



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Cambios físicos, químicos y microbiológicos en tortillas nixtamalizadas
con reutilización de nejayote a diferentes concentraciones de hidróxido
de calcio**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

JUÁREZ BUENDÍA MARLEN

ASESORA:

DRA. MA. DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO

DRA. MARÍA CRISTINA JULIA PÉREZ REYES

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **Tesis y Examen Profesional**

Cambios físicos, químicos y microbiológicos en tortillas nixtamalizadas con reutilización de nejayote a diferentes concentraciones de hidróxido de calcio.

Que presenta la pasante: **Marlen Juárez Buendía**

Con número de cuenta: **411099222** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 16 de Enero de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Clara Inés Álvarez Manrique	
VOCAL	Dra. Elsa Gutiérrez Cortez	
SECRETARIO	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	
1er. SUPLENTE	M. en C. Enrique Fuentes Prado	
2do. SUPLENTE	I.A. Maritza Rocandio Pineda	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/cga*

El presente trabajo se realizó en la Unidad de Investigación en Granos y Semillas (UNIGRAS) y el Laboratorio Experimental Multidisciplinario I de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM con apoyo de los Proyectos PAPIME PE108316 “Aplicación de las matemáticas activas a la Administración e Ingeniería desde un Enfoque Sistémico-Transdisciplinario” y PE204217 “Elaboración de un manual para el análisis de la calidad de granos y semillas en formato CD”



“Por mi raza hablara el espíritu”

La sabiduría consiste en saber cuál es el siguiente paso; la virtud, en llevarlo a cabo.

David Stass Jordan

DEDICATORIAS

*Le doy gracias a **Dios**, por todo lo que me ha dado, por conocer a todas esas personas especiales que han formado parte de mi vida y por darme la oportunidad de lograr una meta más.*

A mis padres:

Que son las personas que más admiro en el mundo, por todos esos momentos de desvelo y preocupación, por enseñarme a no rendirme ante los problemas, porque gracias a su apoyo y consejos he logrado culminar mi carrera profesional y realizar una de nuestras más grandes metas gracias a su esfuerzo. Lo logramos.

***A mi madre: Adriana Buendía Ruiz.** Por estar conmigo en las buenas, en las malas y en las peores. Por estar dispuesta siempre cuando te necesitaba. Por abrirme tus brazos cuando no tenía a donde ir y levantarme el ánimo cuando fracasaba, por tu confianza, por tu fe sin límites y tu amor. Gracias.*

***A mi padre: Nicolás Juárez Rivero.** Porque nunca me dejo bajar la guardia, por sus consejos, por enseñarme que siempre podemos lograr más y porque nunca me cansaré de decirte cuanto te quiero y lo orgullosa que estoy de ti. Gracias por todo tu amor, esfuerzo, sacrificio, paciencia, dedicación y siempre dar lo mejor de ti. Siempre serás mi mejor ejemplo a seguir.*

***A mis hermanos.** Por los días que jugamos juntos y porque con ellos aprendí: derecho, psicología, primeros auxilios, lógica, planeación y boxeo para ganarles siempre.*

***A mis abuelos.** Que son parte fundamental de mi vida y aunque algunos ya no están presentes quiero agradecer por todo el amor, paciencia y enseñanzas que me brindaron.*

***Asesores y académicos.** Que hicieron posible la realización de este proyecto, por prestarme su tiempo, atención y paciencia.*

Con amor, admiración y respeto:

MARLEN

“Por mi raza hablará el espíritu”

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, por su apoyo decidido, generoso y desinteresado durante mi estancia universitaria. Orgullo Azul y Oro.

A la Dra. María del Carmen Valderrama Bravo por la orientación y ayuda que me brindo durante mi formación académica y por la realización de este trabajo de tesis, por su apoyo y amistad que me permitieron aprender mucho más que lo estudiado en el proyecto.

A la Dra. María Cristina Julia Pérez Reyes, por el apoyo técnico en análisis microbiológicos.

A la Dra. Gabriela Sánchez Hernández, por el apoyo técnico en el análisis de calidad de granos.

A la Dra. Martha Yolanda Quezada Viay por el apoyo técnico en análisis químicos y extracción de fenoles.

A la I.A Sandra Margarita Rueda, por su apoyo durante mi formación académica.

Al Sr. Gustavo Hernández Luna por el apoyo en la etapa de experimentación.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Chapingo Estado de México por la donación del maíz genotipo.

A los profesores: Dra. María del Carmen Valderrama Bravo, Dra. Elsa Gutiérrez Cortez, M. en C. Enrique Fuentes Prado y a la I.A. Maritza Rocandio Pineda, por el tiempo invertido y las observaciones realizadas al trabajo.

Con admiración y respeto:

MARLEN

“Por mi raza hablará el espíritu”

AGRADECIMIENTOS

*A **Yuridiana Cruz** y **Monserrat Trujano**, mis mejores amigas de preparatoria que siempre me apoyaron, escucharon, aconsejaron y motivaron.*

*A **Karina Cruz** y **Lizbeth Guzmán**, mis mejores amigas de la universidad, que me brindaron siempre su amistad en todo momento sin importar las circunstancias.*

*A **Miguel Minjares**, **Angel Ruiz**, **Jesús I. Guerrero**, **Gabriela Gómez**, **Karla Martínez**, **Ivett Pimentel**, **María José de la Tejera** (que cuando los conocí pensé que eran normales), por su apoyo y amistad en este largo tiempo y los momentos inolvidables.*

*A la **Sra. Angélica Fernández**. Por brindarle su apoyo y amistad a mis padres, por sus sabias palabras ante situaciones difíciles durante todo este largo tiempo.*

*Al **Sr. Augusto Melo** y la **Sra. Loreto** . Por brindarme su amistad y confianza, por apoyo hacia mí y hacia mis padres, por todos esos sabios consejos, por su tiempo.*

*A la **MVZ. Fibiola Gayosso**, a **Monserrat Chávez** y al **Ing. Marco Pacheco** por su apoyo, amistad y por darme la oportunidad de formar parte de un equipo de trabajo y crecer profesionalmente.*

A todos mis amigos que siempre dijeron que una verdadera amistad tiene que ser construida sobre una base sólida de $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ - H_2O , sarcasmo y comentarios inapropiados. Gracias!

Con amor, admiración y respeto:

MARLEN

“Por mi raza hablará el espíritu”

ÍNDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades del Maíz.....	3
1.1.1 Definición.....	3
1.1.2 Variedades de maíz.....	3
1.1.3 Estructura del grano.....	4
1.1.4 Composición química del grano de maíz.....	5
1.1.4.1 Almidón.....	6
1.1.4.2 Proteínas.....	6
1.1.4.3 Lípidos.....	6
1.1.4.4 Azúcares libres	6
1.1.4.5 Fibra cruda.....	6
1.2 Proceso de Nixtamalización.....	7
1.2.1 Nixtamalización.....	7
1.2.2 Elaboración del nixtamal.....	7
1.2.3 Cambios físicos y químicos durante el proceso de nixtamalización.....	8
a) Estructura del gránulo de almidón.....	9
b) Gelatinización del gránulo de almidón.....	10
c) Retrogradación del gránulo de almidón.....	10
1.2.4 Masa.....	10
1.3 Tortilla.....	11
1.3.1 Definición.....	10
1.3.2 Proceso de elaboración de tortilla.....	11
1.3.3 Composición química de la tortilla.....	12
1.4 Nejayote.....	12
1.4.1 Definición.....	12
1.4.2 Caracterización fisicoquímica del nejayote.....	13

1.5 Microbiología de granos de maíz y tortillas.....	14
1.6 Reología y textura	16
1.6.1 Reología de masas.....	16
1.6.2 Viscoelásticidad.....	16
1.6.2.1 Propiedades viscoelásticas de masas.....	19
1.6.3 Compresión uniaxial.....	20
1.7 Textura de tortillas.....	23
1.7.1 Pruebas objetivas.....	24
1.7.1.2 Extensibilidad.....	24
1.7.2 Pruebas subjetivas.....	25
1.7.2.2 Evaluación sensorial.....	26
1.7.2.3 Tipos de pruebas.....	26
a) Pruebas afectivas.....	26
b) Pruebas discriminativas.....	27
c) Pruebas de ordenamiento.....	28
d) Pruebas descriptivas.....	28

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1 Objetivo general.....	29
2.1.2 Objetivo particulares.....	29
2.2 Materiales y métodos.....	30
2.2.1 Actividades preliminares.....	30
2.2.1.1 Congelación del grano.....	30
2.2.1.2 Limpieza del grano	30
2.3 Caracterización del grano de maíz.....	31
2.3.1 Tamaño del grano.....	31
2.3.2 Peso hectolítrico.....	31
2.3.3 Índice de flotación.....	32
2.3.4 Humedad por estufa.....	33
2.3.5 Micobiota de granos de maíz.....	34
2.4 Nixtamalización.	34

2.4.1 Obtención del nejayote.....	36
2.4.2 Preparación de masas.....	37
2.4.3 Determinación de humedad de la masa	37
2.5 Reología y textura de masas nixtamalizadas.....	38
2.5.1 Parámetros viscoelásticos.....	38
2.5.2 Compresión uniaxial.....	38
2.6 Preparación de tortillas.....	39
2.7 Análisis químico proximal (AQP) de tortillas.....	40
2.7.1 Lípidos (Soxhlet)	40
2.7.2 Proteínas (Microkjeldahl)	40
2.7.3 Cenizas (Klemm)	40
2.7.4 Humedad por el método de secado en estufa.....	40
2.7.5 Fibra cruda (Weende)	41
2.7.6 Fenoles totales (Folin-Ciocalteu)	41
2.8 Microbiología de tortillas.....	42
2.9 Textura de tortillas.....	42
2.9.1 Extensibilidad.	42
2.9.2 Pruebas hedónicas.....	43
2.10 Análisis estadístico.	44

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1 Caracterización del grano de maíz.....	45
3.1.2 Micobiota de granos de maíz.....	46
3.2 Nixtamalización.....	47
3.2.1 Obtención de nejayote.....	47
3.3 Determinación de humedad de la masa	48
3.4 Reología de masas.....	50
3.4.1 Parámetros viscoelásticos.....	50
3.4.2. Compresión uniaxial.....	53
3.4.2.1 Relación esfuerzo-deformación.....	53
3.4.2.2 Modulo de Young.....	56

3.4.2.3 Esfuerzo máximo de ruptura.....	58
3.5 Obtención de las tortillas de maíz nixtamalizado.....	60
3.6 Análisis químico proximal de tortillas.....	62
3.6.1 Lípidos.....	62
3.6.2 Proteínas.....	64
3.6.3 Cenizas.....	65
3.6.4 Humedad.....	66
3.6.5 Fibra cruda.....	68
3.6.6 Fenoles totales.....	70
3.7 Microbiología de tortillas.....	71
3.8 Textura de tortillas.....	77
3.8.1 Extensibilidad.....	77
3.8.2 Pruebas hedónicas.....	79
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES.....	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

Tabla 1.1 Porcentaje de distribución ponderal de las partes principales del grano de maíz.....	5
Tabla 1.2 Composición química proximal promedio del grano de maíz entero.....	5
Tabla 1.3 Composición química proximal de las partes anatómicas del grano de maíz.....	5
Tabla 1.4 Composición química de la tortilla en base seca.....	12
Tabla 1.5 Caracterización fisicoquímica del nejayote.....	13
Tabla 1.6 Especificación microbiológica de mesófilos aerobios y coliformes.....	15
Tabla 1.7 Especificación microbiológica de mohos y levaduras.	15

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Tabla 2.1: Clasificación de los atributos de textura.....	33
Tabla 2.2. Condiciones para la elaboración de muestras de tortillas de maíz nixtamalizado y los códigos de identificación para masas y tortillas.....	36
Tabla 2.3 Puntaje de calificación de acuerdo al grado de aceptación.....	44

CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y RESULTADOS

Tabla 3.1 Caracterización del grano de maíz H-70.....	45
Tabla 3.2 Volumen obtenido de nejayote obtenido después del proceso de nixtamalización..	47
Tabla 3.3 Modulo de Young para masas nixtamalizadas con variación en la concentración de hidróxido de calcio y reutilización de nejayote.....	56
Tabla 3.4 Esfuerzo máximo de ruptura de masas nixtamalizadas con variación en la concentración de hidróxido de calcio y reutilización de nejayote.....	59
Tabla 3.5 Condiciones para la elaboración de tortillas de maíz nixtamalizado.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

Fig. 1.1 Estructura exterior e interior de un grano de maíz.....	4
Fig. 1.2 Representación de la estructura granular del almidón:	9
Fig. 1.3 Cambios en el almidón durante el calentamiento en exceso de agua.....	10
Fig. 1.4 Reómetro.....	17
Fig. 1.5 Esquema del principio de compresión uniaxial.....	20
Fig. 1.6 Prueba de compresión uniaxial.....	21
Fig. 1.7 Curva de compresión uniaxial a velocidad constante.....	22
Fig. 1.8 Texturómetro SHIMADSU EZ-S.....	25

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Fig. 2.1 Eliminación de impurezas del grano de maíz.....	30
Fig. 2.2 Dimensiones del grano de maíz, a) longitud, b) diámetro, c) espesor.....	31
Fig. 2.3 Determinación de peso hectolítrico del grano de maíz.....	32
Fig. 2.4 Determinación de índice de flotación del grano de maíz.....	32
Fig. 2.5 Determinación de contenido humedad del grano de maíz.....	33
Fig. 2.6 Aislamiento de hongos en granos de maíz por el método de placa agar.....	34
Fig. 2.7 Diagrama de proceso de nixtamalización de granos de maíz.....	35
Fig. 2.8 Nixtamalización de granos de maíz.....	36
Fig. 2.9 Obtención de masa de maíz nixtamalizado.	37
Fig. 2.10 Determinación de viscoelasticidad de masas con un Reómetro RT 20 Haake (USA).....	38
Fig. 2.11 Determinación de compresión uniaxial. Texturómetro SHIMADZU EZ-S.....	39
Fig. 2.12 Obtención de tortillas de maíz nixtamalizado.....	39
Fig. 2.13 Inoculación de tortillas por el método de diluciones en serie.....	42
Fig. 2.14 Determinación de extensibilidad. Texturómetro SHIMADZU EZ-S.....	43

CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y RESULTADOS

Fig. 3.1 Valores medios de UFC en granos de maíz H70 en dos medios de cultivo (MEA) Agar Extracto de Malta, (PDA) Agar Papa Dextrosa.....	46
Fig. 3.2 Contenido de humedad de nixtamal. MC= masa control, MN1= masa con reutilización de nejayote 50 %, MN2= masa con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %.....	48
Fig. 3.3 Contenido de humedad de masas. MC= masa control, MN1= masa con reutilización de nejayote 50 %, MN2= masa con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %.....	49
Fig. 3.4 Módulo de almacenamiento de masa de maíz nixtamalizado. MC= masa control, MN1= masa con reutilización de nejayote 50 %, MN2= masa con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %.....	50
Fig. 3.5 Módulo de pérdida de masa de maíz nixtamalizado. MC= masa control, MN1= masa con reutilización de nejayote 50 %, MN2= masa con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %.....	51
Fig. 3.6 Curva de esfuerzo-deformación de masas nixtamalizadas con variación en la concentración de hidróxido de calcio. MC= masa control. Concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %.....	54
Fig. 3.7 Curva de esfuerzo-deformación de masas nixtamalizadas con variación en la concentración de hidróxido de calcio. MN1= Masa con reutilización de nejayote 50 % Concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %.....	54
Fig. 3.8 Curva de esfuerzo-deformación de masas nixtamalizadas con variación en la concentración de hidróxido de calcio. MN2= Masa con reutilización de nejayote 70 % Concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %.....	54
Fig. 3.9 Tortillas de maíz nixtamalizado.....	60
Fig. 3.10 Contenido de lípidos en tortillas de maíz nixtamalizado. TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %.....	63
Fig. 3.11 Contenido de proteínas en tortillas de maíz nixtamalizado TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %.....	64
Fig. 3.12 Contenido de cenizas en tortillas de maíz nixtamalizado TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %	66
Fig. 3.13 Contenido de humedad en tortillas de maíz nixtamalizado TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %	68

Fig. 3.14 Contenido de fibra cruda en tortillas de maíz nixtamalizado TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca(OH)}_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %	69
Fig. 3.15 Contenido de fenoles totales en tortillas de maíz nixtamalizado TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca(OH)}_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %.....	70
Fig. 3.16 Valores medios de UFC en tortillas de maíz nixtamalizado al 0.8 % de Ca(OH)_2 en dos medios de cultivo, Agar Extracto de Malta y Agar Papa Dextrosa respectivamente. TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 %.....	73
Fig. 3.17 Valores medios de UFC en tortillas de maíz nixtamalizado al 1.0 % de Ca(OH)_2 en dos medios de cultivo, Agar Extracto de Malta y Agar Papa Dextrosa respectivamente. TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 %.....	74
Fig. 3.18 Valores medios de UFC en tortillas de maíz nixtamalizado al 1.2 % de Ca(OH)_2 en dos medios de cultivo, Agar Extracto de Malta y Agar Papa Dextrosa respectivamente. TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 %.....	75
Fig. 3.19 Curva de extensibilidad de tortillas de maíz. TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca(OH)}_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %.....	77
Fig. 3.20 Graficas radiales de comparación de atributos: Olor y Color. TC= tortilla control; TN1= Tortilla, reutilización de nejayote 50 %; TN2= Tortilla, reutilización de nejayote 70 %. Concentración de $\text{Ca(OH)}_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %.....	79
Fig. 3.21 Graficas radiales de comparación de atributos: Sabor y Textura. TC= tortilla control; TN1= Tortilla, reutilización de nejayote 50 %; TN2= Tortilla, reutilización de nejayote 70 %. Concentración de $\text{Ca(OH)}_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %.....	80
Fig. 3.22 Graficas radiales de comparación de atributos: Espesor y Resistencia a la ruptura. TC= tortilla control; TN1= Tortilla, reutilización de nejayote 50 %; TN2= Tortilla, reutilización de nejayote 70 %. Concentración de $\text{Ca(OH)}_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %	81
Fig. 3.29 Fig. 3.23 Graficas radiales de comparación de atributos: Masticabilidad y Atributos en general. TC= tortilla control; TN1= Tortilla, reutilización de nejayote 50 %; TN2= Tortilla, reutilización de nejayote 70 %. Concentración de $\text{Ca(OH)}_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %.....	82

RESUMEN

Las tortillas son una importante fuente de calorías, proteínas, vitaminas y calcio para los consumidores que incluyen este alimento dentro de su dieta. Actualmente en México, las tortillas representan el 47 % de la ingesta media de calorías consumidas. El objetivo del presente estudio fue determinar los cambios físicos, químicos y microbiológicos de tortillas con utilización de nejayote (con el fin de reducir el consumo de agua) a diferentes concentraciones de hidróxido de calcio. Los resultados obtenidos se analizaron mediante la aplicación de un diseño factorial de dos factores: la relación nejayote-agua (0:100, 50:50, 70:30) y tres niveles de variación en la concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (0.8, 1.0, 1.2) obteniendo la media de tres repeticiones. Se caracterizó el grano de maíz físicamente para evaluar la calidad del mismo y determinar si este era apto para su transformación, obteniendo resultados aceptables y/o dentro de los límites y parámetros establecidos por la normatividad mexicana. Los resultados microbiológicos mostraron que el proceso de nixtamalización influye directamente sobre la microbiota del grano de maíz, ya que durante este proceso se genera una solución alcalina de pH entre 10 y 12, siendo un factor que afecta el desarrollo de mohos en donde su pH óptimo para su desarrollo varía entre 5 y 7. En los cambios químicos se encontró diferencia significativa entre el contenido de proteína, grasa, fibra, cenizas y fenoles totales bajo las diferentes condiciones de nixtamalización. Con respecto a las propiedades reológicas, la masa mostró que prevalece el carácter elástico ya que los parámetros viscoelásticos; módulo de elasticidad (G') y el módulo viscoso (G'') que se evaluaron dieron como resultado $G' > G''$ bajo cualquier tratamiento empleado. El módulo de Young se ve afectado por la capacidad de absorción de agua de las masas y el reúso de nejayote; la tendencia de la extensibilidad mostró que las tortillas con utilización de nejayote al 70 % son más suaves en comparación con las de nejayote al 50 %. Y al llevar a cabo el análisis sensorial se concluyó que las tortillas elaboradas con utilización de nejayote tienen una mayor aceptación por el consumidor. De tal forma que las características físicas, químicas, microbiológicas, reológicas y de textura se ven directamente afectadas por tiempo de cocción, temperatura, concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, concentración de nejayote reutilizado durante el proceso de nixtamalización.

Palabras Clave: Nejayote, Reología, Textura, Compresión uniaxial, Extensibilidad.

INTRODUCCIÓN.

Las tortillas de maíz son consideradas el alimento básico más importante para la población mexicana. En México, las tortillas representan el 47 % de la ingesta media de calorías. La masa para la producción de tortillas y algunos otros alimentos se obtiene al someter los granos de maíz al proceso de nixtamalización, el cual consiste en la cocción de maíz en una solución de hidróxido de calcio, este proceso utiliza grandes cantidades de agua y en consecuencia hay una gran generación de aguas residuales "llamada nejayote", que contamina el medio ambiente ya que es altamente alcalino (Acosta-Estrada *et al.*, 2014).

Durante la nixtamalización, la interacción entre el calcio y los diferentes componentes del grano determina las propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y sensoriales en productos elaborados a base de maíz nixtamalizado como masa, tortilla y harinas instantáneas (Gutiérrez-Cortéz *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. 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 proporción de amilosa y amilopectina de almidón tiene un gran efecto, pues 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.

Como ya se mencionó el nejayote es el residuo generado después del proceso de nixtamalización, éste es una suspensión rica en sólidos solubles, fibra cruda (tejido del pericarpio), calcio y compuestos fenólicos (Gutiérrez-Uribe *et al.*, 2010), sin embargo, actualmente el nejayote simplemente se desecha y la regulación del tratamiento de este residuo es aplicado solamente en la industria de harinas instantáneas, pero no hay como tal una

regulación para el proceso de nixtamalización tradicional, por lo que Valderrama-Bravo *et al.*, (2012) propone tratar el nejayote por medio de filtraciones para separar los sólidos suspendidos; así mismo Valderrama-Bravo *et al.*, (2015), evaluaron cambios químicos, texturales y viscoelásticos en masas nixtamalizadas con nejayote, determinando la viabilidad de nixtamalizar utilizando este residuo ya que se obtienen masas similares a la control, y con esto se representa un ahorro de agua potable y disminución de descargas contaminadas al drenaje.

Por otro lado hay investigaciones de que el nejayote puede ser utilizado como un ingrediente en la industria de alimentos, ya que el consumo de fibra dietética, compuestos de calcio y fitoquímicos ejercen beneficios para la salud (Mora-Rochin *et al.*, 2010), adicionalmente al solubilizarse el pericarpio de los granos de maíz en la solución alcalina, principalmente arabinoxilanos muestran propiedades funcionales como espesante, estabilizante, emulsificante y formación de gel (Niño-Medina *et al.*, 2009).

Por lo que el objetivo del presente trabajo fue analizar el efecto del reúso de nejayote a tres diferentes concentraciones (agua-nejayote: 0:100, 70:30, 30:70) y la variación en la concentración de hidróxido de calcio (0.8, 1.0 y 1.2 %) en proceso de nixtamalización sobre las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas, reológicas y texturales de masa y tortilla.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades del maíz.

