo de bacterias mohos y levaduras con mayor rapidez, además de que la presencia de hidróxido de calcio ayudó a disminuir el crecimiento de los microorganismos. Existen pocos estudios acerca de la micobiota de estos genotipos de maíz, por lo que se sugiere continuar con la investigación tanto en los maíces como en masa y tortilla.
5. Los parámetros reológicos que se evaluaron en la masa mediante compresión uniaxial, tuvieron un comportamiento similar entre ellas las cuales indicaron a través de las gráficas esfuerzo-deformación que todas alcanzan el límite máximo de esfuerzo obteniendo el módulo de Young con un intervalo de valores de  $16.022 \times 10^4$  Pa a  $28.03 \times 10^5$  Pa y el esfuerzo máximo con un intervalo de valores entre  $16.57 \times 10^4$  Pa a  $19.36 \times 10^4$  Pa, entre más grande el valor del módulo de Young, más rígido el sólido para manipularse y que este regrese a su forma original. Existen pocos estudios acerca del maíz nixtamalizado mediante pruebas de compresión uniaxial, ya que generalmente estos estudios se realizan en materiales sólidos con textura rígida no alimenticios, pero al realizarlo en la investigación a la masa de maíz nixtamalizado, se comprueba que este tipo de estudios puede realizarse en alimentos semisólidos el cual permite observar el comportamiento del alimento hasta el momento de su ruptura, por lo que se recomienda para conocer el comportamiento viscoelástico de otros alimentos. Al obtener los valores y gráficos de viscoelasticidad, en todas las masas siempre fue predominante el módulo  $G'$  que  $G''$ , ya que predomina el módulo elástico e l cual se refiere al comportamiento de un alimentos semi-sólido.
6. Las propiedades texturales en todas las tortillas con excepción de H-70 y en relación a fuerza-tiempo no hubo diferencia significativa entre una y otra en el tiempo de elongación y fuerza aplicada para que estas fueran perforadas por el

cilindro, la tortilla H-70, a comparación de las demás fue la que menor tiempo de elongación requirió para ser perforada con la misma fuerza que para el resto de las tortillas, esto puede ser debido al contenido de almidón, dado que como es un híbrido, genéticamente puede heredar la misma cantidad o incrementar el doble de contenido de almidón que el de sus progenitores puros y al proceso de nixtamalización, ya que mediante una reacción termo alcalina ocurren cambios texturales del maíz a la masa, en donde influye el contenido de almidón, por lo que sería importante realizar un estudio en el que se determine el contenido de almidón de cada genotipo y verificar a que se le atribuye exactamente el que un híbrido de maíz tenga este comportamiento textural.

7. Finalmente al evaluar las propiedades organolépticas de las tortillas, el grado de aceptación fue mayor en las tortillas H-70 y M55xM54, en el resto fue similar la aceptación por los jueces pero menores que las tortillas mencionadas.
8. En conclusión, la información que se obtuvo en este proyecto es de suma importancia, ya que actualmente en México no existe información sobre los parámetros que se evaluaron en estos diferentes genotipos de maíz y tortillas, es por ello que al obtener los resultados de las diferentes propiedades en estos maíces que actualmente en la mayoría de los estados se utilizan como desperdicio o simplemente no se emplean para la comercialización, pueden aprovecharse para el incremento de la producción consumo y distribución en México, ya que cumplen con lo establecido en las normas y como se observó en este proyecto los aportes nutritivos, la calidad del grano, los parámetros reológicos y texturales y la evaluación sensorial de los jueces indican que estos maíces son favorables para la elaboración de productos y además aportarán las cantidades nutrimentales necesarias para el consumidor.

## **Referencias bibliográficas.**

1. Acevedo, A.O (2009). Determinación de la magnitud de esfuerzos in situ. Tesis de Ingeniería petrolera, Universidad Nacional Autónoma de México.
2. Acero Guadalupe, 2000. Uso del cerdo como modelo biológico para evaluar la calidad de la tortilla por dos procesos de nixtamalización y la fortificación con vitaminas y pasta de soya. Tesis de Maestría. Universidad de Colima. México.

3. Antuna, G. O., Rodríguez, S. A. H., Arámbula, V. G., Palomo, G. A., Gutiérrez, A. E., Espinosa, B. A., Navarro, O. E. F., Adrio, E. E. (2008) Calidad Nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. Revista. Fitotecnia Mexicana 31 Pp. 23-27.
4. Anzaldúa-Morales, A. (2005). La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la teoría y la Práctica. Acribia, S.A. España. 67-117.
5. AOAC. (1998). Official Methods Of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists AOAC, Food Composition, Additives; Natural Contaminants, 10 Edition. USA.
6. Araujo, G. A. (2009). Influencia del almacenamiento refrigerado en la vida útil de tortillas de maíz adicionadas con un mejorador de textura. Tesis de Ingeniería en Alimentos, FES – Cuautitlán, UNAM.
7. Arellano, V., J. L., F. Castillo G., G. Alcantar G y A. Martínez G. 1997. Parámetros genéticos de la eficiencia en el uso del nitrógeno en líneas de maíz de valles altos. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas.
8. Arellano, V. J. L.; Virgen, V. J.; Avila, P. M. A. y Rojas, M. I. 2010. H-70: Nuevo híbrido de maíz precoz para el Altiplano Central de México. Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Memoria técnica. Núm. 11. 36-37 pp.
9. Barillas, M.E. 2010. Producción de semilla certificada de maíz en Tlaxcala. Fundación Produce Tlaxcala A. C., México. IICA, México.
10. Barrón, C.E. 2010. Producción de semilla certificada de maíz por pequeñas organizaciones de productores: el caso de Impulsora Agrícola El Progreso SPR de RL. Fundación Produce Guerrero. Guerrero, México. <http://www.siac.org.mx/fichas/49%20Guerrero%20Maiz.pdf>. Fecha de consulta: Agosto 2016.
11. Bressani, R. y Mertz, E.T. 1958. Studies on corn protein. IV. Protein and amino acid content of different corn varieties. Cereal Chem., 35. Pp. 227-235.
12. Bressani, R. 1990. Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas. Food Rev. Int. 6. Pp. 225-264.
13. Casas, A., y Ramírez, O. (1998). Evaluación de la textura de materiales con maquina universal de deformación. Curso de superación academica. Departamento de Ingeniería y Tecnología. Sección LEM. Alimentos. Unam.

14. Castañeda-Sánchez A. (2011). Propiedades nutricionales y antioxidantes del maíz azul 75-83 Colección temas selectos del departamento de ingeniería química, alimentos y ambiental, fundación universidad de las américas puebla, México.
15. Contreras-Jiménez B., Gaytan-Martínez M., Figueroa-Cárdenas J., Avalos-Zúñiga R., Morales-Sánchez E. (2014). Effect of steeping time and calcium hydroxide concentration on the water absorption and pasting profile of corn grits. *Journal of Food Engineering* 122. Pp. 72-77.
16. Cortéz A. & Altamirano W. (1972). Mejoramiento nutricional del maíz. INCAP, L-3, pp. 90-106.
17. Copeland, L.O., McDonald, M.B. (2001). Principles of seed science and technology. 4 ed. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA.
18. Cossolino, C. L., Pereira, A. A (2010). Módulos elásticos: Visión general y métodos de caracterización. *Revista informativo Técnico-Científico*.
19. Edwards, N. M., Dexter, J. E. y Scanlon, M. G., Starch (2002) participation in durum dough linear viscoelastic properties, *Cereal Chemistry*, Vol. 79, No. 6, pp. 850-856.
20. F. Martínez-Bustos, Y. K. Chang, A. C. Bannwart, M. E. Rodríguez, P. A. Guedes, E. R. Gaiotti: Effects of calcium hydroxide and processing conditions on corn meal extrudates. *Cereal Chem.* 1998, Vol 75. Pp. 796-801.
21. FAO (1993) El maíz en la nutrición humana. Departamento de agricultura. <http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S00.htm#Contents>. Fecha de consulta: 16 de Febrero 2016.
22. FAO (2001). Composición química y valor nutritivo del maíz. <http://www.fao.org/docrep/T0395S/T0395S08.htm>. Fecha de consulta 16 de Febrero 2016.
23. Fernández-Muñoz, J.L., Acosta-Osorio, A.A., Gruintal-Santos, M.A., Zelaya-Angel, O., (2011). Kinetics of water diffusion in corn grain during the alkaline cooking at different temperatures and calcium hydroxide concentration. *Journal of Food Engineering*, Vol 106, Pp. 60–64.
24. Ferry, J. R. (1980). *Viscoelastic Properties of Polymers* (3rd ed). New York: Wiley, pp. 55.
25. García, R. D. (2012). *Manual de Fórmulas de Ingeniería*. Editorial Limusa.
26. Gómez, M. H., L. W. Rooney, R. D. Waniska, and R. L., Pflugfelder. 1987. Dry corn masa flours for tortilla and snack food production. *Cereal Foods World* P.p. 372-377.
27. Gómez MH, Waniska RD and Rooney LW. (1990). Effects of nixtamalización and grinding conditions on the starch in masa. *Starch*; Pp. 475-482.