1.1.1 Definición.

La palabra maíz es de origen indio caribeño y significa literalmente “lo que sustenta la vida”. El maíz junto con el trigo y el arroz son los cereales más importantes del mundo (FAO, 1993). Por otro lado es el grano obtenido de la familia de las gramíneas cuyo nombre científico es *Zea mays* L (NMX-FF-034/1-SCFI-2002).

Su relevancia se debe a que suministra elementos nutritivos al hombre y a los animales, además es materia prima básica para la industria, ya que con él se producen almidón, aceites, proteínas, bebidas alcohólicas y edulcorantes alimenticios, entre otros productos (Benítez-Cardoza, 2006).

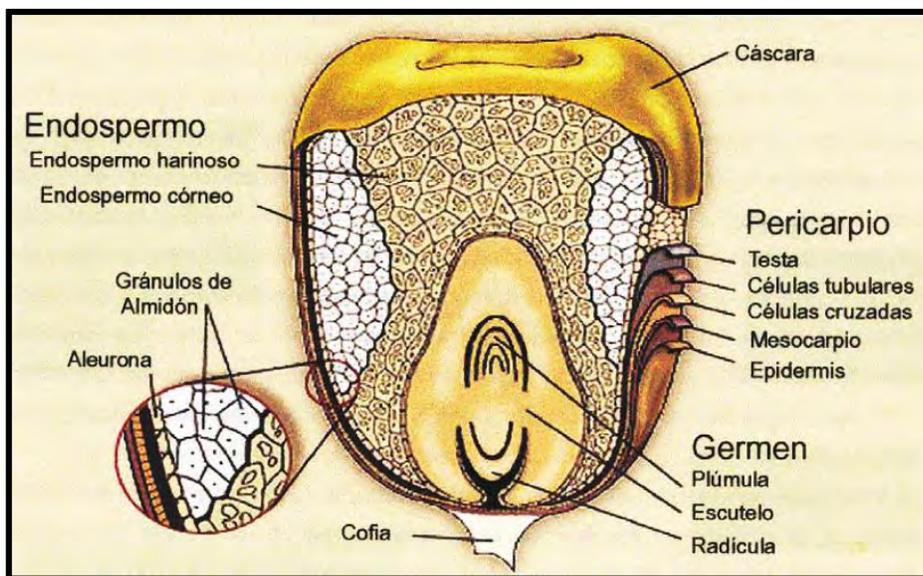
1.1.2 Variedades de maíz: subespecies actuales

En América Latina se han descrito cerca de 220 razas de maíz, de las cuales 64 (29 %) se han identificado en su mayoría para México (Sánchez, 2000). El cultivo de maíz se lleva a cabo en una gran diversidad de ambientes que dependen de la ubicación geográfica (Benítez-Cardoza, 2006) o bien por la obtención de híbridos generando una amplia variedad de maíces.

Las variedades más comunes son: el maíz amarillo o dentado, es relativamente blando generalmente se usa en la elaboración de masa para tortillas; el maíz vítreo, es un grano muy duro, puede ser color amarillo o blanco y se utiliza para la obtención de alcohol y almidón (Parsons, 1993); el maíz palomero es casi enteramente vítreo, con la excepción de una parte central y después del calentamiento el grano explota; el maíz blanco es preferido en la molienda seca por el sabor ligero y atractiva apariencia de harinas y sémolas, carece de xantofilas y carotenos y se utiliza en la elaboración de harina; la variedad waxy, se distingue por su endospermo céreo, se utiliza en la elaboración de gomas y su composición es casi totalmente amilopectina responsable de una textura viscosa glutinosa no gelificante en la cocción (Callejo *et al.*, 2002). De las subespecies mencionadas, la más utilizada para la elaboración de tortillas, principalmente de masa fresca, es el maíz dentado amarillo; mientras que para la elaboración de harinas de maíz nixtamalizado, es común utilizar maíz blanco, debido a que carece de carotenos y no otorga el color amarillo-naranja característico de la masa fresca.

1.1.3 Estructura del grano

Los granos de maíz son heterogéneos, tanto en su tamaño como en su forma. Las dimensiones oscilan entre 8 y 17 mm para el grande, y para el pequeño entre 5 y 15 mm. El peso medio es de 285 mg. El grano puede ser redondo o dentiforme (Callejo *et al.*, 2002). El pericarpio está pegado con la cubierta de la semilla o testa y ambas están combinadas conjuntamente para conformar la pared del grano. El grano maduro consiste en tres partes principales; la pared, el embrión diploide y el endospermo triploide. La parte más externa del endospermo en contacto con la pared de la semilla es la capa de aleurona. En la Fig 1.1 se muestra un corte longitudinal que permite ver la estructura del grano de maíz.



Enciclopedia británica (1996), con modificaciones.

Fig. 1.1 Estructura exterior e interior de un grano de maíz

Dentro de su estructura se encuentra el germen, el cual está compuesto por el pluma (embrión), escutelo y radícula. El escutelo funciona como órgano nutritivo del embrión y se le conoce como primera hoja. El endospermo está compuesto de paquetes de células elongadas con gránulos de almidón de 5-30 micras, el almidón del endospermo es de dos tipos: harinoso (es ligeramente opaco) y córneo (es vítreo). La aleurona es una capa de células simples localizadas entre el endospermo y el pericarpio y cubre completamente al endospermo y al germen (Rojas, 2001).

En la tabla 1.1 se muestra la distribución ponderal de las principales secciones del grano de maíz.

Tabla 1.1 Porcentaje de distribución ponderal de las partes principales del grano de maíz.

Estructura	Porcentaje (%)
Pericarpio	5 – 6
Aleurona	2 – 3
Endospermo	80 – 85
Germen	10 - 12

Fuente: FAO, 1993.

1.1.4 Composición química del grano de maíz.

La composición química proximal promedio de la materia seca del grano de maíz entero se presenta en la tabla 1.2, en la tabla 1.3 se muestra la composición química proximal de las principales partes de los granos de maíz, puede vear de acuerdo a la bibliografía, debido a que existen diferencias entre las variedades de grano existentes (Rojas, 2001).

Tabla 1.2 Composición química proximal promedio del grano de maíz entero (base seca).

Componente	Porcentaje (%)
Almidón	74.40
Grasa	4.70
Proteína	9.60
Cenizas	1.43
Azúcares	1.94
Fibra	9.93

Fuente: Reyes. 1990

Tabla 1.3 Composición química proximal de las partes principales partes anatómicas del grano de maíz (%)

Componente	Pericarpio	Endospermo	Germen
Almidón	7.30	87.6	8.30
Proteína	3.70	8.00	18.4
Extracto etéreo	1.00	0.80	33.2
Azúcar	0.34	0.62	10.8
Fibra cruda	86.7	2.70	8.80
Cenizas	0.80	0.30	10.5

Fuente: FAO, 2001

1.1.4.1 Almidón

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 73 % del peso del grano. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: la amilosa y la amilopectina. La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa, que constituye hasta el 30 % del almidón. El polímero amilopectina también consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye hasta el 75 % del almidón. La composición del almidón viene determinada genéticamente (Boyer y Shannon, 1987).

1.1.4.2 Proteínas

Las proteínas que predominan en el maíz son las prolaminas y de este grupo la zeína representa el 50 % del total de las proteínas, siguiéndole en importancia las globulinas. Las proteínas insolubles (prolaminas y gluteninas) se consideran como proteína de reserva (Santos *et al.*, 2014).

1.1.4.3 Lípidos

Estos compuestos representan alrededor del 4.8 % del peso total del grano. El germen es la parte del grano donde se localiza la mayor parte de los lípidos, constituyendo aproximadamente el 80 %. (Rojas, 2001) Se encuentran principalmente como triglicéridos de ácidos grasos y los principales son el ácido linoleico (59 %), oleico (27 %) y palmítico (12 %).

1.1.4.4 Azúcares libres

Son principalmente sacarosa, glucosa y fructosa en cantidades de 1-3 %. Los azúcares se han encontrado en todo el grano, sin embargo se ha comprobado que el embrión y germen contienen el 70 % del azúcar total (Hoseney, 1991).

1.1.4.5 Fibra cruda

La celulosa forma las paredes de las células. El pericarpio se compone de 40 % de celulosa y 40 % de hemicelulosa. La fibra cruda se encuentra en el pericarpio del 41-46 % del total. (Hoseney, 1991).

1.2 Proceso de nixtamalización

1.2.1 Nixtamalización

La nixtamalización es un proceso desarrollado por los mayas y los aztecas, para transformar el maíz en tortilla (Salazar *et al.*, 2014). Este proceso termo-alcalino hace que el maíz tome una consistencia suave que permite convertirlo en masa a través de la molienda y el color que adquiere es blanco u amarillento dependiendo del maíz utilizado (Vélez-Medina, 2004).

Salazar *et al.*, (2014), define al proceso de nixtamalización como la cocción del maíz en una solución de hidróxido de calcio para la producción de tortillas y otros productos relacionados; la cocción alcalina y el remojo provocan la disolución y el hinchamiento de las capas del pericarpio, esto hace que las paredes celulares y la fibra dietaria de esta parte del grano se remueva, disminuyendo el contenido de fibra insoluble, sin embargo, en durante el remojo la fibra dietaria soluble pasa de 0.9 % en el maíz a 1.3 % en la masa.

1.2.2 Elaboración del nixtamal

El grano es sometido a cocción por medio de un proceso termo-alcalino, el cual consiste en la cocción de los granos de maíz en una solución de hidróxido de calcio (0.3-2.0 g/100 g), seguido de un período de remojo que va de 12-16 horas. Después de la maceración y/o reposo, el nejayote es decantado y el grano de maíz nixtamalizado se lava para remover el exceso de cal antes de ser sometido a molienda para obtener la masa y elaborar las tortillas. Este proceso es responsable de cambios en las características físicas, químicas, nutricionales y sensoriales de productos a base de maíz nixtamalizado (Salazar *et al.*, 2014).

La nixtamalización de igual forma es responsable de importantes características fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales de los productos del maíz incluidos el retiro de pericarpio, la incorporación de calcio dentro del núcleo, mejorar la biodisponibilidad de la niacina y la formación de compuestos de sabor y color que imparten características organolépticas típicas al producto (Gutiérrez-Cortez *et al.*, 2007)

1.2.3 Cambios físicos y químicos durante el proceso de nixtamalización

Durante el proceso de nixtamalización ocurren una serie de cambios en los componentes del grano de maíz que contribuyen a darle las características propias de textura a la masa y tortilla. Estos cambios dependen de la hidratación del maíz durante el proceso termo-alcalino (nixtamalización) que está directamente relacionado con el tiempo y la temperatura de cocción, así como la concentración de hidróxido de calcio y la variedad de maíz utilizado (Contreras-Jiménez *et al.*, 2014).

El tratamiento alcalino que se le da al grano de maíz origina que la cantidad de calcio incorporado en el grano durante el proceso sea muy importante por diversas razones, entre ellas está el aporte o valor nutricional que le confiere al producto (Valderrama-Bravo *et al.*, 2010), además el almidón, que es el componente que se encuentra en mayor proporción en este cereal, genera cambios físicos y químicos durante el proceso de nixtamalización de manera importante con respecto a las condiciones que se trabajen durante el proceso; estos cambios influyen directamente en las propiedades de la tortilla, la cual presenta una red estructural formada por los gránulos de almidón gelatinizados durante la cocción de los granos (Salinas *et al.*, 2003).

Por otro lado, la dureza del grano determina en gran medida el tiempo de nixtamalización requerido por un maíz para obtener una masa con características de calidad adecuadas para la elaboración de tortillas, de manera que los maíces duros requieren tiempos de cocción más prolongados que los suaves. En los maíces duros, el acceso del agua y los agentes gelatinizantes generados durante la cocción (como los arabinosilanos (arabinosa-xilosa) que son polisacáridos no amiláceos con capacidad gelificante), hacia el gránulo de almidón se dificulta más que en los maíces suaves, ya que estos se encuentran en una densa matriz proteínica y completamente rodeados por numerosos cuerpos de zeína, lo que le confiere al endospermo una estructura sólida y compacta. Por lo que el tiempo de cocción es importante, ya que el objetivo del proceso termo-alcalino es lograr la parcial gelatinización de los almidones que permita que la masa adquiera las propiedades de adhesividad y cohesividad necesarias para la elaboración de productos nixtamalizados (Solano, 2001).

Algunas características que repercuten en los cambios físicos y/o químicos de las masas nixtamalizadas son por influencia de los siguientes factores:

a) Estructura del gránulo de almidón

El almidón existe en forma de estructuras complejas semicristalinas dentro del grano, está compuesto por dos biopolímeros, de diferente estructura: la amilopectina es la responsable del fenómeno de gelatinización y de la forma del gránulo de almidón, el cual consiste de áreas cristalinas (cristales, micelas) y no cristalinas (amorfos, fase gel), arregladas en capas concéntricas (Fig. 1.2). Las capas cristalinas están formadas por dobles hélices de las ramificaciones de la amilosa, mientras que los puntos de ramificación están en las zonas amorfas (Rodríguez- Sandoval *et al.*, 2005) y la amilosa que tiene una gran tendencia a retrogradar, por lo que es considerada la principal causa de deterioro a corto plazo (endurecimiento).

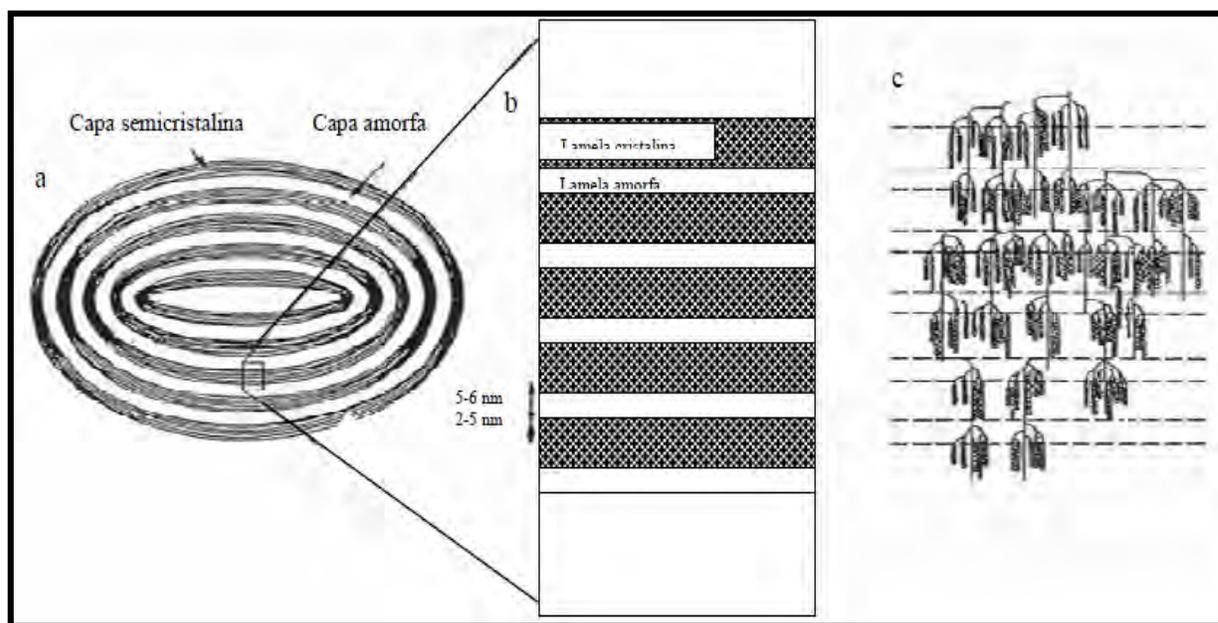


Fig. 1.2 Representación de la estructura granular del almidón: (a) Gránulo con capas amorfos y semicristalinas, (b) Vista ampliada de la capa semicristalina de un anillo creciente, (c) Estructura de la amilopectina dentro de una capa semicristalina (Rodríguez- Sandoval *et al.*, 2005).

Los fenómenos de gelatinización y retrogradación determinan las características reológicas y funcionales de productos que contengan dentro de su estructura este componente (Salinas-Moreno *et al.*, 2003).

b) Gelatinización del gránulo de almidón

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 nixtamalizado desarrollan buena consistencia al gelatinizar, mientras que aquellos que no gelatinizan en los sistemas continuos de amilosa, amilopectina y proteínas forman masas cohesivas (Rojas, 2001).

c) Retrogradación del gránulo de almidón

Es un fenómeno en donde los polímeros solubles del almidón y los fragmentos insolubles se reasocian después del calentamiento (Fig. 1.3). Eventualmente se forman cristales acompañados por un incremento gradual en la rigidez y la separación de fases entre el polímero y el solvente conocido como sinéresis, afectando la textura y vida útil del maíz y sus subproductos (Agama *et al.*, 2004; Rodríguez- Sandoval *et al.*, 2005).

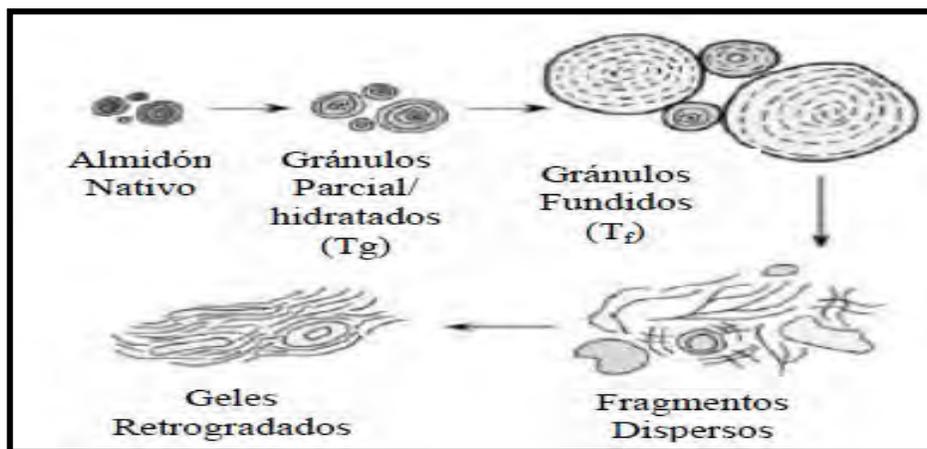


Fig. 1.3 Representación de los cambios en el almidón durante el calentamiento en exceso de agua (Rodríguez- Sandoval *et al.*, 2005).

1.2.4 Masa

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). Según Rodríguez *et al.*, (2005) la define como 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, proteínas y lípidos.

1.3 Tortilla

1.3.1 Definición

La tortilla, es una preparación alimenticia hecha con masa de maíz nixtamalizado. Tiene forma circular y aplanada. Se utiliza para elaborar diversas preparaciones alimenticias. Su origen es mesoamericano, pero se emplean como alimento en otros países de igual forma (Figueroa *et al.*, 1994).

La masa para la producción de tortillas y algunos otros alimentos se obtiene al someter a los granos de maíz al proceso de nixtamalización. Las tortillas de maíz son consideradas el alimento básico más importante para la población mexicana. En México, las tortillas representan el 47 % de la ingesta media de calorías (Acosta-Estrada *et al.*, 2014).

1.3.2 Proceso de elaboración de tortilla

El maíz es el cereal que más se produce y consume en México. Se utiliza sobre todo para la fabricación de tortillas, que sigue siendo uno de los productos más importante en la dieta de los mexicanos (Salazar *et al.*, 2014).

En México y varios países de América Central, se consume maíz principalmente como tortillas (Valderrama-Bravo *et al.*, 2015), que se preparan a partir de masa o harina obtenida por la cocción de los granos de maíz con cal (Quintanar-Guzmán *et al.*, 2009).

El proceso para la elaboración de tortillas de maíz utilizando en la actualidad tiene como base el método tradicional de nixtamalización, el cual consiste en la cocción alcalina del grano, a una temperatura inferior al punto de ebullición del agua. Durante el cocimiento y/o nixtamalización el grano es sometido a cocción por medio de un proceso termo-alcalino, el cual consiste en la cocción de los granos de maíz en una solución de hidróxido de calcio (0.3-2.0 g/100 g), seguido de un período de remojo o reposo que va de 12-16 horas (Salazar *et al.*, 2014). El nixtamal obtenido se separa del líquido de cocción (nejayote), se lava de dos a tres veces para remover el pericarpio y exceso de cal. Posteriormente el grano obtenido se somete a una molienda, la cual se realiza agregando al maíz agua dando origen a la obtención de masa, finalmente se moldea y calienta para dar paso a la formación de la tortilla. Las tortillas son

cocidas a temperaturas que varían de 280 a 302 °C en hornos en los cuales el tiempo de residencia es de 20 a 40 segundos, a una presión de 1 atmósfera. Cada lado de la tortilla es cocido dos veces por un período aproximado de 15 segundos. Durante el horneado se producen pérdidas de humedad de 10 a 12 %, al salir del horno la tortilla debe tener una temperatura de entre 70-75 °C.

1.3.3 Composición química de la tortilla.

De acuerdo a la NOM-187-SSA1/SCFI-2002 (Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan), la tortilla es el producto elaborado con masa que puede ser mezclado con ingredientes opcionales sometido a cocción.

Tabla 1.4 Composición química de la tortilla en base seca.

Tortilla de maíz (MASECA)	
Proteína	10.40 %
Carbohidratos	78.00 %
Lípidos	4.60 %
Fibra cruda	4.00 %
Minerales	0.90 %
Vitaminas	0.60 g/kg
Calcio	0.19 g/kg

Fuente: Rojas, 2001

1.4 Nejayote

En México, la industria de la tortilla genera 14.4 millones de m³ de nejayote anuales, lo que representa alrededor de 422 000 toneladas de sólidos de nejayote (Acosta-Estrada *et al.*, 2014).

1.4.1 Definición

El nejayote es un desecho altamente contaminante ya que es una solución alcalina (pH>12) generado por el proceso de nixtamalización (Acosta-Estrada *et al.*, 2014); el nejayote tiene altas concentraciones de materia orgánica en suspensión y solución debido al uso de hidróxido de calcio durante el proceso. Contiene 2.28 % de sólidos secos, que incluye parte del pericarpio, hemicelulosa, carbohidratos, proteínas, calcio, endospermo, fenoles y pigmentos responsables de su color amarillo (López, 2013).

1.4.1 Caracterización fisicoquímica del nejayote.

Valderrama-Bravo *et al.*, (2012) considera que el nejayote es un desecho dañino para el medio ambiente debido a su composición fisicoquímica (Tabla 1.5), ya que tiene una alta demanda biológica de oxígeno ($14\ 218 \pm 309$ mg/L), demanda química de oxígeno ($40\ 058 \pm 82$ mg O₂/L), sólidos totales suspendidos ($8\ 342 \pm 25$ mg/L) y alcalinidad total ($5\ 768 \pm 05$ mg/L CaCO₃). Debido a la gran cantidad que se produce de este sub-producto (nejayote) durante el proceso de nixtamalización para la obtención de tortillas, en México es importante proponer alternativas de reutilización; Valderrama-Bravo *et al.*, (2012) propone tratar el nejayote por medio de filtraciones para separar los sólidos suspendidos para su reutilización ; así mismo Valderrama-Bravo *et al.*, (2015), evaluaron cambios químicos, texturales y viscoelásticos en masas nixtamalizadas con nejayote, determinando la viabilidad de nixtamalizar utilizando este residuo ya que se obtienen masas similares a la control, y con esto se representa un ahorro de agua potable y disminución de descargas al drenaje.

Tabla 1.5 Caracterización fisicoquímica del nejayote.

NEJAYOTE		
Análisis fisicoquímico	Resultado	Unidad
pH	11.39 ± 0.49	
Sólidos totales	2.28 ± 0.18	%
Sólidos sedimentables	> 100 000	μL/L
Sólidos suspendidos	$8\ 342.5 \pm 25.30$	mg/L
Turbidez	963.3 ± 6.6	NTU
Demanda biológica de oxígeno	$14\ 218.75 \pm 309.36$	mg/L
Demanda química de oxígeno	$40\ 058.14 \pm 82.22$	mg O ₂ /L
Densidad	$1\ 003.54 \pm 2.45$	Kg/m ³
Viscosidad	$0.002301 \pm 4.312 \times 10^{-5}$	Pa s
Conductividad eléctrica	$4\ 510 \pm 14.14$	μS/cm
Dureza	$5\ 768.67 \pm 0.46$	mg CaCO ₃ /L
Humedad	97.72 ± 0.26	%
Grasa	0.0082 ± 0.002	%
Cenizas	0.7672 ± 0.014	%
Proteína	0.1130 ± 0.007	%
Fibra	0.5810 ± 0.013	%
Carbohidratos	0.8628 ± 0.016	%
Calcio	$1\ 526 \pm 26.53$	mg/L

Fuente: Valderrama-Bravo et al., (2012).

1.5 Microbiología de granos de maíz y tortilla.

El maíz es uno de los cereales más cultivados a nivel mundial, sin embargo, este cereal se ve afectado por distintos factores bióticos, entre los que figuran las plagas y las enfermedades de origen viral, bacteriano y fúngico. Las bacterias, mohos y levaduras utilizan elementos nutritivos contenidos en el grano de maíz y en los subproductos para su crecimiento originando deterioro del grano y dando como resultado cambios en la apariencia en el grano y productos elaborados (Moreno, 1996).

Hongos del grano de maíz. Los mohos pueden dañar a los granos antes (mohos de campo) o después de la cosecha (mohos de almacén). Los mohos de campo son aquellos que invaden las semillas durante su desarrollo en el campo y permanecen en el mismo en espera de ser cosechadas. Los mohos que predominan varían de acuerdo con la cosecha, localidad geográfica y el clima, pero en el maíz, trigo, arroz, cebada y avena, la mayoría corresponden a los géneros *Alternaria*, *Cladosporium*, *Hemilthosporium* y *Fusarium*. Los mohos de almacén son principalmente especies de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* (Rebuffel, 2010).

Uno de los problemas más importantes que provocan algunas especies de mohos (*Aspergillus* y *Penicillium*) es la producción de metabolitos secundarios llamados micotóxicas, consideradas altamente tóxicas como las aflatoxinas; debido principalmente a condiciones de temperatura y humedad favorables para el desarrollo de estos mohos (Rebuffel, 2010), o bien por las inadecuadas condiciones de cosecha, transporte, almacenamiento y procesamiento del producto (Moreno-Martínez, 2009). La contaminación en maíz es debido a la presencia de numerosas especies de mohos productores de micotoxinas que originan enfermedades al hombre y animales domésticos; sin embargo, los géneros más importantes en la contaminación de granos y semillas son: *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*; esta contaminación puede ocurrir en cualquier punto de la cadena de producción (Reyes-Escobedo *et al.*, 2006).

Microbiología de tortillas de maíz. Según Flores y Villagran, (2014) la cantidad de microorganismos presentes en la tortilla se debe a la presencia de diversos microorganismos que ocasionan una degradación al producto. Esta comienza con la presencia de bacterias ya que se desarrollan al momento de hidratar la masa, llevando a cabo sus procesos metabólicos para sus

requerimientos fisiológicos, sin embargo, otros microorganismos que afectan la vialidad de la masa son los mohos y levaduras, ya que estos presentan más resistencia al soportar bajos contenidos de Aw, una característica que no tienen las bacterias, además de que estos (levaduras y mohos) no se ven influenciados por la temperatura continuando con su desarrollo y reproducción constante, provocando degradación del producto. De acuerdo con investigaciones la disminución de microorganismos se debe al cambio en el proceso de nixtamalización, es decir, al nixtamalizar reutilizando el nejayote además de incrementar los iones calcio, se tiene un incremento en el pH (10 – 14), lo que ayuda a la inhibición de microorganismos (Flores y Villagran, 2014).

Es de gran importancia cuantificar los mohos y levaduras en los alimentos, puesto que al establecer la cuenta de estos microorganismos, permite su utilización como un indicador de prácticas sanitarias durante la producción y/o almacenamiento del producto, así como prevenir el uso de materia prima inadecuada (NOM-111-SSA-1994). La determinación de mohos y levaduras se lleva a cabo a partir de la siembra por diluciones de la muestra que se inoculan en placas vertidas de Papa Dextrosa Agar (PDA) y Agar Extracto de Malta (MEA) acidificados con ácido tartárico, para favorecer a los mohos y levaduras e inhibir bacterias.

Tabla 1.6 Especificación microbiológica de mohos y levaduras.

Producto	Límite
Harina de maíz y tortillas	10 -1000 UFC/ g ó ml

Fuente: NOM-111-SSA-1994

La determinación de mesófilos indica el grado de contaminación de una muestra y las condiciones que han favorecido o reducido la carga microbiana (Pierson y Smoot, 2001). Se lleva a cabo a partir de diluciones de una muestra, que se inocula en placas vertidas de agar triptona glucosa extracto o agar cuenta estándar. Las placas se incuban en condiciones de aerobiosis, a 35 °C durante 24 a 48 horas (NOM-092-SSA1-1994).

Tabla 1.7 Especificación microbiológica de mesófilos aerobios y coliformes.

Producto	Límite mesófilos	Límite de coliformes
Harina de maíz	100,000 UFC/ g ó ml	100 UFC/ g ó ml

Fuente: NOM-247-SSA1-2008.

1.6 Reología y textura

La información textural y reológica es importante en el diseño de procesos de transformación de alimentos, funcionalidad de ingredientes, control de calidad de productos intermedios y finales, pruebas de vida útil y en evaluaciones de propiedades texturales correlacionadas con pruebas sensoriales, entre otras (Rodríguez *et al.*, 2005). Las propiedades fisicoquímicas, reológicas y de textura en masa y la calidad final de las tortillas depende directamente tanto del tipo de maíz y las condiciones del proceso de nixtamalización. Los cambios de textura y comportamiento reológico de los productos con alto contenido de almidón se asocian principalmente con los fenómenos de la gelatinización del almidón y la retrodegradación (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2015).

1.6.1 Reología de masas

La reología de los alimentos es el estudio de la deformación y flujo de materia; la masa pertenece a un grupo de materiales viscoelásticos 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. Como sabemos la masa es 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 de la interacción almidón-proteína son las fuerzas de Van der Waals y los puentes de hidrógeno covalentes (Quintanar-Guzmán *et al.*, 2009) ya que durante la cocción del grano de maíz se forman enlaces cruzados (puentes de hidrógeno) entre el almidón y las proteínas de tal forma que estos se unen a través de una combinación de enlaces covalentes y no covalentes para formar una red tridimensional entre gránulo de almidón y las proteínas confiriendo firmeza y elasticidad a la masa (MacRiche, 1992).

1.6.2 Viscoelasticidad

El conocimiento de las propiedades viscoelásticas es muy útil ya que nos ayuda a entender la interrelación entre la estructura de un sistema y la respuesta mecánica lineal de las macromoléculas. Mientras más completa y resistente es a la ruptura, más pronunciada es su elasticidad y mientras más fácil se rompa su estructura, menor es su comportamiento viscoso.

Dentro de las propiedades viscoelásticas de estos materiales medidos en intervalos de esfuerzos y deformaciones de los cuales existen dos tipos, aquellos considerados como:

- a) **Viscoelásticos lineales (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.
- b) **Viscoelásticos no lineales (No Hookeano).** Estos materiales exhiben propiedades mecánicas que son función del tiempo y de la magnitud del esfuerzo aplicado (Van Vliet, 2013).

El principio básico de la reología de sólidos es la Ley de Hooke, que define el sólido ideal como aquel que se deforma instantáneamente y de forma proporcional a la magnitud de la fuerza aplicada y se recupera totalmente al instante de retirar la fuerza. En una prueba de esfuerzo relajación, la muestra se somete instantáneamente a una deformación constante y se registra el cambio de esfuerzo en función del tiempo. Las pruebas oscilatorias pueden conducirse en tensión, compresión o corte. Los instrumentos de análisis operan en el modo de deformación de corte, siendo el método predominante para la evaluación del comportamiento viscoelástico de los alimentos (Rodríguez-Sandoval *et al.*, 2005).

Las pruebas dinámicas oscilatorias se realizan aplicando una pequeña deformación (o esfuerzo) sinusoidal, midiendo el esfuerzo (o deformación) resultante y muestran como, al aplicar una deformación o velocidad de deformación en forma oscilatoria continua un esfuerzo constante o al aplicar un esfuerzo cortante de forma oscilatoria a una velocidad de deformación fija, aparece una onda sinusoidal de esfuerzo. Para llevar a cabo este tipo de prueba dinámica de viscoelasticidad se utiliza un reómetro (Fig. 1.4), en el cual es factible determinar la región viscoelástica lineal de la muestra, empleando generalmente platos paralelos y una oscilación sinusoidal a bajas deformaciones (<1 %).



Fig. 1.4 Reómetro.

Con este método es posible determinar las propiedades viscoelásticas de las masas dependientes de la frecuencia, y los resultados son expresados como el módulo de almacenamiento (G'), el módulo de pérdida (G'') y la tangente del ángulo de fase ($\tan \delta$) (Magaña-Barajas *et al.*, 2009).

El módulo de almacenamiento G' (Pa), ha sido definido como el esfuerzo en fase con la deformación, dividida por la deformación, en una prueba sinusoidal y representa una medida de energía recuperada y almacenada por el material en un ciclo o la energía almacenada y liberada por cada ciclo, y relaciona los eventos moleculares de la naturaleza elástica, es decir, es el indicador del componente elástico del material. Es una función de la frecuencia y se expresa como:

$$G' = \frac{\sigma_0}{\gamma_0} \cos \delta \quad \text{Ec. (1.1)}$$

Donde:

σ_0 : Amplitud del esfuerzo de corte (N/m^2)

γ_0 : Amplitud de la deformación (adimensional)

δ : Ángulo de desfasamiento (radianes).

El módulo G'' (Pa), es el módulo de pérdida y se define como el esfuerzo desfasado 90° respecto a la deformación, dividida por la deformación. En una prueba de deformación sinusoidal: este parámetro es una medida de la energía disipada como calor por ciclo y relaciona los eventos moleculares de naturaleza viscosa.

$$G'' = \frac{\sigma_0}{\gamma_0} \sin \delta \quad \text{Ec. (1.2)}$$

Otra función empleada para describir el comportamiento viscoelástico $\tan \delta$ (ángulo de desfasamiento), el cual describe los efectos de los componentes viscosos y elásticos en el comportamiento viscoelástico y también es una función de frecuencia angular.

$$\tan \delta = \frac{G'}{G''} \quad \text{Ec. (1.3)}$$

Como ya se mencionó este parámetro describe los componentes viscosos y elásticos por lo que este parámetro adimensional no indica la relación entre la cantidad de energía perdida y la energía almacenada por el material en un ciclo de deformación (Magaña-Barajas *et al.*, 2009). Investigaciones en propiedades reológicas de soluciones poliméricas han mostrado que hay correlación entre las funciones que describen las propiedades dinámicas, tal como la viscosidad compleja y las que caracterizan las propiedades de flujo, como la viscosidad aparente que relaciona el esfuerzo y la velocidad de corte (Rodríguez-Sandoval *et al.*, 2005).

1.6.2.1 Propiedades viscoelásticas de masas

Ensayos han determinado que el comportamiento elástico de la masa se ubica dentro de un intervalo de 0 a 2 % de su deformación, según Rodríguez-Sandoval *et al.*, (2005), comparándolo con el gluten de trigo que exhibe el mismo comportamiento a deformaciones mayores; concluyó que el almidón influye en el comportamiento viscoelástico del material de modo que los módulos de pérdida y almacenamiento de la masa (G' , G'') 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.

Vázquez-Carrillo *et al.*, (2015) evaluaron propiedades viscoelásticas de masas de maíz nixtamalizado con un reómetro con sistema de placas paralelas de 25 mm de diámetro, utilizando muestras de 3 g de masa con 50 g/100 g de humedad, manteniendo una temperatura de 25 °C. La región viscoelástica se determinó con una amplitud de 0.01 a 10 % de esfuerzo a una frecuencia de 1 Hz. La amplitud de barrido mostró que la región viscoelástica para la masa fue entre 0.01 y 1 %. Por lo que el valor tomado fue de 0.1 % constante de esfuerzo. Posteriormente se realizó un barrido de frecuencia de 0.1 a 10 Hz a 0.1 % de esfuerzo. Los resultados mostraron que entre los parámetros viscoelásticos: módulo de almacenamiento (G') y el módulo de pérdida (G''), hay diferencias significativas entre los seis tipos de masa, sin embargo, a cualquier frecuencia empleada el módulo viscoelástico G' siempre fue mayor que el módulo G'' y de acuerdo con bibliografía, este comportamiento ($G' > G''$) es característico de geles de almidón.

Reyes *et al.*, (2008), realizaron un análisis reológico, basado en pruebas dinámicas de masa de maíz nixtamalizado para observar y analizar el comportamiento viscoso y elástico del material. El análisis se efectuó realizando un barrido de esfuerzos contra el módulo de almacenamiento (G') y módulo de pérdida (G'') para establecer una zona lineal (zona donde el material no ha sufrido daño en su estructura), seguido de un barrido de frecuencias (dentro de la zona viscoelástica lineal), donde se analiza la masa nixtamalizada, el cual resultó un gel fuerte, según especificaciones de $G' > G''$.

1.6.3 Compresión uniaxial.

La compresión uniaxial simple es el tipo de prueba fundamental más usado en alimentos, mide esfuerzos y deformaciones con cargas de fuerza específicas. El esfuerzo, definido como una fuerza sobre unidad de área y expresado generalmente en Pa (N/m^2), puede producirse por tensión, compresión o corte, mientras que la deformación, medida adimensional es el cambio de longitud del material cuando se aplica un esfuerzo. Cuando se aplica una pequeña deformación (o esfuerzo), y se mide el esfuerzo (o deformación) resultante, se hace referencia a una prueba dinámica oscilatoria (Rodríguez-Sandoval *et al.*, 2005).

El ensayo de compresión uniaxial consiste en comprimir lentamente la muestra y anotar continuamente la evolución simultánea de la deformación del producto y del esfuerzo ejercido para obtener esta deformación, como se muestra en la Fig. 1.5 (Roudot, 2004).

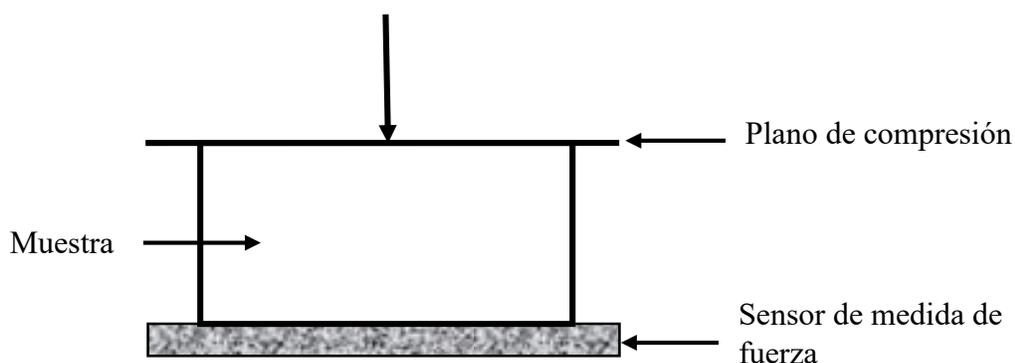


Fig. 1.5 Esquema del principio de compresión uniaxial

Generalmente, un pequeño cilindro es comprimido entre dos placas paralelas por una máquina adecuada para este fin. Dependiendo de la manera en que se lleva a cabo la compresión se pueden obtener datos relacionados con el módulo de Young (ϵ), el esfuerzo y la deformación de fractura y la combinación de estos parámetros (ver Fig. 1.5). El Modulo de Young es una relación entre los esfuerzos y deformaciones longitudinales bajo acción de una carga uniaxial. Este efecto obedece a la propiedad elástica del material al estar sometido a los esfuerzos compresivos y se puede representar matemáticamente de acuerdo a la ecuación 1.4 (Aranda, 2012).

$$\epsilon = \frac{\text{Esfuerzo aplicado}}{\text{Deformación normal}} = \frac{F/A}{L_0/\Delta L} \quad \text{Ec (1.4)}$$

La fuerza es calculada como función de un intervalo de deformación constante, la deformación de compresión (ϵ) es dada por el cambio de la longitud de la muestra dividido por la longitud original ($\Delta L/L_0$). El esfuerzo nominal (σ) se calcula dividiendo la fuerza (F) entre el área ($A = \pi R^2$) del alimento en cuestión (Van Vliet, 2013).

La resistencia mecánica desarrollada por la muestra en respuesta a la deformación impuesta se registra por el equipo. La medición depende de la velocidad de desplazamiento, de la superficie de compresión y de la temperatura (Castañeda, 2002). La prueba de laboratorio de compresión para encontrar la resistencia a la compresión en un sistema se puede observar en la Fig. 1.6.

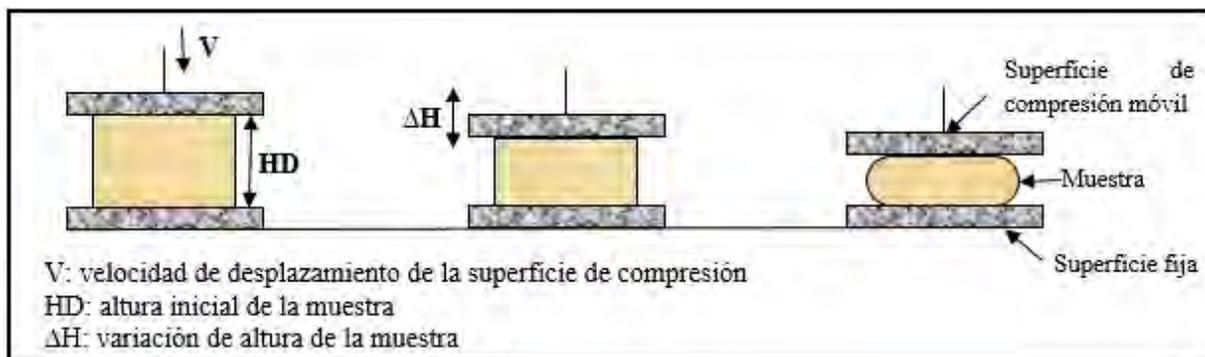


Fig. 1.6 Prueba de compresión uniaxial.

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.

En un gráfico de esfuerzo-deformación (Fig. 1.7) 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 punto máximo de esfuerzo.

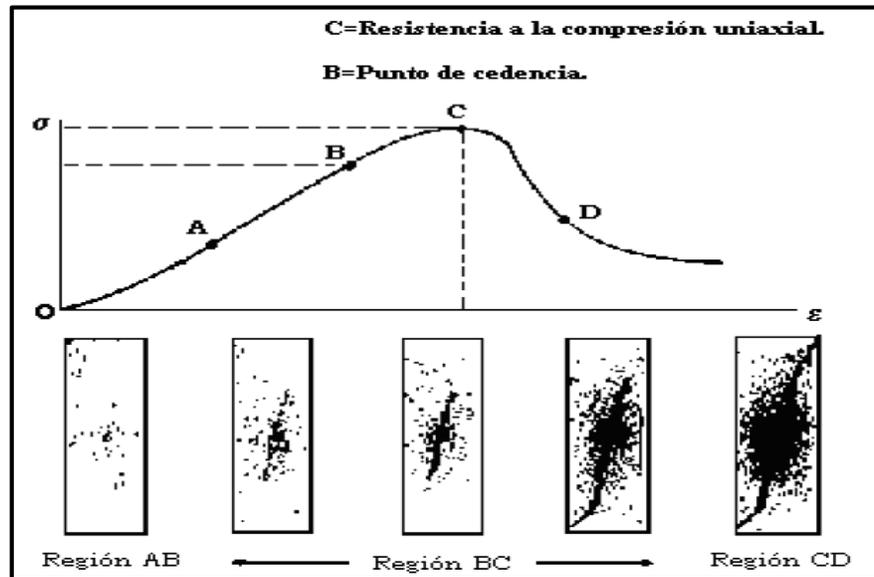


Fig. 1.7 Curva de compresión uniaxial a velocidad constante

En la Fig. 1.7 se muestra el resultado de una prueba uniaxial resultando en una gráfica de esfuerzo deformación. La curva presente diferentes regiones: el esfuerzo en el punto C es definido como la resistencia a la compresión uniaxial y es el máximo esfuerzo que un material en particular puede soportar sin que este sufra una fractura.

De acuerdo con la Fig. 1.7 se establece: En la región OA y AB el núcleo exhibe un comportamiento esencialmente elástico, es decir el esfuerzo aplicado genera una deformación mientras este continúe actuando. 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 esta región siempre induce a una deformación permanente. La región CD es definida como la región quebradiza o dúctil (dependiendo del tipo de material), en donde la habilidad del material de mantener una carga decrece con el incremento de la deformación. La formación de microfisuras en las diferentes regiones contribuye al debilitamiento de matriz del sistema. El comportamiento de la curva de esfuerzo-deformación depende de la composición del material (Acevedo, 2009).

1.7 Textura de tortillas.

La textura es un factor de calidad y aceptabilidad sensorial importante para la aprobación de algunos alimentos por parte del consumidor.

Las propiedades texturales de un alimento son un conjunto de características físicas que dependen de los elementos estructurales del material, que se relacionan con la deformación, desintegración y flujo por aplicación de una fuerza. Una propiedad importante del alimento que se asocia con la textura es su comportamiento reológico (Rodríguez-Sandoval *et al.*, 2005), la evaluación de textura se lleva a cabo mediante pruebas subjetivas y pruebas objetivas con el fin de monitorear los cambios en un alimento.

Cuando hablamos de la textura de la masa, debemos pensar en que esta debe ser lo suficientemente adhesiva para pegarse ligeramente en los rodillos de la máquina tortilladora y separarse de forma adecuada. Si el maíz está sobre procesado (altamente cocido), la masa es pegajosa y se adhiere fuertemente en los rodillos; por el contrario si el maíz está sub-cocido produce una masa poco cohesiva, inadecuada para la formación de una tortilla, (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2015) por lo que las condiciones del proceso de nixtamalización y molienda son de suma importancia, ya que durante este proceso pequeñas cantidades de gránulos de almidón son gelatinizados y la mayor gelatinización se debe a la fricción durante la molienda, en la cual también se dispersan principalmente los gránulos hinchados dentro de la matriz, los que actúan como un pegamento que mantiene unidas las partículas de masa, sin embargo, grandes cantidades de almidón gelatinizado (debido a un cocimiento excesivo) produce una masa pegajosa que es difícil de manejar, por eso las condiciones establecidas de nixtamalización son de importancia de manera que haya una cocción adecuada en relación a la dureza de los granos de maíz a nixtamalizar para de esta forma obtener una masa cohesiva para dar origen a tortillas de textura apropiada. (Bello *et al.*, 2002).