28. González A, Islas, J., Espinosa, A., Vázquez, J.A., Wood, S. (2008) Impacto Económico del Mejoramiento Genético del Maíz en México. Publicación Especial No. 25. INIFAP. México. 88 p.
29. Goodwin, J. W., Hughes, R. W. (2000). Rheology for Chemists. Royal Society of Chemistry London.
30. Gutiérrez-Cortéz, E., Rojas-Molina, I., Pons-Hernández, J.L., Guzmán, H., Aguas-Ángel, B., Arenas, J., Fernández, P., Palacios-Fonseca, A., Herrera, G., Rodríguez, M.E. (2007). Study of calcium ion diffusion in nixtamalized quality protein maize as a function of cooking temperature. *Cereal Chemistry* 84, 186–194.
31. Gutiérrez, R., Mora, S, López, J., Váldez, A., & Paredes, O. (Julio 2008). Nixtamalised flour and tortillas from transgenic maize expressing amarantin: Technological and nutritional properties. *Food chemistry*, 114, Pp. 50-56
32. Hibberd, G.E. 1970. Dynamic viscoelastic behavior of wheat flour. Doughs. Part III: The influence of the starch granules. *Rheol. Acta*. Pp. 501-505.
33. ICMSF (2001). Microorganismos de los alimentos 6. Ecología microbiana de los productos alimenticios. Editorial Acribia (España). Pp. 2017, 305-306.
34. Jay, J. M. (2002). Microbiología moderna de los alimentos, editorial Acribia, España.
35. Leyva O. O. R. 2002. Estrategia de mejoramiento en maíz considerando caracteres agronómicos y de calidad física del grano relacionadas con el proceso de nixtamalización. Tesis de Doctor en Ciencias. Programa en genética. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 97 p.
36. Limanond, B.; Castell-Pérez, E. y Moreira, R. G (1999). Effect of time and storage conditions on the rheological properties of masa for corn tortillas, in *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, Vol. 32, pp. 344-348.
37. Mauricio SRA, JD Figueroa C, S Taba, ML Reyes V, F Rincón S, A Mendoza G (2004) Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Vol 27, Pp. 213-222.
38. Martínez-Flores et al. (2002) Physical properties and composition of femures of rat fed with diets based on corn tortillas made from different processes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* Vol 53, Pp. 155-162.

39. Mass, E. V., Hoffman, G. L., Chaba, G. D., Poss, J. A. and Shannon, M. C. (1983). Salt sensitivity of corn at various growth stages. *Irrig. Sci.* 4, 45-57
40. Masi, P.; Cavella, S.; Sepe, M., (1998). Characterization of dynamic viscoelastic behavior of wheat flour doughs at different moisture contents, in *Cereal Chemistry*, Vol. 75, No. 5, pp. 428-432.
41. Mc. Donough, C.; Gomez, M. H.; Rooney, L. W y Serna-Saldivar, S., Alkaline-cooked corn products, en *Snack foods processing*, Ed. Lusas, E. W. y Rooney, L. W. Pennsylvania, Technomic publishing company, Inc. 2001, pp.73-113.
42. Méndez Montealvo G., Solorza-Feria J., Velázquez del Valle M., Gómez-Montiel N., Paredes-López O. y Bello-Pérez L. (2005). Composición Química y Caracterización Calorimétrica de Híbridos y Variedades de Maíz Cultivadas en México. *Agrociencia*, Vol 39, Pp. 267-274.
43. Mondragón, C, M. (2004). Tesis: Estudio Comparativo de Cambios Estructurales y Funcionales en Almidones de Maíz Nixtamalizado.
44. Morales, J. (1991). La tortilla, fuente de energía siempre presente, Vol. 14. Pp. 33-34.
45. Moreno, M. (1998). Manual para la identificación de hongos en granos y sus derivados. México, DF., Universidad Nacional Autónoma de México.
46. Nash, W, A. (1994). Resistencia de materiales. Editortial Mc Graw Hill. Pp. 65-67.
47. Norma oficial mexicana nom-147-ssa1-1996, bienes y servicios. cereales y sus productos. harinas de cereales, semolas o semolinas. alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas, semolas o semolinas o sus mezclas. productos de panificación. disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
48. Ordaz, O. J. J. y Vázquez, C. M. G. (1997). Vida de anaquel y evaluación sensorial en tortillas de maíz elaboradas con conservadores y mejoradores. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, Vol 4, Pp. 372-376.
49. Paredes-López, O., and M. E. Saharópulos. (1982). Scanning electron microscopy studies of limed corn kernels for tortilla making. *J. Food Technol.* Vol 17, Pp. 687-693.
50. Paredes-López, Octavio (2006). Los Alimentos Mágicos de las Culturas Indígenas Mesoamericanas. 1ª edición, Fondo de Cultura Económica.
51. Paredes-López, O. (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Revista ciencias*.
52. Paredes-López (2001). Alimentos mesoamericanos. La tortilla en la jornada. *Revista el consumidor*.

53. Pedreira, A. M., Martínez, F. AM ( 2004). Geología y Biología. Volumen Práctico. Editorial Mad. Pp. 75-77.
54. Pflugfelder, R.L., Rooney, L.W. y Waniska, R.D. (1988a). Dry matter losses in commercial corn masa production. *Cereal Chem.*, Vol 65, Pp. 127- 132.
55. Pflugfelder, R.L., Rooney, L.W. y Waniska, R.D. (1988b). Fractionation and composition of commercial corn masa. *Cereal Chem.* Vol 65, Pp. 262-266.
56. Presello Daniel. A, Botta, Gissella (2002). Podredumbres de Espiga de Maíz y Micotoxinas Asociadas.
57. Rao, M. A. (1999). Rheology of fluid and semisolid foods principles and aplicaciones. Editorial Acribia (España). Pp. 132-134, 201-203.
58. Rojas, M. A. (2001). Evaluación del efecto de la congelación por aire en las propiedades texturales de masa y tortilla elaboradas con harina de maíz nixtamalizado (Maseca). Tesis de Ingeniería en Alimentos, FES-Cuautitlán, UNAM.
59. Rooney, L.W. y Serna-Saldívar, S.O. (1987). Food uses of whole corn and drymilled fractions. En S. A. Watson y P. E. Ramsted, eds. *Corn : chemistry and technology*. St Paul., Minn., EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem.
60. Rooney, L. W., and E. L. Suhendro. (1999). Perspectives on nixtamalization (alkaline cooking) of maize for tortillas and snacks. *Cereal Foods World*, Vol 44, Pp 466-470.
61. Rosenthal, A. (2001). Textura de los alimentos: Medición y Percepción. Editorial Acribia (España). Pp. 68, 89, 108, 199 y 215.
62. Roudot, C.A. (2004). Reología y análisis de la textura de los alimentos. Pp. 44-74
63. SAGARPA (2011). H-70 Híbrido de maíz de alto rendimiento para áreas de temporal y riego del altiplano central de México.
64. SAGARPA (2014) Financiera nacional de desarrollo agropecuario, rural, forestal y pesquero. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo>. Fecha de consulta: 12 de Marzo 2016
65. Salinas, M, Y., Martínez B. F., Gómez H. J. (1992). Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea mays* L). *Arch. Latín. Nutr.* 42, pp. 689-702.
66. Salinas, M, Y., Aguilar M. L. (2010). Efecto de la Dureza del Grano de Maíz Sobre el Rendimiento y Calidad de la Tortilla. *Arch. INIFAP*. Pp. 4.