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 retrogradación 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 el producto comienzan los cambios estructurales entre el almidón, proteínas, fibras y otros componentes químicos (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2015) confiriéndole características indeseables ya que los consumidores prefieren tortillas suaves. Generalmente durante su consumo, la tortilla se dobla, enrolla y rellena (debe soportar peso sin romperse), por lo que las pruebas de textura deben simular su respuesta a estas operaciones ya sea subjetivamente (mediante una panel de jueces) o utilizando métodos instrumentales. Para el caso de análisis de tortilla se lleva a cabo por método de extensibilidad en donde se simula la manipulación que sufre la tortilla durante su consumo, determinando propiedades de elasticidad y textura. Con la aplicación de estos métodos en el estudio de textura en masa y tortilla se obtienen datos que son de utilidad en la mejora de condiciones en el proceso de producción de tortilla a nivel industrial.

1.7.1 Pruebas objetivas.

Las mediciones objetivas se obtienen a partir de métodos instrumentales bajo condiciones específicas de control, además de que es preferible el uso de este tipo de pruebas ya que en los resultados se hace más evidente el cambio de textura de acuerdo a las variaciones en su formulación o cambio de condiciones de proceso que afectan a las características de textura del producto. Estas pruebas pueden ser utilizadas para caracterizar o para monitorear las características de calidad en las tortillas, como son la extensibilidad, tensión, corte, entre otras (Rojas, 2001).

1.7.1.2 Extensibilidad.

El dispositivo de extensibilidad consta de una base de acero inoxidable que tiene en la parte superior un orificio circular y unos tornillos en las esquinas sobre los cuales se inserta la tortilla de manera que queda tensa. Se coloca sobre ella un marco que tiene un orificio y se fija a los tornillos por medio de una tuerca para mantener los tornillos sin movimiento.

El texturómetro se opera en el modo de compresión, y un cilindro de acrílico y/o metal comprime la tortilla hasta romperla como se observa en la Fig. 1.8 (Gasca y Casas, 2007). Esta prueba trata de simular la manipulación que sufre la tortilla durante su consumo, se determinan

las propiedades de elasticidad y firmeza de las tortillas, las cuales se asocian con un producto recién elaborado, es decir, que es suave y flexible (Shuhendro *et al.*, 1999).



Fig. 1.8 Texturómetro SHIMADSU EZ-S.

1.7.2. Pruebas subjetivas.

Los métodos de análisis empleados en la industria de la tortilla son en su mayoría sencillos y subjetivos, en gran medida dependientes de la experiencia del operador. Estos pueden ser efectuados por un panel de jueces entrenados que establece valores netamente subjetivos para calificar la rolabilidad, suavidad, doblado y flexibilidad de la tortilla, sin embargo, pese a que los jueces son entrenados, los resultados de estas pruebas no son tan sensibles como los obtenidos empleando un método instrumental (Rojas, 2001).

Mediante este tipo de ensayos se busca conocer todos los atributos mecánicos, geométricos, superficiales y sensoriales de un producto, puesto que ellos mismos dependen de la estructura y composición química (Rosenthal, 2001).

1.7.2.2 Evaluación 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 y microbiológicos (Anzaldúa-Morales, 2005). La selección de alimentos por parte de los consumidores está determinada por los sentidos de la vista, olfato, tacto y gusto. Esta prueba de análisis es determinante en el desarrollo de nuevos productos alimenticios, reformulación de productos ya existentes, identificación de cambios causados por los métodos de procesamiento, almacenamiento y uso de nuevos ingredientes (Watts *et al.*, 2000). 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 y microbiológicos (Anzaldúa-Morales, 2005).

1.7.2.3 Tipos de pruebas

El análisis sensorial de los alimentos se lleva a cabo de acuerdo con tres diferentes tipos de evaluación según sea la finalidad para la que se efectúe. Existen tres tipos principales de pruebas: las afectivas, las discriminativas y las descriptivas (Anzaldúa-Morales, 2005).

a) Pruebas afectivas

Son aquellas en las cuales el juez expresa su reacción subjetiva ante el producto, indicando si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza o si lo prefiere a otro. Por lo general se realizan con paneles inexpertos o consumidores (Ibáñez, 2001). Para las pruebas afectivas es necesario contar con un mínimo de 30 jueces no entrenados y estos deben ser consumidores habituales o potenciales además de ser compradores del alimento en cuestión.

Este tipo de pruebas están orientadas al consumidor y pueden clasificarse en tres tipos: i) pruebas de preferencia, ii) pruebas de aceptabilidad y iii) pruebas hedónicas (grado de aceptación). Estas pruebas se consideran pruebas del consumidor, ya que se llevan a cabo con paneles de consumidores no entrenados. Aunque a los panelistas se les pide indicar directamente su satisfacción, preferencia o aceptación de un producto, a menudo se emplean pruebas hedónicas para medir indirectamente el grado de preferencia o aceptabilidad (Watts *et al.*, 2000).

- i. **Pruebas de preferencia.** En estas pruebas simplemente se desea conocer si los jueces prefieren una muestra sobre otra. La información que puede obtenerse con esta prueba es limitada pero tiene la ventaja de que se lleva a cabo rápidamente.
- ii. **Prueba de aceptación.** Este tipo de prueba implica que un alimento le guste a alguien, pero no quiere decir que esa persona vaya a comprarlo (Anzaldúa-Morales, 2005).
- iii. **Pruebas hedónicas (pruebas de grado de aceptación).** Se recurre a estas pruebas cuando se desea evaluar más de dos muestras a la vez o cuando se desea obtener mayor información acerca de un producto. Estas son intentos para manejar más objetivamente datos subjetivos como son las respuestas de los jueces acerca de cuanto les gusta o disgusta un alimento (Anzaldúa-Morales, 2005). Para este tipo de pruebas se utilizan escalas categorizadas, que pueden tener diferente número de categorías y que comúnmente van desde “me gusta muchísimo”, pasando por “no me gusta ni me disgusta”, hasta “me disgusta muchísimo”. Los panelistas indican el grado en que les agrada cada muestra, escogiendo la categoría apropiada (Watts *et al.*, 2000).

b) Pruebas Discriminativas

Son aquellas en las que no se requiere conocer la sensación subjetiva que produce un alimento a una persona, sino que se desea conocer si hay o no diferencia entre dos muestras. Estas pruebas son utilizadas en control de calidad (Anzaldúa-Morales, 2005). Para este tipo de pruebas pueden utilizarse jueces semi-entrenados cuando las pruebas son sencillas (Ibáñez, 2001). Las pruebas más comúnmente empleadas son:

- i. **Pruebas de diferencia:** Se diseñan para determinar si es posible distinguir dos muestras entre sí, por medio de análisis sensorial.
- ii. **Prueba de triángulo:** Este tipo de prueba es comúnmente utilizada para determinar si existen diferencias perceptibles entre dos muestra; diferencias de apariencia, olor, sabor o textura de los alimentos.
- iii. **Prueba de comparación pareada:** Es similar a la prueba de preferencia, excepto que a los panelistas se les pide que indiquen cuál de las dos muestras tiene mayor intensidad respecto a una característica específica, pero no se mide el tamaño de la diferencia.

- iv. **Prueba dúo-trío:** Se presentan tres muestras a los panelistas, una se identifica con una R, sirviendo como referencia; las otras dos se codifican con números aleatorios pidiendo al juez indicando cual se asemeja más a la muestra de referencia.

c) Pruebas de ordenamiento

En estas pruebas se trata de definir y medir las propiedades del alimento de la manera más objetiva posible. Este tipo de pruebas se puede utilizar para obtener información preliminar sobre las diferencias de productos o para seleccionar panelistas según su habilidad para discriminar entre las muestras con diferencias conocidas (Anzaldúa-Morales, 2005).

- i. **Pruebas de evaluación de intensidad con escalas:** En este tipo de pruebas se requiere que los panelistas evalúen la intensidad perceptible de una característica sensorial de las muestras, utilizando escalas lineales o escalas categorizadas. Estas pruebas de evaluación permiten ordenar las muestras de acuerdo al mayor o menor grado de intensidad de una característica (Watts *et al.*, 2000).

d) Pruebas descriptivas

Son similares a las pruebas de intensidad, sin embargo en este tipo de prueba los panelistas deben evaluar la intensidad de varias características sensoriales de la muestra en lugar de evaluar solo una de ellas. En estas pruebas, los panelistas entrenados hacen una descripción sensorial total de la muestra, incluyendo apariencia, olor, sabor, textura y sabor residual (Watts, 2000).

2. METODOLOGÍA

2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la reutilización de nejayote en la nixtamalización, con diferentes concentraciones de hidróxido de calcio sobre las propiedades reológicas, texturales, químicas y microbiológicas de tortillas para obtener un producto con calidad sanitaria y características sensoriales aceptadas para su consumo.

2.1.2 Objetivos particulares

- 1) Evaluar los cambios reológicos en masas nixtamalizadas a partir de la reutilización de nejayote y tres diferentes concentraciones de hidróxido de calcio (0.8, 1.0 y 1.2 %), mediante pruebas de viscoelasticidad y compresión uniaxial, respectivamente para compararlo con las masas nixtamalizadas tradicionalmente.
- 2) Determinar los cambios químicos (carbohidratos, lípidos, fibra cruda, humedad, proteína, cenizas, fenoles totales) y microbiológicos (mohos y levaduras) mediante un análisis químico proximal y método de recuento en placa agar respectivamente, en tortillas elaboradas con maíz nixtamalizado con nejayote para definir la calidad nutritiva y sanitaria.
- 3) Determinar los cambios de textura en tortillas nixtamalizadas con recirculación de nejayote a diferentes concentraciones de hidróxido de calcio mediante pruebas de extensibilidad para compararlo con tortillas nixtamalizadas tradicionalmente.
- 4) Evaluar las propiedades organolépticas de las tortillas, a través de la aplicación de un análisis sensorial a 30 jueces semientrenados por medio de pruebas hedónicas.

2.2 Materiales y métodos

El maíz empleado para la experimentación fue un maíz híbrido H-70, cruza de dos genotipos M54xM55 y CML-242, el cual fue donado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Chapingo, Estado de México. Las semillas de maíz fueron plantadas durante el ciclo Primavera-Verano de 2013 y cosechadas en noviembre del mismo año.

2.2.1 Actividades preliminares

2.2.1.1 Congelación del grano

Se almacenó todo el lote de maíz bajo condiciones de congelación ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) por un período de 5 días, con el fin de eliminar aquellos insectos que se encuentran en el interior del grano, ya que éstos no son visibles a simple vista.

2.2.1.2 Limpieza del grano.

Consistió en la separación y/o eliminación manual de los granos quebrados (granos que carecen de alguna de sus partes) y de las impurezas (cualquier tipo de material extraño distinto al grano de maíz, incluyendo olotes u otras partes de la planta, que pasaron a través del tamiz con un diámetro de abertura de 4.76 mm de diámetro) del lote completo de maíz (Fig. 2.1). Una vez limpio se almacenó el maíz bajo condiciones de refrigeración ($4\text{-}5\text{ }^{\circ}\text{C}$) para prevenir la infestación con plagas en la materia prima.

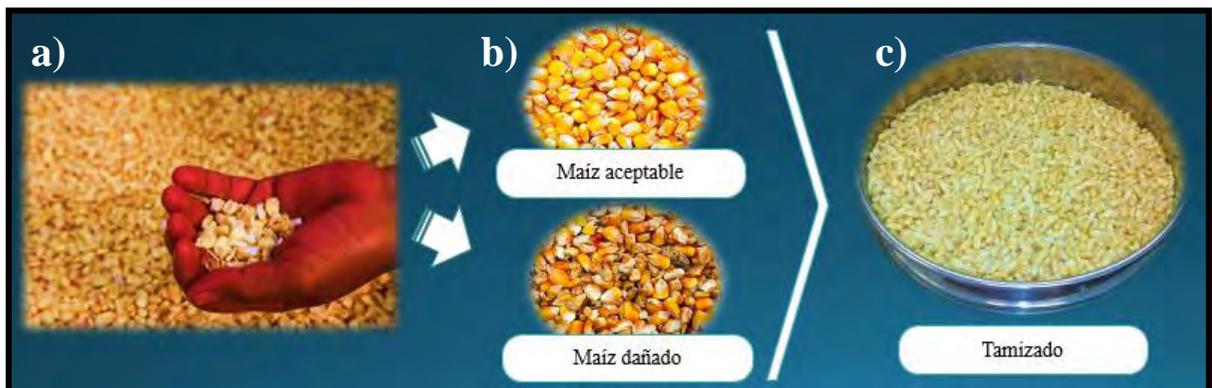


Fig. 2.1 Eliminación de impurezas del grano de maíz.

2.3 Caracterización del grano de maíz.

2.3.1 Tamaño del grano.

Los granos de maíz pueden diferir en su tamaño y forma respecto al largo, ancho y espesor, así como en la frecuencia de estos tamaños y formas en cada muestra, por lo que para la determinación de tamaño del grano, se tomó un lote de 100 granos de maíz limpio midiendo longitud, diámetro y espesor (Fig.2.2) utilizando un vernier con precisión de 0.1x10 cm, y diámetro medio geométrico (Dg) calculando por la Ec. 2.1, de acuerdo a Vilche *et al.*, 2003 haciendo replicas por triplicado.

$$Dg = \sqrt[3]{l * d * t} \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Dg= Diámetro medio geométrico (mm)

l= Longitud (mm)

d= Diámetro (mm)

t= Espesor (mm)

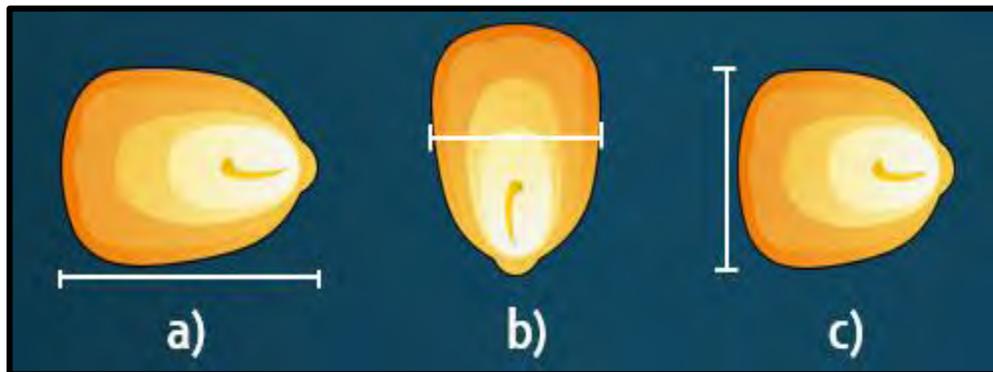


Fig. 2.2 Dimensiones del grano de maíz, a) longitud, b) diámetro, c) espesor.

2.3.2 Peso hectolítrico

Fundamento: Consiste en determinar la masa del grano por unidad de volumen.

Se colocó el recipiente de 1 L por debajo de la balanza, colocar los granos de maíz en el cono de la balanza (verificar que el paso este cerrado). Posteriormente se abre el paso del cono y se deja caer libremente el grano sobre el recipiente de 1 L de la balanza de peso hectolítrico marca OHAUS, se elimina el exceso de maíz con una regla sin hacer presión sobre el grano con tres movimientos en zig-zag, posteriormente se pesa el recipiente para determinar la masa específica del grano (Fig. 2.3), se realizó por triplicado con la misma variedad de grano y el resultado se reportó en hL.



Fig. 2.3 Determinación de peso hectolítrico del grano de maíz.

2.3.3 Índice de flotación.

Fundamento: 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 una solución de nitrato de sodio (NMX-034-SCFI-2002).

Se empleó una solución de nitrato de sodio, ajustada a una concentración de 41 % (la concentración puede variar de acuerdo a la pureza del reactivo) a una densidad de 1.25 g/mL (+/- 0.001 g/mL). Se colocó un volumen de 300 mL de la solución preparada en un vaso de 600mL agregando 100 granos limpios (libres de impurezas) a la misma solución. Se agitó la solución de nitrato de sodio con los granos y se deja en reposo por aproximadamente un minuto para tomar lectura (Fig. 2.4). El número de granos que ascendieron a la superficie es el porcentaje de índice de flotación y en base a la tabla 2.1 se determina el tiempo de cocción en el proceso de nixtamalización ya que está directamente relacionados el índice de dureza con el tiempo de nixtamalización. Se realizó por triplicado utilizando la misma variedad de maíz y el resultado se expresó en porcentaje.



Fig. 2.4 Determinación de índice de flotación del grano de maíz.

Tabla 2.1: Clasificación de los atributos de textura.

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

Fuente: (NMX-034-SCFI-2002).

2.3.4 Humedad por estufa, (Método 925.09, AOAC, 1998).

Fundamento: Se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua, la muestra se deseca en una estufa de aire hasta peso constante a una temperatura de 100 a 102 °C (Fig.2.5). Para esto se requiere que la muestra sea térmicamente estable y que no contenga una cantidad significativa de compuestos volátiles. El contenido de humedad es calculado por la Ec. 2.2.

$$\% \text{ de humedad} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100 \quad \text{Ec. (2.2)}$$

W₁= Peso inicial de la muestra (g)

W₂= Peso final de la muestra (g)

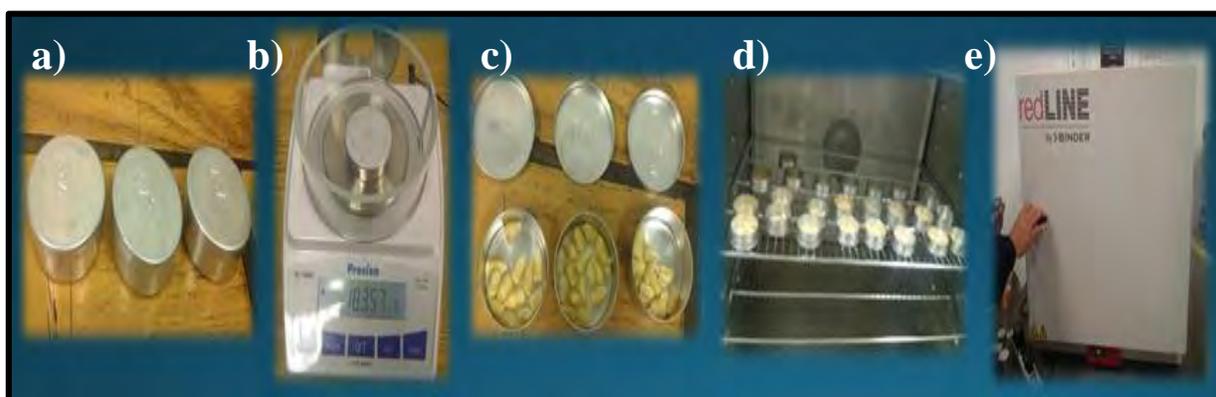


Fig. 2.5 Determinación de contenido de humedad del grano de maíz.

2.3.5 Micobiota de granos de maíz.

La determinación de mohos y levaduras se llevó a cabo a partir de la siembra de 50 granos de maíz los cuales fueron inoculados en placas vertidas de Papa Dextrosa Agar (PDA) y Agar Extracto de Malta (MEA) acidificados con tergitol, para favorecer a los mohos y levaduras e inhibir bacterias (Moreno-Matínez, 1988) como se muestra en la Fig. 2.6. Los granos se sembraron bajo condiciones de asepsia en una campana de flujo laminar (VECO ®), incubando las muestras a una temperatura de 25 °C por 1 semana. Posteriormente se cuantificaron e identificaron los mohos presentes en los granos de maíz.

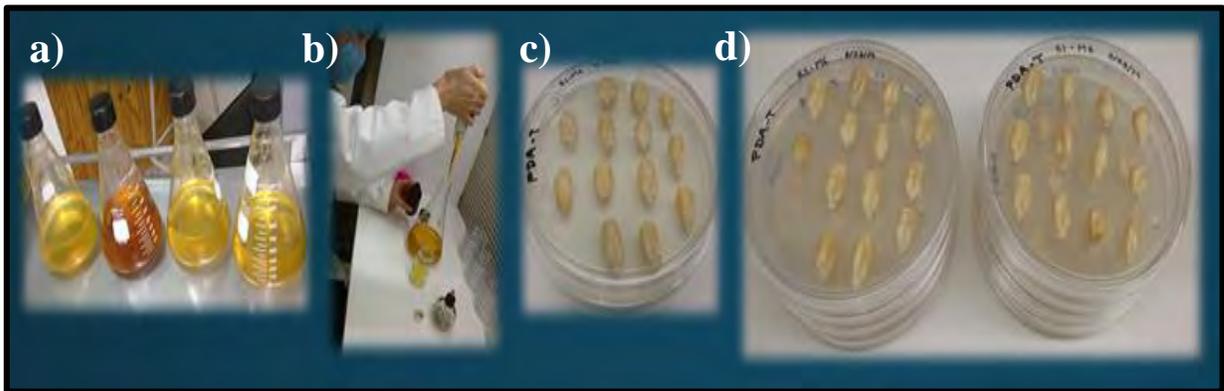


Fig. 2.6 Aislamiento hongos en granos de maíz por el método de placa agar.

2.4 Nixtamalización.

Para la obtención del maíz nixtamalizado se pesaron 600 g de maíz, se sometieron a cocción adicionando una solución de 1800 mL a diferentes concentraciones de hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (0.8, 1.0, 1.2 %), por un tiempo de 45 min a una temperatura de 90 °C. El nixtamal obtenido se dejó reposar por 12 horas; se separó del nejayote por medio de una filtración con ayuda de una coladera con abertura de 3 mm, los granos de maíz nixtamalizado se lavaron para eliminar los residuos de pericarpio que aún recubrían los granos y posteriormente someter el grano a molienda (ver Fig. 2.7).

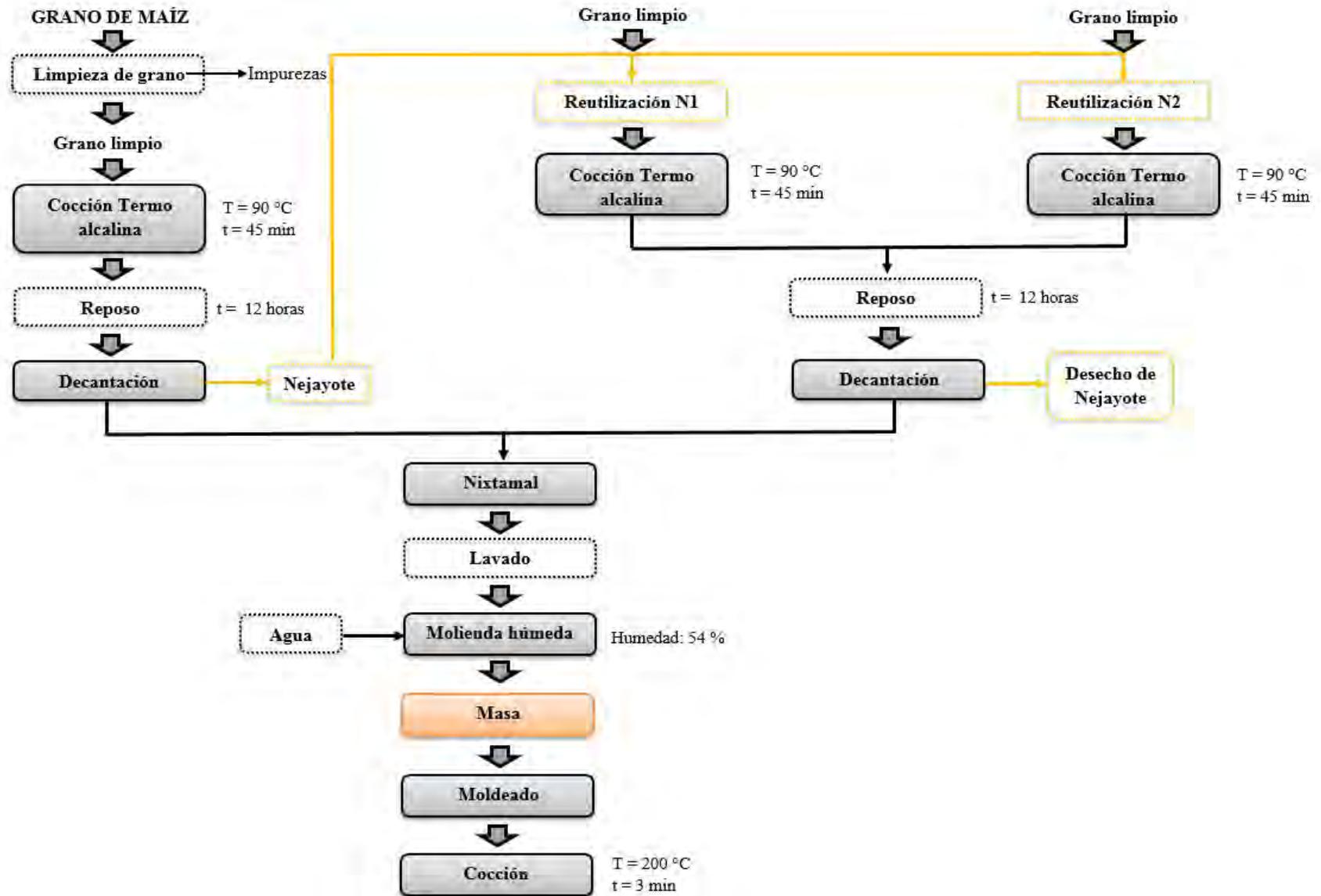


Fig. 2.7 Diagrama de proceso de nixtamalización de granos de maíz.

De las nixtamalizaciones realizadas se obtuvieron como resultado 9 muestras de masa, las primeras 3 muestras fueron de masa control (MC). Las siguientes 3 muestras fueron de masa nejayote 1 (MN1), siguiendo el procedimiento de la nixtamalización tradicional pero con una solución de 50 % de agua y 50 % de nejayote (obtenido de la nixtamalización de MC a sus respectivas concentraciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Finalmente se obtuvieron las 3 últimas muestras de masa nejayote 2 (MN2), siguiendo el procedimiento tradicional, esta vez utilizando 30 % agua y 70 % nejayote (Ver tabla 2.2).

Tabla 2.2. Condiciones para la elaboración de muestras de tortillas de maíz nixtamalizado y los códigos de identificación para masas y tortillas.

No. muestra	Concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (%)	Agua/Nejayote (mL/mL)	Código de masas	Código de tortillas
1	0.8	0	MC 0.8	TC 0.8
2	1.0	0	MC 1.0	TC 1.0
3	1.2	0	MC 1.2	TC 1.2
4	0.8	50 / 50	MN1 0.8	TN1 0.8
5	1.0	50 / 50	MN1 1.0	TN1 1.0
6	1.2	50 / 50	MN1 1.2	TN1 1.2
7	0.8	70 / 30	MN2 0.8	TN2 0.8
8	1.0	70 / 30	MN2 1.0	TN2 1.0
9	1.2	70 / 30	MN2 1.2	TN2 1.2

2.4.1 Obtención del nejayote

Una vez que pasaron 12 horas de reposo después de la nixtamalización se separó el sub-producto obtenido (Nejayote), midiendo su volumen para ser reutilizado en las nixtamalizaciones posteriores de granos de maíz para la obtención de masa y tortilla (Fig. 2.8). Ya que el volumen de nejayote obtenido está relacionado con la cantidad de agua absorbida por el grano durante el cocimiento.

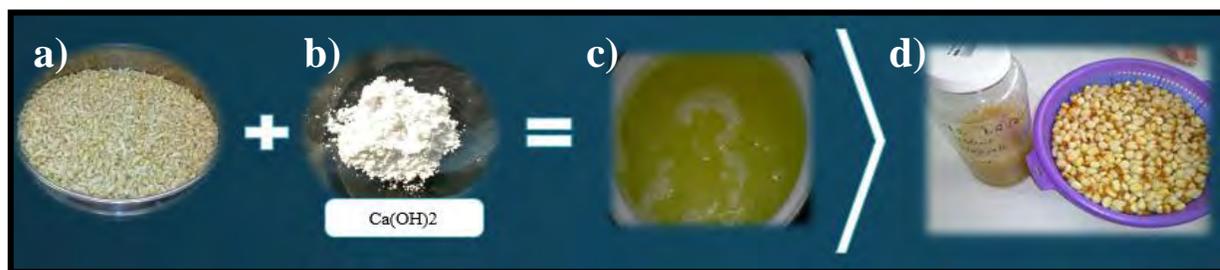


Fig. 2.8 Nixtamalización de granos de maíz.

2.4.2 Preparación de masas.

Se prepararon 300 g de maíz en una solución de 900 mL de agua a diferentes concentraciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (0.8, 1.0 y 1.2 %), a una temperatura de 89-90 °C por 45 min, con un tiempo de reposo de 12 horas, a los granos de maíz obtenidos se les realizó un lavado doble con 350 mL de agua. Posteriormente el nixtamal se sometió a una molienda triple un molino manual de discos dentados Marca: Estrella, se agrega agua al maíz molido y se amasa por 2 minutos manualmente dando origen a la obtención de masa (Fig. 2.9) y el nejayote separado se reutiliza para nixtamalización con nejayote diluido N1 (50 mL de agua/50 mL nejayote) y N2 (70 mL agua/30 mL nejayote) bajo las mismas condiciones de nixtamalización de la masa control (Valderrama-Bravo *et al.*, 2015).



Fig. 2.9 Obtención de masa de maíz nixtamalizado.

2.4.3 Determinación de humedad de la masa

Humedad por el método de secado en estufa (Método 925.09, AOAC, 1998).

Fundamento: Se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua, la muestra se deseca en una estufa de aire hasta peso constante a una temperatura de 100 a 102 °C. Para esto se requiere que la muestra sea térmicamente estable y que no contenga una cantidad significativa de compuestos volátiles. El contenido de humedad se calculó con la Ec. 2.2.

$$\% \text{ de humedad} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100 \quad \text{Ec. (2.2)}$$

W_1 = Peso inicial de la muestra (g)

W_2 = Peso final de la muestra (g)

2.5 Reología y textura de masas de maíz nixtamalizado

2.5.1 Parámetros viscoelásticos.

Los cambios reológicos de la masa se evaluaron en un equipo dinámico de pruebas oscilatorias, mediante un Reómetro RT 20 Haake (USA) con placa paralela rugosa de 35 mm, equipado con un controlador de temperatura. El procedimiento básico de operación consistió en colocar una muestra de masa entre las placas del equipo, la geometría que se utilizó fue una placa rugosa de 35 mm de diámetro, con una separación entre los platos de 1 mm. Una vez que la muestra fue sometida al primer esfuerzo se retiró con una espátula la muestra sobrante y se recubrió el contorno expuesto con aceite mineral para evitar la pérdida de humedad durante la prueba (Fig. 2.10).

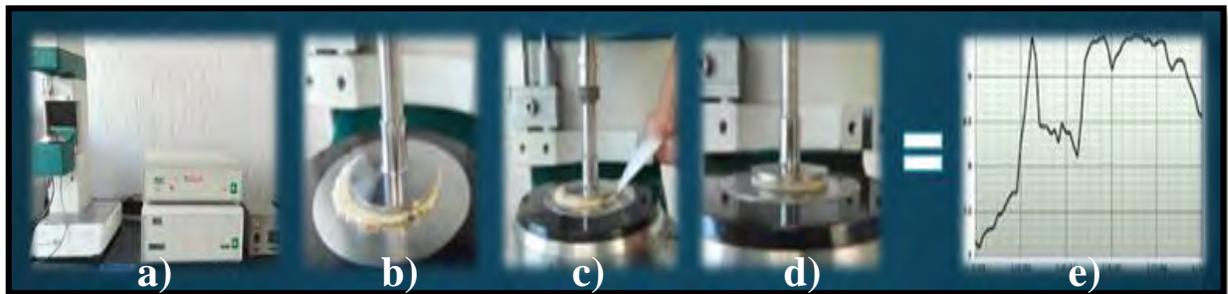


Fig. 2.10 Determinación de viscoelasticidad de masas con un Reómetro RT 20 Haake (USA).

Para definir el intervalo de viscoelasticidad lineal, donde el módulo (G') y módulo viscoso (G'') es independiente del esfuerzo, se realizaron pruebas de las muestras en un intervalo de 10 a 100 Pa de esfuerzo a 1 Hz de frecuencia, observando que en los valores de esfuerzo no hay cambios en los módulos elástico y viscoso seleccionando un valor de esfuerzo constante para todas las pruebas oscilatorias a una escala de frecuencia de 1 a 10 Hz. De tal forma que los parámetros obtenidos son: módulo de elasticidad, módulo de almacenamiento y tangente de pérdida de elasticidad.

2.5.2 Compresión uniaxial.

El análisis de textura y reología por compresión uniaxial se realizó en un texturómetro SHIMADZU EZ-S (Fig. 2.11) utilizando como dispositivo una placa de acero inoxidable de 4.5 cm de diámetro, comprimiendo la masa a una distancia 6 mm y a una velocidad de compresión de 1 mm/s. se estableció un tiempo de espera entre el primero y el segundo ciclo

de compresión de aproximadamente 5 segundos. El procedimiento aplicado para esta prueba fue someter un cilindro de masa de 50 g con dimensiones de 35 mm de diámetro y 30 mm de altura a compresión entre las dos placas paralelas por el texturómetro (los cilindros de masa formados se colocaron en bolsas de polietileno de cierre hermético para evitar la pérdida de humedad). Para obtener datos de acuerdo con el módulo, el esfuerzo, la deformación de fractura, trabajo de fractura y la combinación de los parámetros anteriores. La fuerza fue calculada como función de un intervalo de deformación constante, la compresión es dada por el cambio de longitud de la muestra dividido entre la longitud original, obteniendo como resultado curvas de esfuerzo – deformación.



Fig. 2.11 Determinación de compresión uniaxial. Texturómetro SHIMADZU EZ-S.

2.6 Preparación de tortillas.

Se molió el grano de maíz nixtamalizado y se amasó; se formó una bola de masa de 25 g a la cual se le dio forma con ayuda de una máquina tortilladora, posteriormente se calentó para dar paso a la formación de la tortilla dejando calentar por 60 segundos de cada lado (Fig. 2.12).

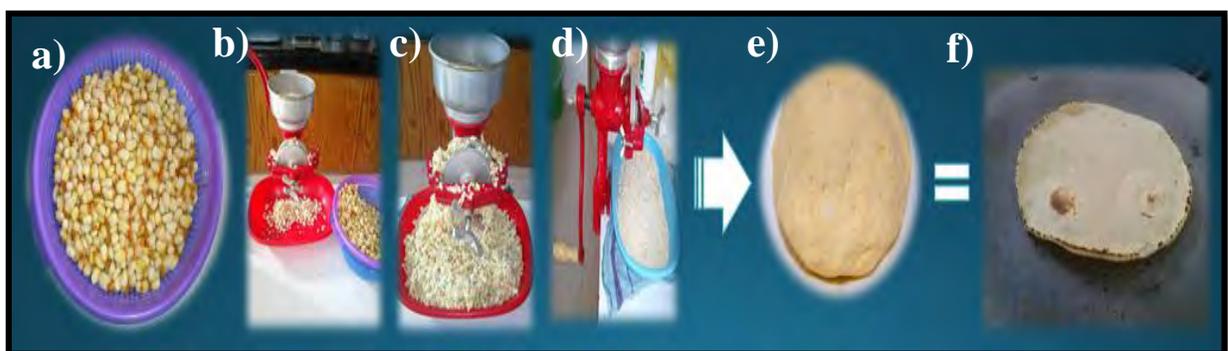


Fig. 2.12 Obtención de tortillas de maíz nixtamalizado.

2.7 Análisis químico proximal de tortillas.

El análisis químico proximal de tortillas nixtamalizadas se realizó para llevar a cabo la caracterización de la misma, para lo cual se emplearon los métodos que a continuación se describen.

2.7.1 Lípidos por Soxhlet (Método 920.39, AOAC, 1998).

Fundamento: Se basa en una muestra anhidra extraída con éter dietílico y con éter de petróleo para posteriormente determinar gravimétricamente el extracto seco, del que se habrán eliminado los disolventes.

$$\% \text{ grasa} = \frac{\text{Peso matraz con muestra} - \text{Peso matraz sin muestra}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad \text{Ec. (2.3)}$$

2.7.2 Proteínas por Microkjeldahl (Método 952.52, AOAC, 1998).

Fundamento: Se basa en la digestión de muestra en H₂SO₄ concentrado con un catalizador, el nitrógeno se convierte en (NH₄)₂SO₄. Se agrega NaOH concentrado para liberar amoníaco, que se destila en ácido estandarizado para su cuantificación por titulación.

$$\% \text{ proteina} = \frac{\left((mL \text{ gastados} - mL \text{ de blanco}) \times N_{HCl} \right) \times 0.014 \times Factor \times 100}{\text{Peso de la muestra en gramos}} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

2.7.3 Cenizas por Klemm (Método 923.03, AOAC, 1998).

Fundamento: Se basa en el sometimiento de muestra de 2-5 g a calcinación en una mufla a 500 °C, hasta que las cenizas adquieran un color blanquecino o grisáceo, para su cuantificación por gravimetría.

$$\% \text{ cenizas} = \frac{\text{Peso crisol con muestra} - \text{Peso crisol sin muestra}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad \text{Ec. (2.5)}$$

2.7.4 Humedad por el método de secado en estufa (Método 925.09, AOAC, 1998).

Fundamento: Se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua, la muestra se deseca en una estufa de aire hasta peso constante a una temperatura de 100 a 102 °C. Para esto se requiere que la muestra sea térmicamente estable y que no contenga una cantidad significativa de compuestos volátiles. El contenido de humedad es calculado por la Ec. 2.6.

$$\% \text{ de humedad} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100 \quad \text{Ec. (2.6)}$$

W₁= Peso inicial de la muestra (g)

W₂= Peso final de la muestra (g)

Este método se aplicó en la determinación de humedad del grano de maíz, maíz nixtamalizado, masa y tortilla.

2.7.5 Fibra cruda por Weende (Lees, 1982).

Fundamento: Una muestra exenta de grasa se trata con ácido sulfúrico en ebullición y después con hidróxido sódico en ebullición. El residuo menos las cenizas se consideran fibra.

$$\% \text{ fibra} = \frac{\text{Peso de la materia insoluble} - \text{Peso de las cenizas}}{\text{Peso de la muestra}} * 100 \quad \text{Ec. (2.7)}$$

2.7.6 Fenoles totales por Folin-Ciocalteu (Fogliano et al., 1999).

El método de Folin-Ciocalteu se basa en la capacidad de los fenoles para reaccionar con agentes oxidantes. El reactivo de Folin-Ciocalteu contiene molibdato y tungstano sódico, que reaccionan con cualquier tipo de fenol, formando complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico en óxidos, cromógenos de color azul intenso, de tungsteno y molibdeno siendo proporcional este color al número de grupos hidroxilo de la molécula. La espectrofotometría es la medición de la cantidad de energía radiante que absorbe un sistema químico (absorbancia) en función de la longitud de onda, la cual de acuerdo con la ley de Beer es inversamente proporcional con la concentración de las moléculas en una muestra. (Brunatti *et al*, 2009).

$$\text{Ác. gálico} = \frac{\left(\frac{\text{Abs } 765 - b}{m} \right) * FD * Vc}{Pm} \quad \text{Ec. (2.8)}$$

Donde:

b = Ordenada al origen de la curva

m = Pendiente de la curva

Va = Volumen de la alícuota (mL)

Vc = Volumen de celda (mL)

Pm = Peso de muestra (g)

2.8 Microbiología de tortillas.

El análisis microbiológico de tortillas se realizó en base a la NOM-111-SSA1-1994, por medio del método de dilución en serie para la identificación de mohos, levaduras, y mesófilos totales. La dilución 10^{-1} fue obtenida a partir de la toma de 10 g de cada muestra de tortilla mezclada en una licuadora (Warning ®) con 90 mL de agua peptonada de 0.1 % estéril. Posteriormente, se tomó 1 mL de esta mezcla y se transfirió a un tubo de ensaye con agua peptonada de 0.1 % estéril con la finalidad de obtener la dilución 10^{-2} y así sucesivamente hasta obtener la dilución 10^{-4} ; una vez que se completaron las diluciones se inoculó un mililitro de la muestra a las cajas Petri en cada uno de los medios MEA y PDA respectivamente, ambos adicionados con tergitol (Fig. 2.13).

Las cajas Petri fueron incubadas a una temperatura de 25 °C por 48 horas para mohos y levaduras por 5 días. Las colonias fueron cuantificadas e identificadas de acuerdo con claves especializadas y el número promedio de colonias por caja fue multiplicado por el factor de dilución correspondiente para obtener el número de colonias por gramo de muestra.

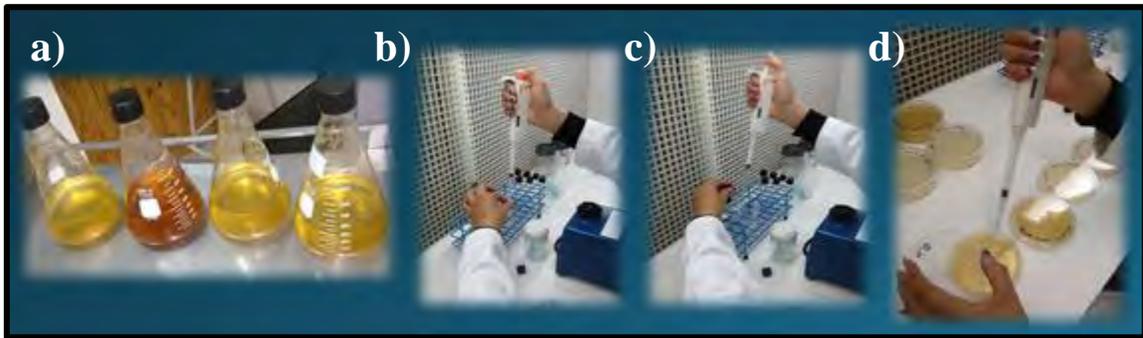


Fig. 2.13 Inoculación de tortillas por el método de diluciones en serie.

2.9 Textura de tortillas.

2.9.1 Extensibilidad.

El análisis de extensibilidad se realizó en Texturómetro SHIMADZU EZ-S, con celda de carga de 50 kg utilizando como dispositivo una varilla de acero inoxidable con esfera en la punta. Esta prueba consistió en someter a un esfuerzo tortillas de maíz colocadas en un marco de acero inoxidable de dos piezas con dimensiones de 6 cm de diámetro, 9 cm de altura y 10

cm de ancho; las piezas del marco fueron fijadas de los extremos con tornillos para evitar el movimiento de la tortilla con la aplicación del esfuerzo (Fig. 2.14). El equipo se operó bajo condiciones de compresión y la varilla de acero inoxidable descendió hasta fracturar la tortilla, obteniendo como resultado una curva de fuerza vs distancia en que la tortilla llegó al punto de fractura; a partir de los resultados generados se determinó fuerza de extensibilidad y distancia de extensibilidad para cada una de las muestras de tortilla.

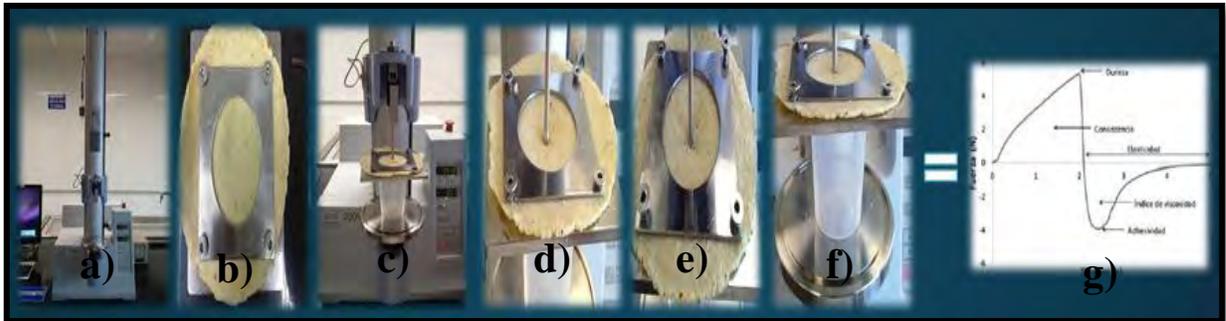


Fig. 2.14 Determinación de extensibilidad. Texturómetro SHIMADZU EZ-S.

2.9.2 Pruebas hedónicas.

Para realizar la prueba sensorial fueron seleccionados 32 panelistas, considerando los siguientes criterios:

- i. Los panelistas fueron alumnos de LEM I de FES Cuautitlán de la carrera Ingeniería en alimentos.
- ii. Se aplicó pruebas a alumnos de entre 18 – 22 años de edad.
- iii. Se proporcionó agua y café para tomar y oler respectivamente después de probar las muestras.
- iv. Se dieron a probar diferentes muestras de tortillas para identificar la preferencia de estas.

Se proporcionó un cuestionario a los jueces y se procedió a dar una breve explicación de las muestras que degustarían con número de código, explicándoles que las características a evaluar eran: color, olor, sabor, textura, espesor, resistencia a la ruptura, masticabilidad y atributos en general; de tal forma que asignara una calificación de acuerdo al puntaje de preferencia en tabla 2.3 se muestra el puntaje que corresponde a cada categoría de

calificación y el código que se asignó a las muestras a calificar de acuerdo a las variables de proceso se presentó anteriormente en la tabla 2.2 (los jueces desconocían la variación entre muestras).

Tabla 2.3 Puntaje de calificación de acuerdo al grado de aceptación.

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

2.10 Análisis estadístico.

Se analizaron los resultados mediante la aplicación de un diseño factorial de dos factores: la relación agua-nejayote (100:0, 50:50, 30:70) y tres niveles de variación en la concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (0.8, 1.0, 1.2). Se obtuvieron las diferencias de medias de tres repeticiones y el análisis de datos se realizó estadísticamente con un nivel de significancia de $\rho=0.05$ en un análisis ANOVA empleando el software Minitab statistical software, versión 15 (Minitab Inc., State College PA, USA).

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1 Caracterización del grano de maíz

En la tabla 3.1 se muestran los resultados de las características físicas del grado de maíz.

Tabla 3.1 Caracterización del grano de maíz H-70.