67. Salinas-Moreno (2007). Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, Vol 36.
68. Salinas, M. Y. y Pérez, H. P. (1997). Calidad nixtamalera-tortillera en maíces comerciales de México. *Rev. Fitotec. Mex.*, Vol 20, Pp 121-136.
69. Salinas M., Y., y G. Vázquez C. (2006). Metodologías de análisis de calidad nixtamalera-tortillera en maíz. INIFAR Campo Experimental Valle de México, Chapingo, México. Folleto Técnico No. 24. 91 p.
70. Sánchez F. C.; Salinas M. Y.; Vázquez C. G.; Velázquez C. G. A.; Aguilar G. N. (2007). Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la calidad de la tortilla. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 57: 295-301.
71. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. NMX-FF-034/2-SCF-2003. Productos Alimenticios del maíz. Norma Mexicana. México.
72. Secretaría de Salud. NOM-147-SSA1-1996. Bienes y servicios. Cereales y sus productos. harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Norma oficial Mexicana.
73. Secretaría de Salud. NOM-092-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Norma Oficial Mexicana. México.
74. Secretaría de Salud. NOM-111-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. Norma Oficial Mexicana. México.
75. Serna-Saldívar, S.O., Knabe, D.A., Rooney, L.W. y Tanksley, T.D. (1987). Effect of lime cooking on energy and protein digestibilities of maize and sorghum. *Cereal Chem.*, Vol 64, Pp. 247-252.
76. Sharma, S. K. (2003). Ingeniería de Alimentos. Editorial LIMUSA WILLEY. Pp. 22-44.
77. Sierra M.M., A. Palafox, F.A. Rodríguez, A. Espinosa, N. O. Gómez, F. Caballero, S. Barrón, A. Sandoval, y G. Vázquez. 2006. H-518, híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. *Agric. Téc. Méx.* Vol 32, Pp 115-119.
78. Soria, A. F. (2005). Revisión y Determinaciones Experimentales de Parámetros Reológicos en Alimentos.

79. Trejo-González, A., Feria-Morales, A. y Wild-Altamirano, C. (1982). The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla preparation. *Adv. Chem Ser*, Vol 198, Pp 245-263.
80. Valderrama-Bravo, C. Rojas-Molina, A., Gutiérrez-Cortez, E., Rojas-Molina, I. Oaxaca-Luna, A., De la Rosa-Rincón, E., Rodríguez-García, M. E. (2010). Mechanism of calcium uptake in corn kernels during the traditional nixtamalization process: diffusion, accumulation and percolation. *Journal of Food Engineering* Vol 98, Pp 126-132.
81. Vázquez C M G, L Guzmán B, J L Andrés G, F Márquez S (2003) Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retro cruza. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol. 26, Pp 231-238.
82. Vélez, M. J. (2004) Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización. Tesis de Maestría, CICATA, Querétaro.
83. Virgen, V.J., J.L. Arellano, I. Rojas, M.A. Ávila, y G.F. Gutiérrez. (2010). Producción de semilla de cruza simples de híbridos de maíz en Tlaxcala, México. *Rev. Fitotec Mex.* Vol. 33, Pp. 107-110.
84. Waliszewski, K. N.; Pardo, V. and Carreón, E. 2002. Physicochemical and sensory properties of corn tortillas made from nixtamalized corn flour fortified with spent soymilk residue (okara). *J. Food Sci.* 67:3194-3197.
85. Watson, S.A. (1987). Structure and composition. En S.A. Watson y P.E. Ramstad. eds. *Corn: chemistry and technology*, p. 53-82. St Paul, EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem.
86. Welty, J. R. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Momento, Calor y Masa*.
87. Wellhausen E., J. (1947). Comparación de variedades de maíz obtenido en el Bajío, Jalisco y la Mesa Central. Folleto Técnico N° 1. Programa de Agricultura Cooperativo de la Secretaría de Agricultura y Ganadería de México, D.F. y la Fundación Rockefeller 40 pp.