Características del grano de maíz	Resultado obtenido
Diámetro de la mazorca (mm)	53.30 ± 2.56
Longitud de la mazorca (mm)	158.02 ± 2.14
Diámetro medio geométrico del grano (mm)	8.480 ± 0.34
Peso hectolítrico (kg/hL)	78.750 ± 0.35
Índice de flotación (%)	7.000 ± 1.41
Humedad (%)	10.794 ± 0.074

De acuerdo con los parámetros de caracterización del grano de maíz que se reportan en la tabla 3.1, se observa que los granos de maíz tuvieron una humedad promedio de 10.7 %, que está dentro del intervalo establecido por la norma mexicana MNX-FF-024/1-SCFI-2002 que indica una humedad máxima del 14 % para la conservación y almacenamiento del maíz. Esta norma también considera que el grano deberá tener una densidad mínima de 74 kg/hL, y el maíz empleado tuvo en promedio un peso hectolítrico de 78.75 kg/hL.

Respecto a la dureza, la cual fue evaluada indirectamente por el índice de flotación, presentó 7 %, valor que se encuentra dentro de los límites especificados por la norma que va de 0 a 12 % para considerarlo un grano muy duro. Tomando en cuenta que el peso hectolítrico guarda una relación directa con la dureza del grano (Salinas, 1997) se determinaron y se establecieron las condiciones de nixtamalización y obtención de tortillas variando la concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

3.1.2 Micobiota de granos de maíz

Los géneros de mohos aislados con mayor frecuencia fueron: *Penicillium* sp., *Fusarium verticillioides* y en menor proporción *Fusarium graminearum* y *Fusarium oxysporum*.

Las condiciones de almacenamiento, tales como el contenido de humedad, temperatura y tiempo de almacenamiento, son factores críticos en el control de microorganismos. En la Fig. 3.1 se muestran los valores medios de UFC del grano de maíz H70 en Agar Extracto de Malta (MEA) y Agar Papa Dextrosa (PDA), de tal forma que se identifica que no hay diferencia significativa en el crecimiento de los géneros de mohos encontrados en el grano de maíz con respecto al medio de cultivo.

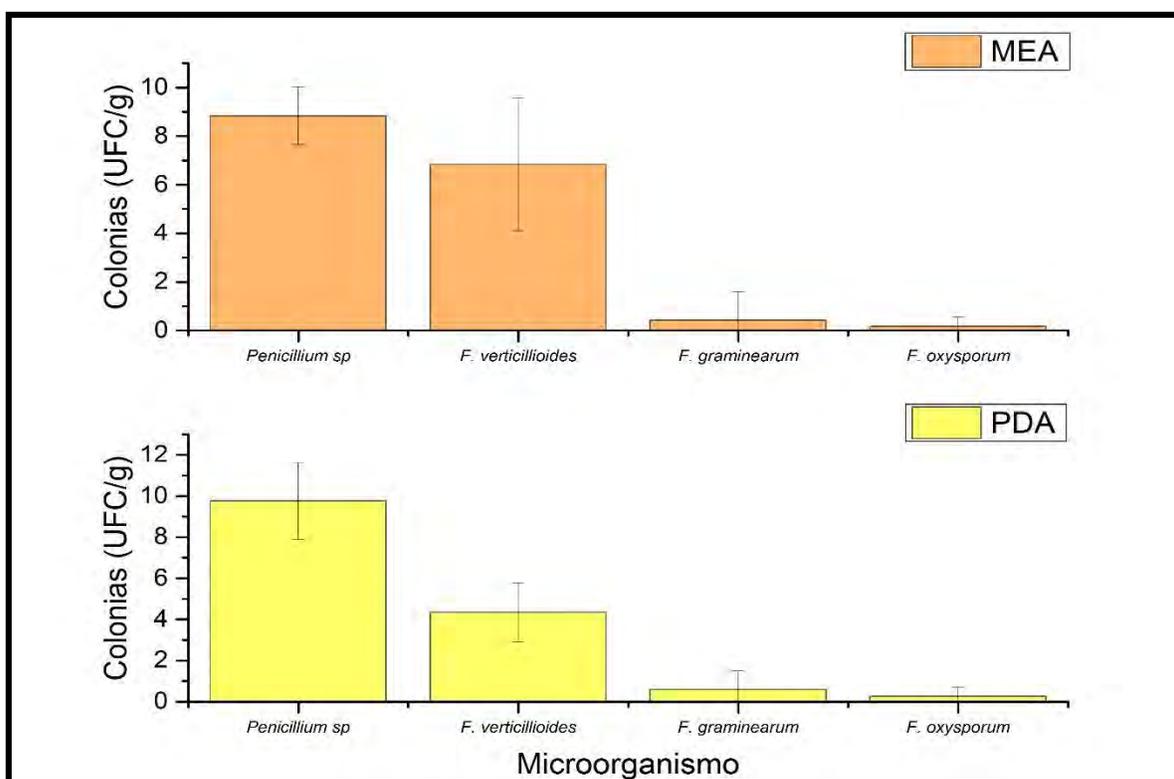


Fig. 3.1 Valores medios de UFC en granos de maíz H70 en dos medios de cultivo (MEA) Agar Extracto de Malta, (PDA) Agar Papa Dextrosa.

Según Torre-Hernández *et al.*, 2014, estas especies de mohos son frecuentemente aislados del maíz, prácticamente de cualquier órgano de la planta, de tal forma que inducen la pudrición de la mazorca, se rompe el endospermo del grano y lo contamina generando pérdidas ya que si se sobrepasa el límite de micotóxicas la materia prima no puede ser procesada.

3.2 Obtención del nejayote

En la tabla 3.2 se muestra el volumen de nejayote obtenido durante las corridas de nixtamalización en función a la concentración de hidróxido de calcio y relación de nejayote: agua, tomando como referencia el proceso de nixtamalización tradicional. La diferencia entre el volumen de nejayote obtenido está relacionado con la cantidad de agua absorbida por el grano durante el cocimiento, la concentración de hidróxido de calcio y la cantidad de nejayote reutilizado, ya que durante el proceso de nixtamalización bajo estas condiciones se produce un ablandamiento de la estructura del endospermo y la difusión de iones calcio, de tal forma que estos gránulos se hinchan parcialmente, gelanizan y pierden su estructura cristalina (Fernández-Muñoz *et al.*, 2011) generando que el almidón pierda su estructura, dando como resultado una mayor absorción de agua generando masas más suaves y tortillas mayormente flexibles.

Tabla 3.2 Volumen obtenido de nejayote obtenido después del proceso de nixtamalización.

Maíz	Nejayote / Agua	Concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (%)	Volumen de nejayote (ml)
Maíz blanco	MC 00:100	0.8	540
		1.0	550
		1.2	540
	N1 50:50	0.8	145
		1.0	140
		1.2	143
	N2 70:30	0.8	180
		1.0	80
		1.2	145

Así mismo se observó que a medida que aumenta la concentración e hidróxido de calcio y se agrega nejayote durante la nixtamalización, el endospermo se elimina con mayor facilidad, de tal forma que se puede reducir la cantidad de agua durante el lavado del nixtamal.

Según Flores y Villagran, (2014) al recircular nejayote se obtiene un mayor contenido de CaCO_3 en tortillas nixtamalizadas a partir de diluciones con más concentración de nejayote que de agua. Debido a que el hidróxido de calcio es un compuesto que hidroliza gran parte del pericarpio creando un vínculo entre el calcio y el endospermo; de tal forma que facilita la eliminación de pericarpio y en consecuencia aumenta el contenido de sólidos en el nejayote.

3.3 Determinación de humedad de la masa

Las propiedades texturales de las masas nixtamalizadas son altamente dependientes del tipo de maíz, la dureza del grano y el grado de gelatinización del almidón (Contreras-Jiménez *et al.*, 2014), de acuerdo con los resultado de humedad (Fig. 3.2) podemos definir que la humedad de las masas nixtamalizadas se encuentran entre 51.15 y 54.40 % de humedad, porcentaje que entra dentro del intervalo de humedad generalmente reportado que se encuentra de 48 a 55 % (Paredes, 2009).

Así mismo si observamos la comparación entre los tratamientos para la nixtamalización del grano de maíz H70 en la Fig. 3.2, podemos identificar que no hay diferencia significativa entre la humedad del grano nixtamalizado, aunque cabe mencionar que la nixtamalización con reutilización de nejayote al 70 % tuvo un ligero aumento.

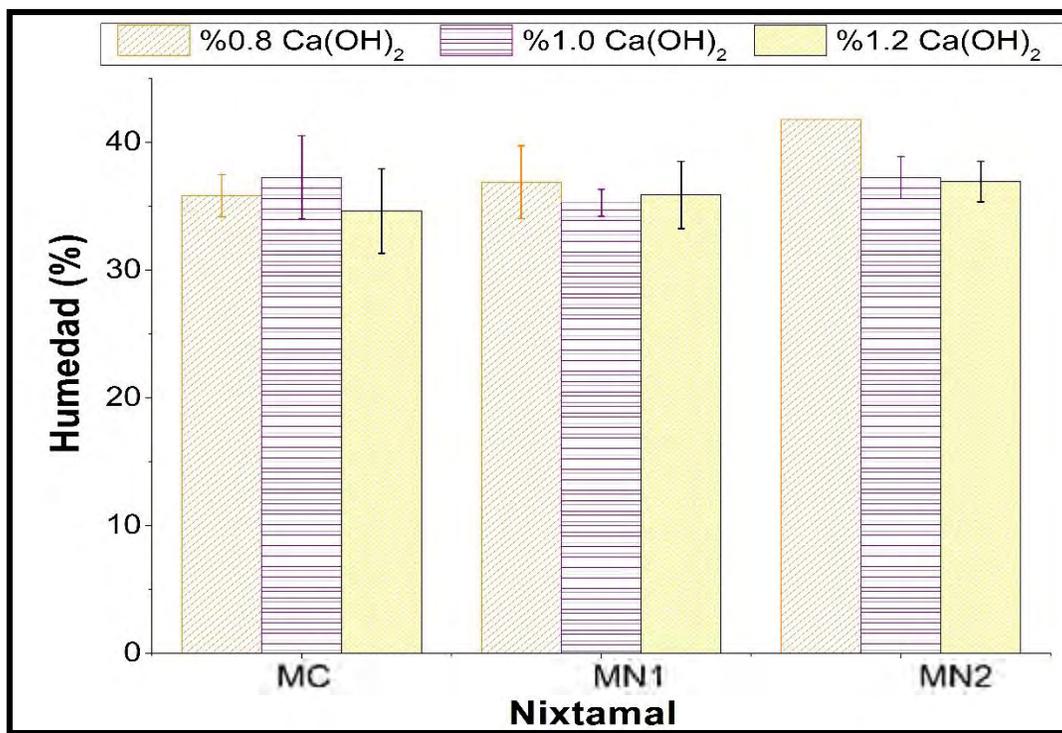


Fig. 3.2 Contenido de humedad de nixtamal. MC= masa control, MN1= masa con reutilización de nejayote 50 %, MN2= masa con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca(OH)}_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %.

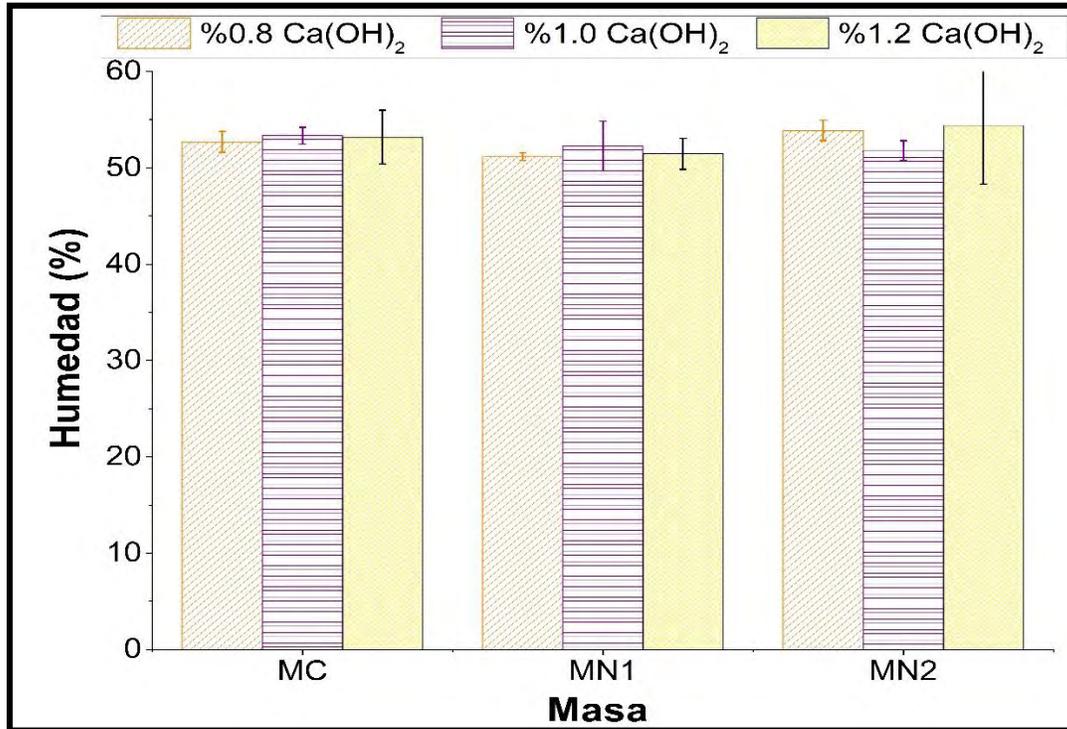


Fig. 3.3 Contenido de humedad de masas de maíz nixtamalizado. MC= masa control, MN1= masa con reutilización de nejayote 50 %, MN2= masa con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 0.8, 1.0$ y 1.2 %.

En la Fig. 3.3 podemos observar que aun cuando no hay diferencia significativa entre la humedad de las masas, la masa con recirculación de nejayote al 70 % (MN2) presentan una humedad de entre 53.89 y 54.4 % de humedad, siendo el tratamiento MN2 1.2 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$ la masa un mayor contenido, porcentaje que es aceptable para la elaboración de tortillas. Ya que una masa con un contenido de humedad >55 % podría ser más pegajosa y adhesiva, propiedades que son indeseables en la producción de tortilla ya que este tipo de tortillas generalmente pierden flexibilidad o estructura debido al fenómeno de retrogradación del almidón (Paredes, 2009).

Finalmente comparando la humedad del nixtamal con la humedad de la masa podemos concluir que la masa aumenta su humedad aproximadamente un 67 % al agregar agua durante la molienda, ya que durante esta etapa se libera almidón parcialmente gelatinizado del endospermo de tal forma que se facilita la absorción de agua.

3.4 Reología de masas

3.4.1 Parámetros viscoelásticos

En las Fig. 3.4 y 3.5 se presentan las características viscoelásticas de la masa: módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G'') como resultado de la aplicación de un esfuerzo de 70 Pa.

Se observa que las propiedades viscoelásticas tienen dependencia con la frecuencia, ya que al incrementar esta se obtuvo un aumento en G' y G'' ; de tal forma que en todo el intervalo de frecuencia usado para cualquier tratamiento $G' > G''$.

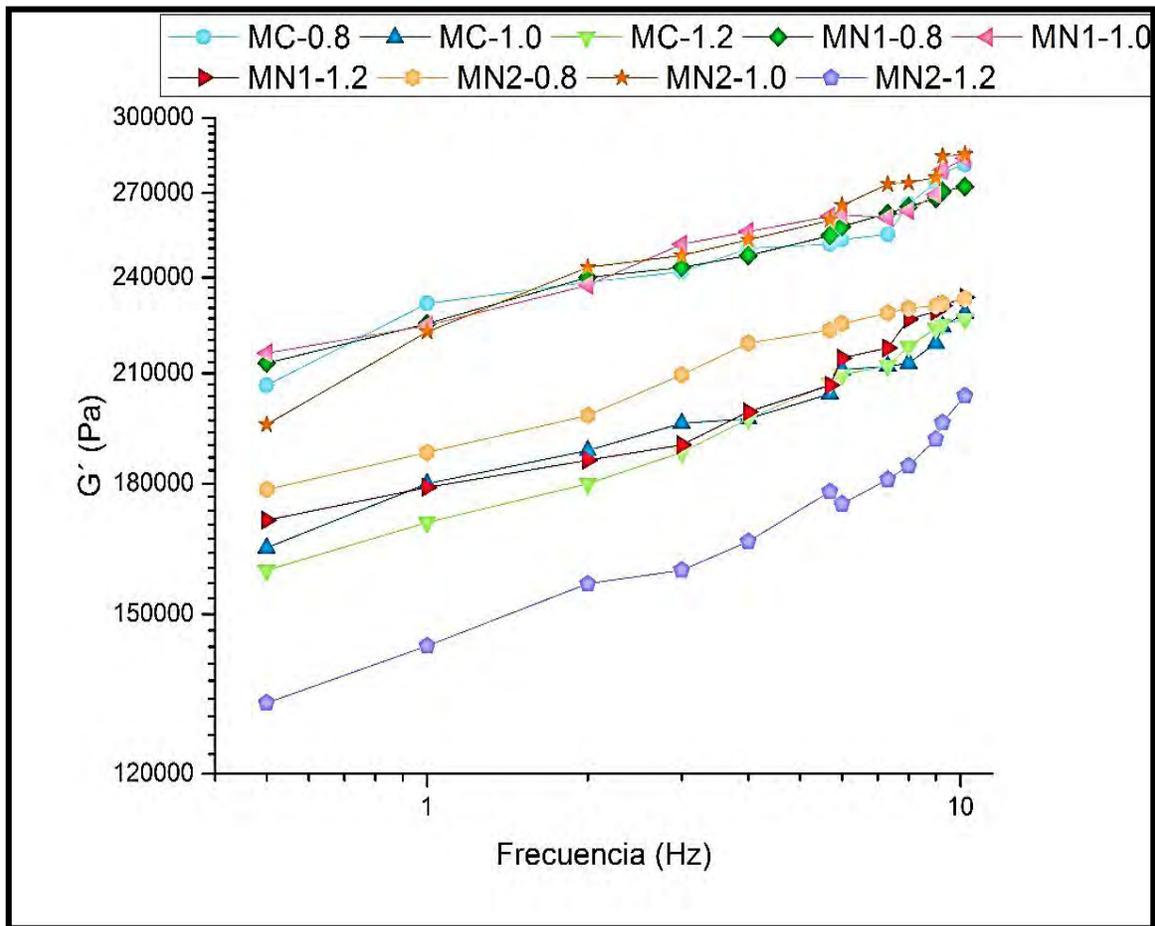


Fig. 3.4 Módulo de almacenamiento de masa de maíz nixtamalizado. MC= masa control, MN1= masa con reutilización de nejayote 50 %, MN2= masa con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 0.8, 1.0$ y 1.2 %.

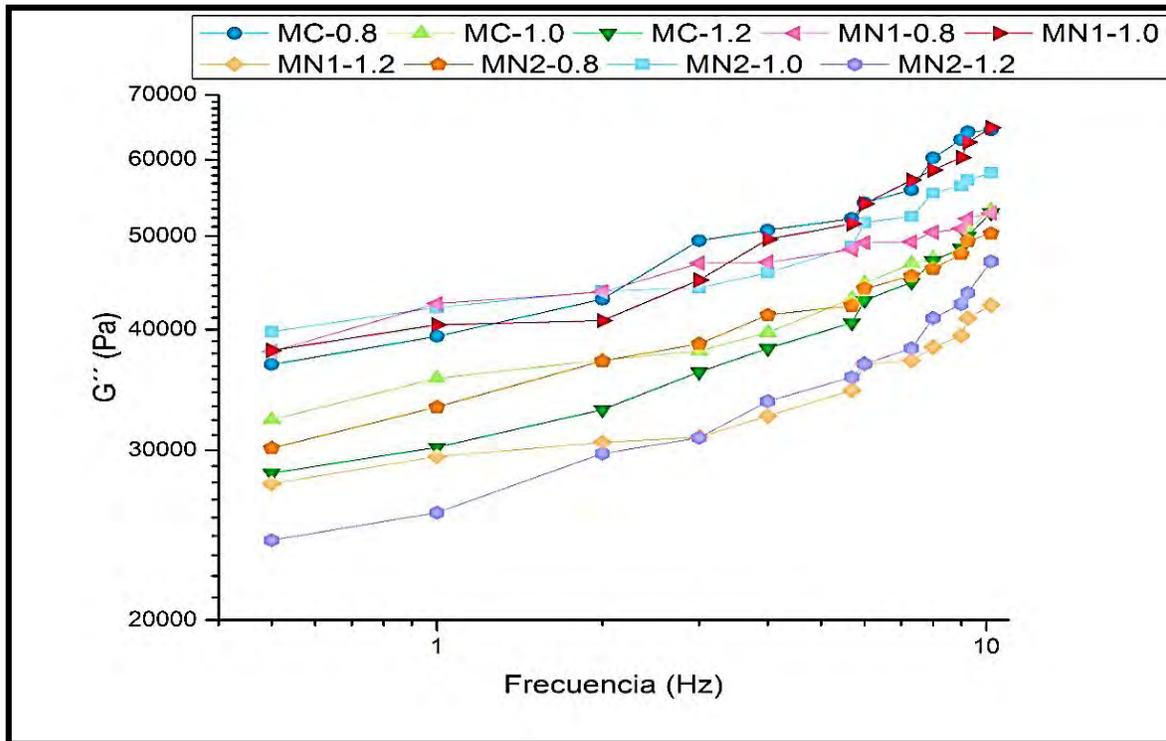


Fig. 3.5 Módulo de pérdida de masa de maíz nixtamalizado. MC= masa control, MN1= masa con reutilización de nejayote 50 %, MN2= masa con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ = 0.8, 1.0 y 1.2 %.

En la Fig. 3.4 en donde se muestra la tendencia del módulo de almacenamiento con respecto a la frecuencia se observa que las masas con un comportamiento viscoso similar son las correspondientes a MC y MN1 (reutilización de nejayote al 50 %) con una concentración de hidróxido de calcio de 1 %. Las masas MC 1.0 %, MC 1.2 %, MN1 1.2 % y MN2 0.8 % tienen un comportamiento viscoelástico similar aunque G' fue menor para estas masas en comparación con las MC y MN1 al 1.0 % de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Para la masa con reutilización de nejayote al 70 % se observó un cambio en el módulo de almacenamiento ya que fue menor en comparación con todos los tratamientos, este cambio nos podría indicar que la elasticidad de las masas de maíz disminuyó.

Con respecto al módulo de pérdida (Fig. 3.5), los tratamientos MC, MN1 con 0.8 y 1.0 % de hidróxido de calcio incrementaron su módulo comparado con los tratamientos MC 1.0, MC 1.2 y MN2 0.8 que se obtuvo un descenso en el valor de G'' . Mientras que las masas MN1 y MN2 con 1.2 % de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mostraron un menor módulo en comparación con la masa obtenida a partir del proceso de nixtamalización tradicional.

Las magnitudes del módulo de almacenamiento aumentan con el incremento de la concentración de sólidos en la masa, lo que indica la tendencia a un comportamiento más predominante de un alimento semi-sólido, este efecto puede deberse a que a una mayor concentración de Ca(OH)_2 y aumento en la reutilización de nejayote facilitan un medio mayormente ácido de tal forma que durante la cocción estas condiciones favorecen la remoción de pericarpio del grano con mayor facilidad de modo que las masas con reutilización de nejayote (Rámirez, 2013) y una mayor concentración de hidróxido de calcio confiere mayor dureza a la masa.

Vázquez-Carrillo *et al.*, (2015) reportó parámetros viscoelásticos: módulo de almacenamiento (G') y el módulo de pérdida (G''), encontrando diferencias significativas de estos parámetros viscoelásticos de seis tipos de masa. Concluyendo que las características viscoelásticas (G' y G'') dependen de la frecuencia ya que cuando se aumenta la frecuencia ambos parámetros aumentan. Mientras que para los seis tipos de masa a cualquier frecuencia el módulo viscoelástico G' siempre fue mayor que el módulo G'' y de acuerdo con bibliografía, este comportamiento ($G' > G''$) es característico de geles de almidón. De igual forma Ramírez (2013), reportó parámetros viscoelásticos de G' , G'' y $\tan \delta$, para masas de maíz nixtamalizado con nejayote al 0, 10, 20 y 30 % de sólidos; concluyendo que los valores de G' y G'' mostraron un incremento al aumentar la frecuencia, lo cual puede ocasionarse debido a una resistencia a la deformación. Mientras que para el módulo de almacenamiento las muestras control presentaron un valor mayor en comparación con las masas con nejayote, esto lo atribuyo a que la elasticidad de las masas disminuyó respecto a la masa control debido a la cantidad solidos adicionados en el nejayote, que al tener un mayor contenido de carbonatos de calcio confiere mayor dureza a la masa. De modo que la variación en la concentración de Ca(OH)_2 y nejayote utilizado influyen en la estructura del almidón que a su vez afectar en el comportamiento viscoelástico de la masa de modo que los módulos de pérdida y almacenamiento de la masa (G' , G'') disminuyen con el incremento del contenido de agua ya que las masas presentaron un contenido humedad de entre 53.89 y 54.4 % para masas con reutilización de nejayote al 70 % (MN2). Según Rodríguez-Sandoval *et al.*, (2005) los módulos de perdida y almacenamiento de la masa disminuyen con el incremento de humedad.

3.4.2 Compresión uniaxial

3.4.2.1 Relación esfuerzo-deformación

En las Fig. 3.6, 3.7 y 3.8 se representa el resultado de la respuesta mecánica de fuerza en función de la deformación en una prueba de compresión uniaxial para las masas de maíznixtamalizado. En estos gráficos representan parámetros de textura con respecto a la deformación y el cambio de longitud del cuerpo original, en donde se identifica que el material responde a la aplicación de un primer esfuerzo con una deformación elástica (reversible), que es directamente proporcional al esfuerzo en el punto AB; luego con una deformación plástica (irreversible), que aumenta más deprisa que el esfuerzo en el punto de BC; por último, con una deformación rígida hasta alcanzar el límite máximo de elasticidad (rotura) de la masa en el punto C y finalmente la deformación permanente.

De tal forma que el comportamiento de la zona inicial de AB corresponde a la deformación elástica inicial de la masa; es en esta zona donde el esfuerzo y la deformación relativa son lineales tal como lo predice la ley de Hooke. El comportamiento elástico de la masa se manifiesta en esa zona y de hecho la pendiente de los gráficos es el módulo de elasticidad o módulo de Young, mientras que la segunda zona corresponde al comportamiento de la masa durante la compresión; una vez que se ha excedido a zona donde el esfuerzo y la deformación tienen una relación lineal, el material continúa deformándose, en general de manera no lineal, hasta alcanzar su límite máximo de elasticidad.

El parámetro reológico a medir a través de compresión uniaxial es el módulo de Young, identificado en la región AB, es decir, la región de Viscoelasticidad lineal donde se observó que esta es más prolongada bajo los tratamientos de MC 0.8 % y MN2 al 0.8 % y MN2 al 1.2 % lo que nos indica que los tratamientos con reutilización de nejayote al 70 % tienen una respuesta mayormente elástica con respecto al esfuerzo aplicado durante la compresión.

Las masas control con las diferentes concentraciones de Ca(OH)_2 y las masas con reutilización de nejayote al 70 % a las diferentes concentraciones de Ca(OH)_2 son las masas con un menor límite elástico ya que el punto máximo de fractura se observó en un esfuerzo aplicado $\leq 15\,000$ Pa.; mientras que las masas con reutilización de nejayote presentaron un límite elástico $\geq 15\,000$ Pa.

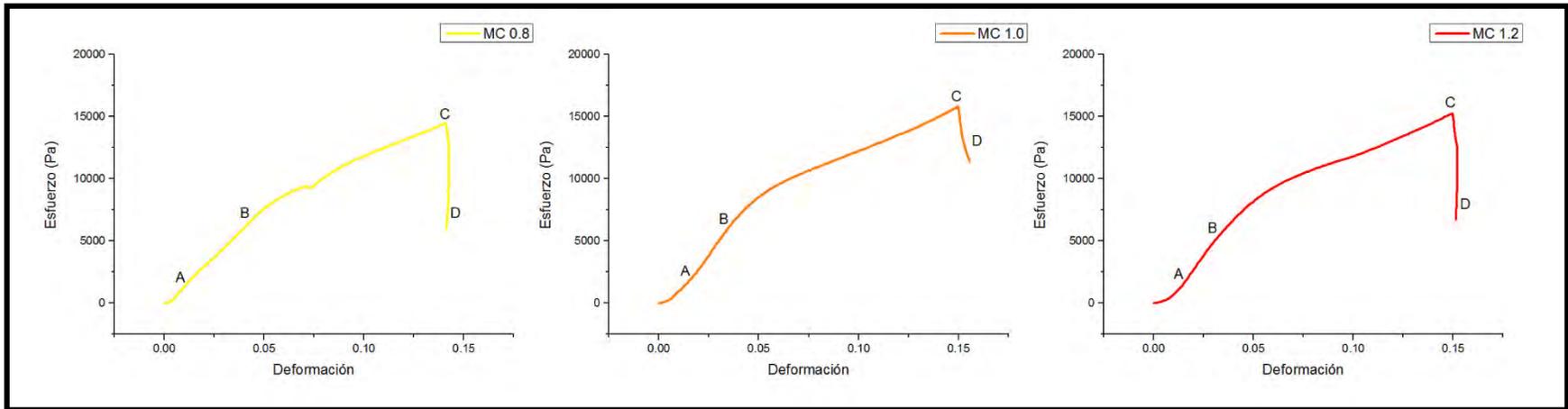


Fig. 3.6 Curva de esfuerzo-deformación de masas nixtamalizadas con variación en la concentración de hidróxido de calcio. MC= masa control. Concentración de Ca(OH)₂= 0.8, 1.0 y 1.2 %.

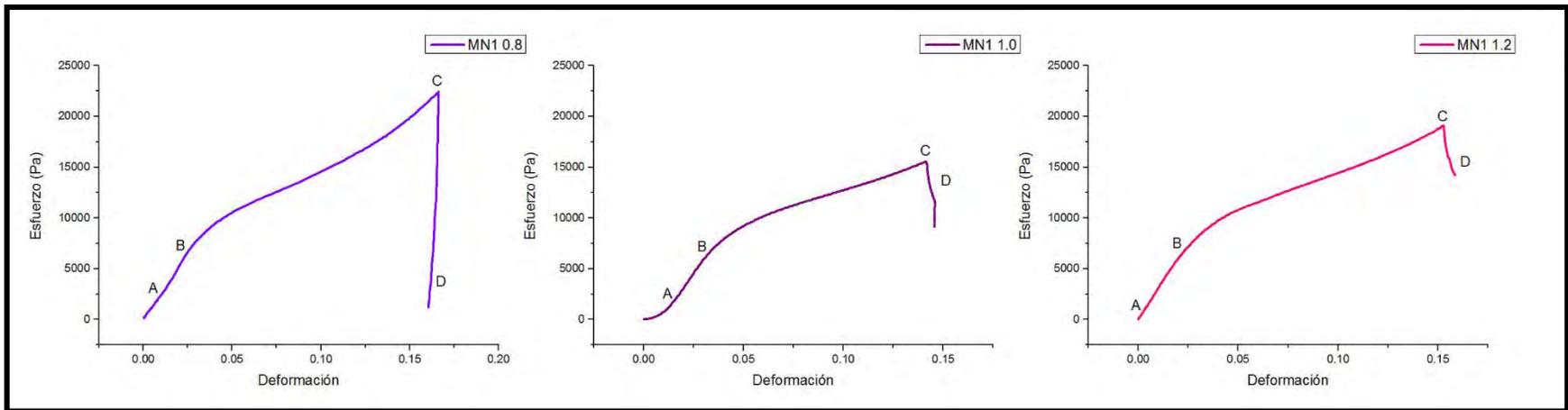


Fig. 3.7 Curva de esfuerzo-deformación de masas nixtamalizadas con variación en la concentración de hidróxido de calcio. MN1= Masa con reutilización de nejayote 50%. Concentración de Ca(OH)₂= 0.8, 1.0 y 1.2 %.

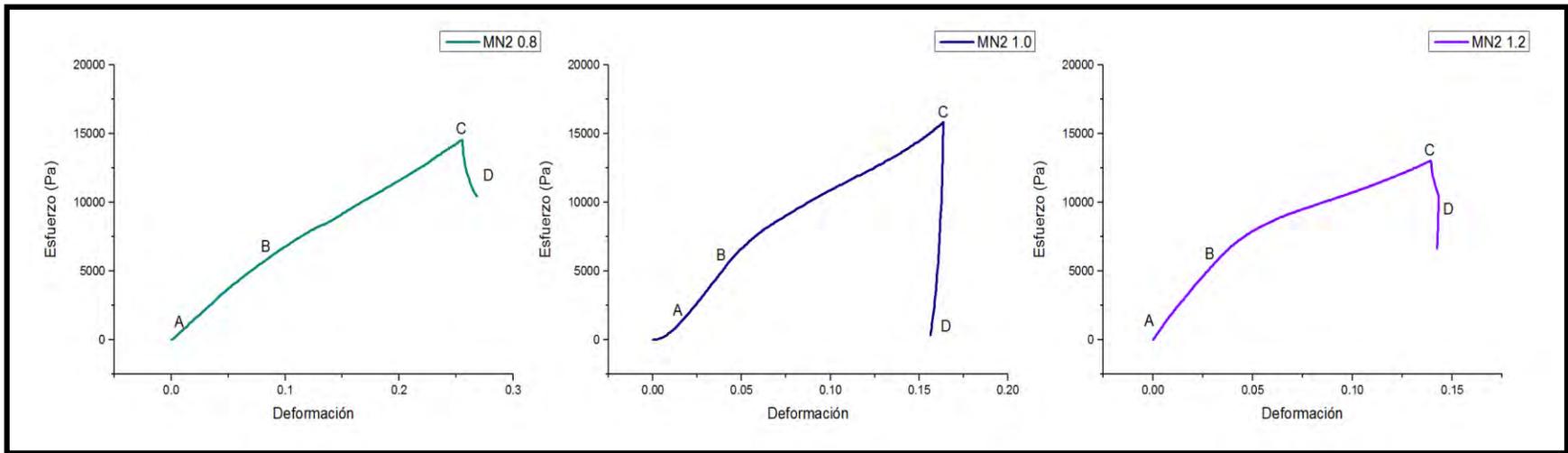


Fig. 3.8 Curva de esfuerzo-deformación de masas nixtamalizadas con variación en la concentración de hidróxido de calcio. MN2=masa con reutilización de nejayote 70%. Concentración de Ca(OH)_2 = 0.8, 1.0 y 1.2 %.

3.4.2.2 Modulo de Young

Las gráficas que se observan en la Fig. 3.6, 3.7 y 3.8 son la respuesta mecánica de esfuerzo en función de la deformación en pruebas de compresión, por lo que la firmeza de la masa es caracterizada a través del módulo de Young.

La pendiente en el segmento de la gráfica identificado de AB, es el módulo de elasticidad del material en cuestión, de tal forma que es una medida de rigidez y entre mayor sea el valor de esta constante de proporcionalidad, mayor es la rigidez del material, por el contrario cuanto menor sea el módulo de Young, mayor será la deformación elástica y por consiguiente un tanto más fácil la deformación elástica del material.

En la tabla 3.3 se presentan los resultados del módulo de Young, determinados a partir del cálculo de la pendiente en la gráfica del punto A al B. De acuerdo a los resultados reportados se observa que el Módulo de Young aumentó en los tratamientos MN1 y MN2 en donde se reutilizó nejayote al 50 y 70 % respectivamente, debido a que la resistencia del material con el reúso de nejayote disminuye, siendo más fácil la deformación de la masa.

Tabla 3.3 Modulo de Young para masas nixtamalizadas con variación en la concentración de hidróxido de calcio y reutilización de nejayote.

Tratamiento		Módulo de Young (10 ⁵ Pa)
Masas control	MC 0.8	1.572
	MC 1.0	2.336
	MC 1.2	1.987
Masa con recirculación de nejayote 50 %	MN1 0.8	2.611
	MN1 1.0	2.826
	MN1 1.2	2.660
Masa con recirculación de nejayote 70 %	MN2 0.8	1.558
	MN2 1.0	1.846
	MN2 1.2	1.831

El módulo de Young en las masas de maíz nixtamalizado bajo las condiciones con nejayote al 50 % (MN1) se observa un aumento en el módulo elástico de la masa, de modo que los tratamientos que mostraron mayor elasticidad son las masas MN1 1.0 %, MN1 1.2 % y MN1 0.8 % con valores del módulo de Young de 2.82×10^5 Pa, 2.660×10^5 Pa, 2.611×10^5 Pa respectivamente, sin embargo, en el caso de las nixtamalizaciones MN2 se obtuvieron valores de elasticidad más cercanos a la masa control con 0.8 % de $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

De hecho este cambio en la elasticidad de la masa, se puede atribuir a que la reutilización de nejayote implica un aumento de sólidos debido a la solubilización del pericarpio en la solución alcalina, según Niño-Medina *et al.*, (2009) el pericarpio contiene arabinosilanos que muestran propiedades funcionales como espesante, estabilizante, emulsificante y formación de geles, de tal forma que la elasticidad de las masas se ve afectado por los tratamientos de nixtamalización empleados, sin embargo se puede observar que con una concentración de nejayote mayor (70 %) y la adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ generan un medio con mayor acidez generando masas con menor elasticidad.

Lewis (1993), describe el módulo de Young como un indicador de la resistencia que tiene un material sometido a un esfuerzo de tensión o compresión y se interpreta como la máxima fuerza que puede aplicar a un material sin romperlo. Reportando valores del módulo de Young de $(2-4) \times 10^{13}$ Pa para zanahorias, $(0.6-1.4) \times 10^{13}$ Pa para manzanas y $(0.08-0.3) \times 10^7$ Pa para plátano.

Marquéz (2009), evaluó el módulo de Young en guanábana (*Annona muricata L. cv. Elita*) durante el periodo de poscosecha; reportó valores en el módulo de 1.16×10^6 , 1.04×10^5 , 5.33×10^4 Pa correspondiente a cero, cinco y nueve días de almacenamiento. Reportando que el módulo de Young decreció con el paso de los días en poscosecha de las frutas de guanábana, debido a que con la maduración disminuye, siendo más fácil la deformación ante la aplicación de esfuerzos menores.

Gates y Dobraszcyk (2004), realizaron una recopilación de información para demostrar la influencia del contenido de agua y tratamientos térmicos sobre las propiedades mecánicas del trigo, de tal forma que el contenido de humedad y tratamiento térmico aplicado suaviza el endospermo del trigo por lo que es más dúctil. Obteniendo un módulo de Young de 2×10^4 Pa, con una humedad de 22 % de humedad en comparación con un pan con 12 % de

humedad que presentó un valor de 20×10^4 Pa para el módulo elástico. Concluyendo que con el aumento de la humedad en la masa genera un descenso en el módulo de Young, la resistencia a la rotura aumenta, ya que el agua actúa como un plastificante y disolvente en este tipo de alimentos, mientras que el calor modifica la conformación y las interacciones de componentes macromoleculares, estructura y composición química que a su vez afecta la textura de un alimento.

De modo la variación en la concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y nejayote utilizado influyen en la estructura del almidón que a su vez afectan en el comportamiento viscoelástico de la masa; ya que de acuerdo con Gates y Dobraszczyk (2004), el aumento en la humedad genera masas más suaves de tal forma que el módulo de Young disminuyó con el incremento del contenido de agua debido a que las masas MN2 (reutilización de nejayote 70 %) presentaron un contenido humedad de entre 53.89 y 54.4 %.

3.4.2.3 Esfuerzo máximo de ruptura

El punto máximo da la señal correspondiente al límite máximo de elasticidad de la masa, la caída que se observa corresponde a la ruptura subsecuente de la misma. De tal forma que la estructura de la masa se encuentra en un punto en donde ha cedido y se ha colapsado, de tal manera que es posible apreciar el colapso a simple vista. En este punto ya no es posible que el material recupere su forma puesto que de hecho la ha perdido por completo.

En la tabla 3.4 se muestran los esfuerzos máximos de ruptura para las masas de maíz nixtamalizado bajo las diferentes condiciones de proceso. Comparando los resultados obtenidos, se observa que se presentó un aumento en el esfuerzo máximo de ruptura para las masas MN1 0.8 % y MN1 1.2 % con un esfuerzo aplicado de 2.243×10^4 Pa y 1.90×10^4 Pa respectivamente.

Los esfuerzos máximos de ruptura se determinaron tomando el punto máximo directo de las gráficas esfuerzo-deformación (Fig. 3.6, 3.7 y 3.8) y mostrados en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Esfuerzo máximo de ruptura de masas nixtamalizadas con variación en la concentración de hidróxido de calcio y reutilización de nejayote.

Tratamiento		Esfuerzo máximo de ruptura (10^4 Pa)
Masas control	MC 0.8	1.446 ± 4.49
	MC 1.0	1.582 ± 0.21
	MC 1.2	1.522 ± 0.85
Masa con recirculación de nejayote 50 %	MN1 0.8	2.243 ± 0.34
	MN1 1.0	1.557 ± 0.24
	MN1 1.2	1.907 ± 0.97
Masa con recirculación de nejayote 70 %	MN2 0.8	1.454 ± 0.17
	MN2 1.0	1.587 ± 1.12
	MN2 1.2	1.044 ± 6.16

De los resultados obtenidos entre los tratamientos, se observa que en las nixtamalizaciones MN1 que corresponden con la recirculación de nejayote al 50 %, se formó una estructura más fuerte, lo contrario a la nixtamalización MN2 (recirculación de nejayote al 70 %).

En la Fig. 3.6, 3.7 y 3.8 de igual forma se puede observar que el esfuerzo máximo de ruptura aumentó con la proporción de nejayote al 50 %; estos cambios pueden atribuirse a las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo durante el cocimiento del grano, puesto que durante el proceso de cocción se llevan a cabo reacciones que modifican tanto las características fisicoquímicas, estructurales y reológicas del nixtamal, masa y tortilla. Estos cambios, se deben principalmente a modificaciones que ocurren en la estructura del almidón (Quintanar-Guzmán *et al.*, 2009).

Mondragón *et al.*, (2004) reportaron que la cristalización del almidón cambia con la concentración de cal y el tiempo de reposo, además de sus difractogramas de rayos X mostraron picos correspondientes a las estructuras cristalinas de tipo V, que indican la formación de complejos amilosa-lípido (almidón resistente) durante la cocción y el reposo.

Según Valderrama-Bravo *et al.*, (2010) el calcio se incorpora en el endospermo y se ha sugerido que esa incorporación se lleva a cabo mediante el fenómeno de transferencia de masa por el mecanismo de difusión.

De tal forma que el cambio en el esfuerzo máximo de ruptura de las masas de maíz nixtamalizado también es influenciado por que el calcio actúa como ligando del almidón y la matriz proteica, además de que el aumento en el contenido de hidróxido de calcio y la reutilización de nejayote influyen sobre los parámetros reológicos y texturales de las masas y tortillas de maíz nixtamalizado aumentando la resistencia a la fractura (hasta donde el material así lo permita) de las masas y en consecuencia la de las tortillas.

3.5 Obtención de las tortillas de maíz nixtamalizado

En la tabla 3.5 se describen las observaciones cualitativas de masa y tortillas obtenidas con respecto a las variaciones en el proceso de nixtamalización.



Fig. 3.9 Tortillas de maíz nixtamalizado

Tabla 3.5 Condiciones para la elaboración de tortillas de maíz nixtamalizado

Concentración de Ca(OH)2		Relación Nejayote : Agua	Nejayote (L)	Agua (L)	Temperatura (°C)	Tiempo de cocción (min)	Tiempo de reposo (h)	Agua para el lavado (L)	Molienda	Observaciones cualitativas										
Masa Control	0.8	0 : 100	0	1.8	90	45	12	2 Lavados de 0.350 Litros	El nixtamal será sometido a 3 moliendas en el molino manual de discos dentados	Se observo poco desprendimiento del pericarpio y el contenido de solidos en el nejayote obtenido fue menor en comparación con la concentración de hidróxido de calcio al 1.0 y 1.2 %. La masa que se obtuvo era más gruesa y las tortillas presentaban una textura muy seca y rompimiento con facilidad.										
	1									El desprendimiento del pericarpio fue bueno, se arrastró una mayor cantidad de sólidos durante el lavado del nixtamal. La masa no presentaba consistencia adhesiva y la textura de las tortillas era más suave con un color levemente amarillo.										
	1.2									Total desprendimiento del pericarpio, el nejayote obtenido de esta nixtamalización tuvo un mayor contenido de sólidos, la masa obtenida tenia una consistencia más dura que el tratamiento MC 1.0, las tortillas de igual forma presentaron una textura dura con un color amarillo										
Masa Nejayote 1	0.8	50 : 50	0.9	0.9						90	45	12	2 Lavados de 0.350 Litros	El nixtamal será sometido a 3 moliendas en el molino manual de discos dentados	Se observo un desprendimiento mayor del pericarpio, una masa y torillas mas suaves en comparación con el tratamiento MC con una concentración 0.8 % de hidroxido de calcio.					
	1														Aumenta el contenido de solidos al desprenderse con mayor facilidad el pericarpio del grano, se obtiene una masa suave de color amarillo claro con un aroma y sabor ligeramente dulce en comparación con las masas control, las tortillas presentan menos fractura al doblarlas					
	1.2														Al realizar el lavado del maíz nixtamalizado el pericarpio del grano es eliminado desde el primer enjuague y la masa obtenida es adhesiva, las tortillas presentan un leve agritamiento al someterse a cocción.					
Masa Nejayote 2	0.8	70 : 30	1.26	0.54											90	45	12	2 Lavados de 0.350 Litros	El nixtamal será sometido a 3 moliendas en el molino manual de discos dentados	El desprendimiento del pericarpio es bueno, se observa un grano con mayor suavidad, la masa y tortillas obtenidas son de textura agradable y no presentan agritamiento al someterlas a cocción.
	1																			Se observa un buen desprendimiento del pericarpio, la masa obtenido es suave, la molienda se lleva a cabo rapidamente, las tortillas obtenidas son más flexibles al doblarlas y presentan un sabor aun más dulce que en las corridas MN1
	1.2																			Se observa un buen desprendimiento del pericarpio, la masa y tortillas obtenidas son más flexibles al doblarlas y presentan un sabor dulce, el resultado es muy parecido al tratamiento MN2 a una concentración de hidróxido de calcio de 1.0 %

3.6 Análisis químico proximal de tortillas

Los resultados del análisis químico proximal, para la caracterización de tortillas de maíz nixtamalizado tradicionalmente (control), con reutilización de nejayote al 50 y 70 % respectivamente se presentan a continuación en los siguientes apartados.

3.6.1 Lípidos

La grasa del grano de maíz se encuentra fundamentalmente en el germen y viene determinado genéticamente, con valores que van de 3 a 18 %. Además, el aceite de maíz es relativamente estable, pues contiene únicamente pequeñas cantidades de ácido linoleico y niveles elevados de antioxidantes (Benítez-Cardosa, 2006).

En la Fig. 3.10 se presentan los resultados del análisis correspondiente de grasa a las tortillas de maíz bajo las diferentes condiciones de nixtamalización, en las cuales se puede observar un aumento en el contenido lipídico que puede verse afectado por el almidón del maíz ya que tiene la capacidad de formar complejos amilosa-lípido durante el proceso de reposo y esta capacidad del almidón podrá deberse a la entrada de lípidos de la superficie hacia el interior del gránulo, es decir, a través de los canales de la superficie del gránulo (Jayakody y Hoover, 2008).

Según la FAO (2001), reporta un contenido de grasa que puede oscilar entre 1 y 3 % para tortillas nixtamalizadas con diferentes variedades de maíz utilizado. Sin embargo se obtuvo un mayor contenido de lípidos en todas las muestras de tortilla elaboradas, no obstante, las tortillas elaboradas con recirculación de nejayote al 70 % (TN2) presentaron un contenido de lípidos entre 5.65 y 6.37 g/100 g, mientras que las tortillas con reutilización de nejayote al 50 % (TN1) presentaron un contenido graso menor a las tortillas control (TC). Se encontró diferencia significativa entre el contenido graso de las tortillas elaboradas bajo las diferentes condiciones de nixtamalización a las que fue sometido el grano de maíz.

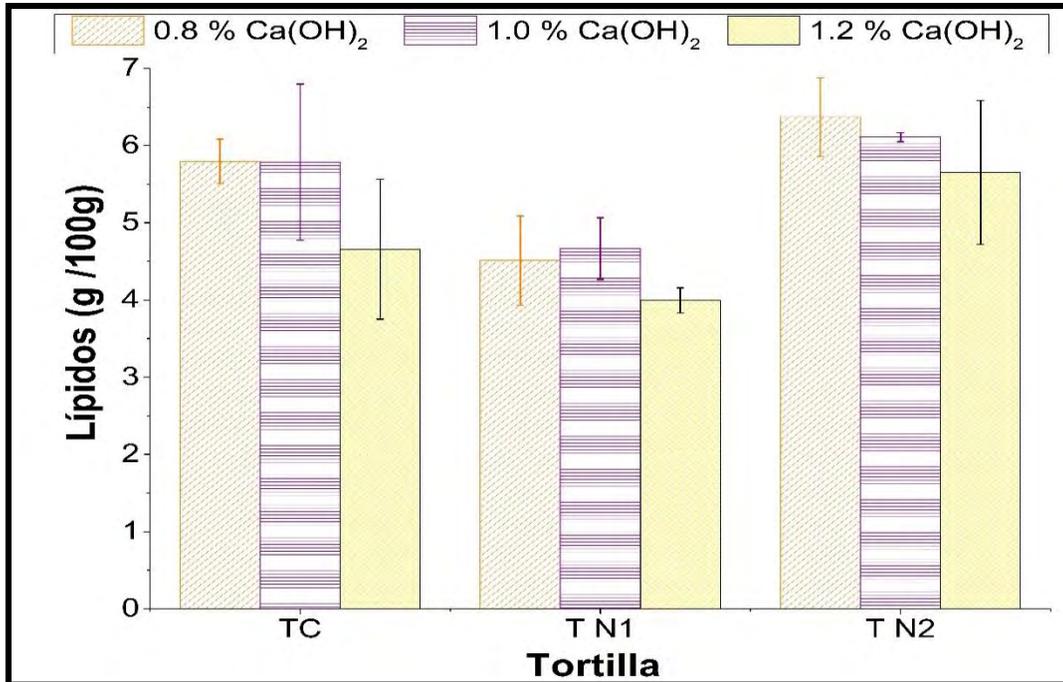


Fig. 3.10 Contenido de lípidos en tortillas de maíz nixtamalizado. TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de Ca(OH)₂= 0.8, 1.0 y 1.2 %.

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 amilosa 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.

Santiago (2014), confirmó que hay un aumento significativo correspondiente a los complejos V-amilosa-lípido, encontrando que este aumento es mayor en tortillas del proceso ecológico en donde el Ca(OH)₂ es sustituido por CaCl₂, CaSO₄ y CaCO₃. Esto se puede deber a que los lípidos del grano de maíz durante la cocción y reposo se pierden en el nejayote o se saponifican con el hidróxido de calcio.

De tal forma que como se observa en el gráfico, una mayor concentración de nejayote genera un aumento en el contenido lipídico en las tortillas ya que los lípidos se conservan y están disponibles para formar complejos.

3.6.2 Proteínas

Según la FAO (2001), reporta un contenido de proteína que puede oscilar entre 5 y 6 % para tortillas nixtamalizadas con diferentes variedades de maíz utilizado.

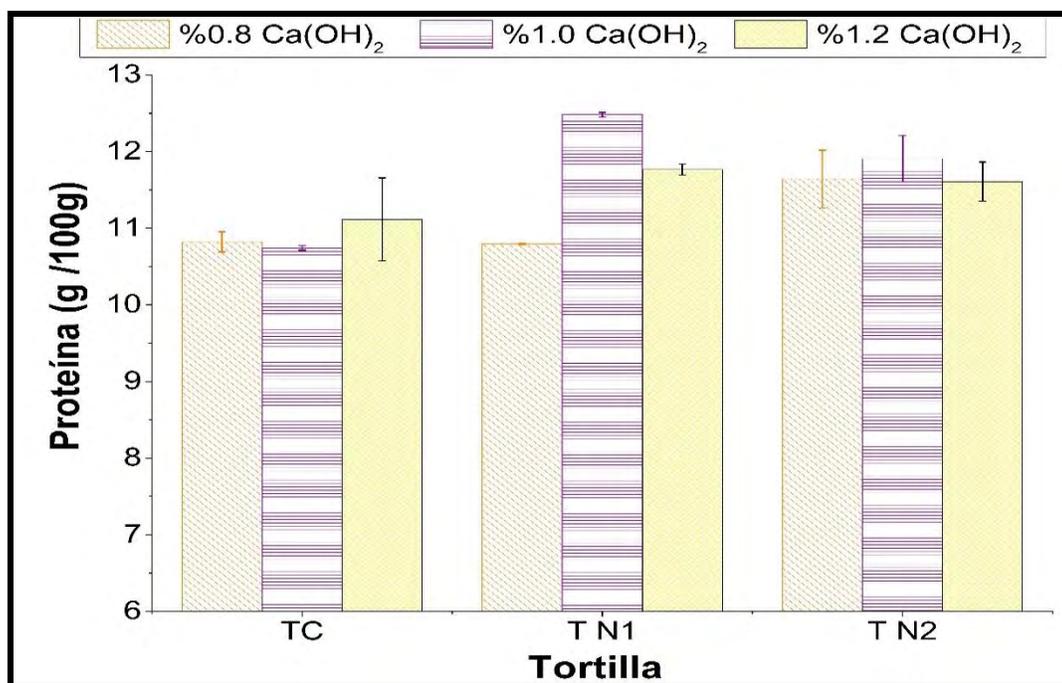


Fig. 3.11 Contenido de proteínas en tortillas de maíz nixtamalizado. TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de Ca(OH)₂= 0.8, 1.0 y 1.2 %.

De acuerdo con los resultados mostrados en la Fig. 3.11 se observa que el contenido de proteína entre la muestras presenta diferencia significativa, sin embargo se obtuvo un mayor contenido de proteína en tortillas nixtamalizadas con reutilización de nejayote al 50 % (TN1) seguido de tortillas nixtamalizadas con reutilización de nejayote al 70 % (TN2) las tortillas elaboradas con recirculación de nejayote al 70 % (TN2) con una concentración de hidróxido de calcio al 1.0 %, obteniendo un contenido de proteína entre 12.48 y 11.90 g/100 g respectivamente.

El contenido de proteína en las masas control es afectado por la concentración de hidróxido de calcio, es apreciable en la Fig. 3.11 que el contenido de proteína incrementa en las nixtamalizaciones con reutilización de nejayote aunque no de forma significativa, esto se debe a que durante el proceso tradicional de nixtamalización se pierde gran parte del pericarpio con el agua de lavado o quedan suspendido en el nejayote, por lo que el aprovechamiento de la

reutilización de nejayote en el proceso de nixtamalización puede ayudar a incrementar los niveles nutricionales de la tortilla en comparación con las tortillas obtenidas a partir de una nixtamalización tradicional.

Santiago (2014), reporta en sus resultados un aumento en el contenido de proteína de tortillas elaboradas a partir de una nixtamalización con CaSO_4 y CaCl_2 en comparación con tortillas de harina nixtamalizada comercial, lo cual se debe probablemente a que durante el proceso de nixtamalización se pierden proteínas debido a la solubilización por el proceso termo-alcálico empleado.

Según Campechano *et al.*, (2012) las tortillas obtenidas de una nixtamalización tradicional tienen menor contenido de proteína. Esto se debe a que los iones OH^- tienen la capacidad de hidrolizar parte del pericarpio y solubilizar proteínas, las cuales se lixivian a la solución de cocimiento.

3.6.3 Cenizas

La concentración de cenizas en el grano de maíz es aproximadamente de 1.4 %, pero ese porcentaje varía considerablemente debido a factores ambientales. De acuerdo a la FAO (2001), se reporta un contenido de cenizas de 0.8 a 1.4 % en tortillas de diferentes variedades de maíz.

En la Fig. 3.12 se muestra claramente la diferencia entre el contenido cenizas de las tortillas elaboradas bajo las diferentes condiciones de nixtamalización a las que fue sometido el grano de maíz, sin embargo se obtuvo un mayor contenido de cenizas en tortillas nixtamalizadas con reutilización de nejayote al 70 % (TN2) seguido de tortillas nixtamalizadas con reutilización de nejayote al 50 % (TN1).

Las tortillas elaboradas con recirculación de nejayote al 70 % (TN2) con una concentración de hidróxido de calcio al 1.0 y 1.2 %, presentan un contenido de cenizas de entre 2.03 y 2.15 g/100 g respectivamente.

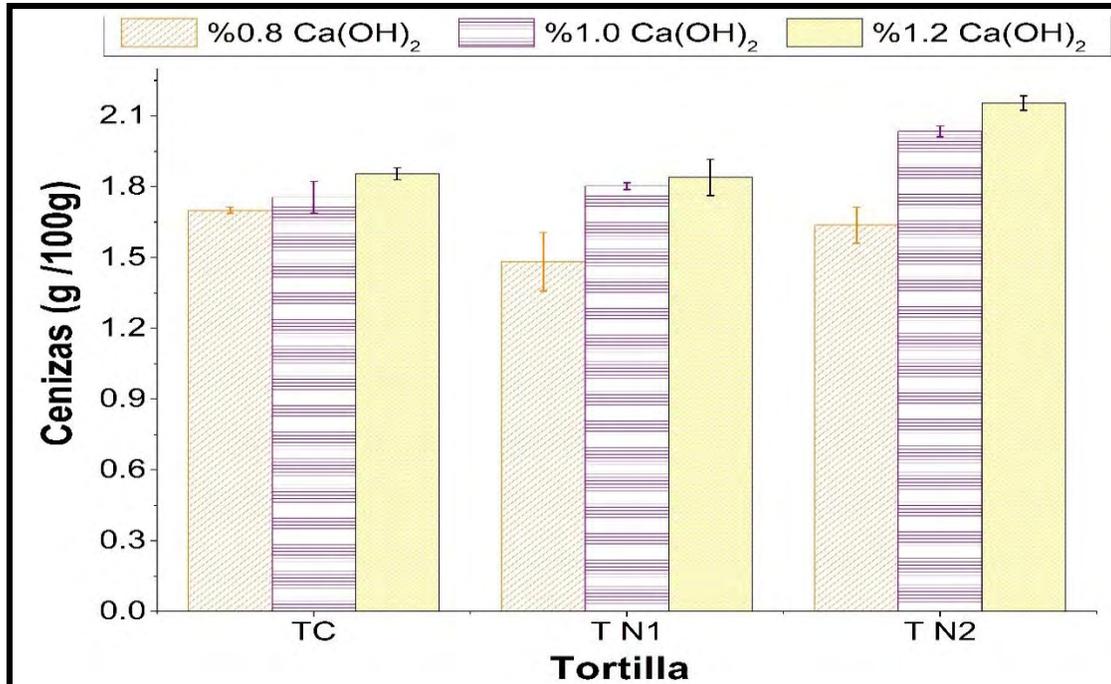


Fig. 3.12 Contenido de cenizas en tortillas de maíz nixtamalizado. TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de Ca(OH)₂= 0.8, 1.0 y 1.2 %.

El contenido de cenizas en tortillas nixtamalizadas aumentó con el tratamiento con recirculación de nejayote al 70 % (TN2). En este estudio, el contenido de cenizas en las tortillas control y las tortillas con reutilización de nejayote al 50 % con las tres diferentes concentraciones de Ca(OH)₂ no fue significativamente diferente ya que la concentración de cal utilizada en ambos procesos es igual además de que la dilución de nejayote-agua es 1:1. Esto puede deberse a la concentración de hidróxido de calcio y la reutilización de nejayote debido a que este tiene un elevado contenido de sólidos según Valderrama-Bravo *et al.*, (2012) reporta un contenido de sólidos totales suspendidos de $8\,342 \pm 25$ mg/L.

3.6.4 Humedad

El contenido de humedad es un factor de calidad importante en la elaboración de tortillas, ya que esta puede alcanzar valores de 30 a 45 %, debido a la adición de agua, permitiendo conseguir un producto pastoso y flexible (Paredes, 2009)

En la Fig. 3.13 se muestra claramente la diferencia entre el contenido de humedad de las tortillas elaboradas bajo las diferentes condiciones de nixtamalización a las que fue sometido el grano de maíz; entre la nixtamalización control y las nixtamalizaciones con reutilización de nejayote MN1 (50 % de nejayote) y MN2 (70 % de nejayote) a una concentración de 1.0 y 1.2 % de Ca(OH)_2 . En las tortillas obtenidas de los diferentes tratamientos los valores para esta variable fueron entre 32.05 % valor más bajo correspondiente a TN1 0.8 % de Ca(OH)_2 y 38.76 % valor más alto correspondiente a TN2 1.0 de Ca(OH)_2 , de tal forma que no existe efecto significativo de la proporción de la concentración de hidróxido de calcio o de la dilución de nejayote utilizada, de tal forma que la humedad depende de la cantidad de agua adicionada durante la etapa de molienda.

Salinas-Moreno *et al.*, (2011) reportaron un contenido de humedad de 32.9 a 37.8 % en tortillas obtenidas con la nixtamalización de maíces ceroso con maíz dentado. De igual forma Hernández-Nava (2004), realizó pruebas a tortillas adicionadas con gomas (CMC, goma guar, goma xantana), reportando un contenido de humedad de 37.26 % para tortillas elaboradas tradicionalmente y de 41 a 43 % para tortillas adicionadas con gomas. De tal forma que relaciona la diferencia de humedades en la tortilla debido a la capacidad de absorción de agua del grano extruido. Además de que la retención de agua es relacionada con las características del grano, la molienda del mismo.

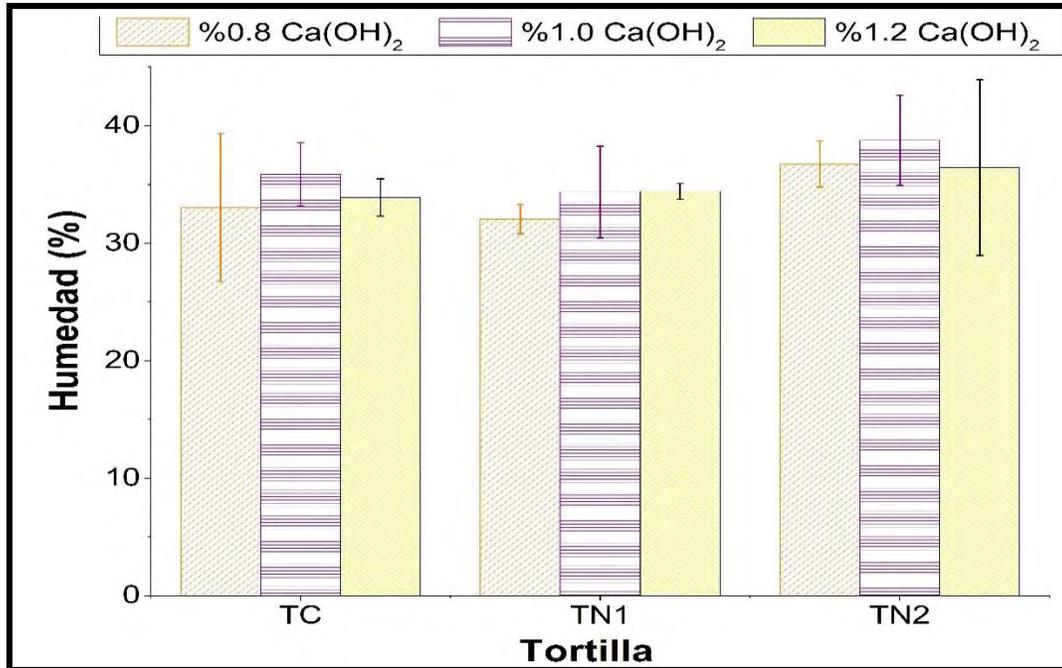


Fig. 3.13 Contenido de humedad en tortillas de maíz nixtamalizado. TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de Ca(OH)₂= 0.8, 1.0 y 1.2 %.

Adicionalmente, los resultados del contenido de humedad para las tortillas elaboradas mediante cualquier variación en el proceso de nixtamalización, son similares a los reportados. El contenido de humedad es un parámetro de importancia y tiene influencia sobre la textura de la tortilla, por lo que un valor más bajo de humedad producirán una tortilla poco flexible y rolable.

3.6.5 Fibra cruda

De acuerdo con la FAO (2001), reporta un contenido de fibra cruda de un 0.6 a un 1.4 % en tortillas nixtamalizadas con diferentes variedades de maíz.

En la Fig. 3.14 se reportan los resultados de contenido de fibra cruda entre las muestras y se presenta una diferencia significativa entre la nixtamalización control y las nixtamalización con reutilización de nejayote.

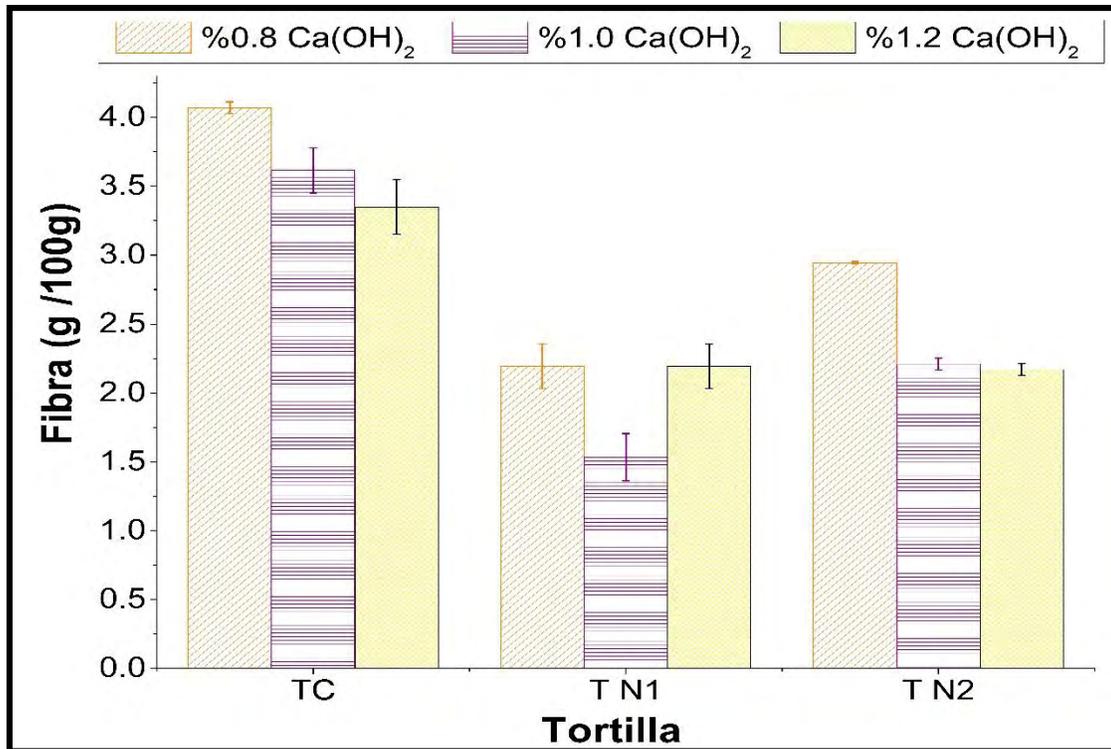


Fig. 3.14 Contenido de fibra cruda en tortillas de maíz nixtamalizado. TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca(OH)}_2 = 0.8, 1.0$ y 1.2 %.

Las tortillas control presentaron un mayor contenido de fibra cruda, teniendo un mayor contenido las tortillas de maíz nixtamalizado a una concentración 0.8 % de hidróxido de calcio obteniendo como resultado 4.07 g/100 g. Las tortillas elaboradas con recirculación de nejayote al 50 % (TN1) y 70 % (TN2) no mostraron diferencia significativa sin importar la concentración de hidróxido de calcio. En el caso de las tortillas control se obtuvo un mayor contenido de fibra, fenómeno que podría estar relacionado con el proceso de nixtamalización, la variedad de maíz y la concentración de hidróxido de calcio utilizado. De tal forma que a una menor concentración de Ca(OH)_2 en este caso 0.8 %, se pierde una menor cantidad de pericarpio durante el lavado del grano y por lo tanto de igual forma se reduce la concentración de estos sólidos en el nejayote; de tal forma que a medida que aumenta la concentración de hidróxido de calcio la fibra cruda en las tortillas disminuye. En el caso de las tortillas TN1 y TN2, se obtuvo un menor contenido de fibra cruda debido a que la concentración del hidróxido de calcio, la concentración de nejayote reutilizado y el pH del mismo debilitan las paredes celulares del grano, facilitando así la eliminación del pericarpio y consigo la fibra cruda.

3.6.6 Fenoles totales.

El contenido de fenoles totales de las tortillas de maíz bajo las diferentes condiciones de nixtamalización se presenta en la Fig. 3.15.

Varios autores han investigado la composición y concentración polifenólica de los granos de cereales, no solo por su papel en la estructura de la pared celular, sino también por sus propiedades antioxidantes.

En la Fig. 3.15 se reporta el contenido de fenoles totales entre las tortillas elaboradas, de tal forma que se puede identificar que se obtuvo un mayor contenido de fenoles totales en tortillas nixtamalizadas con reutilización de nejayote al 70 % (TN2) seguido de tortillas nixtamalizadas con reutilización de nejayote al 50 % (TN1) en comparación con las tortillas elaboradas tradicionalmente.

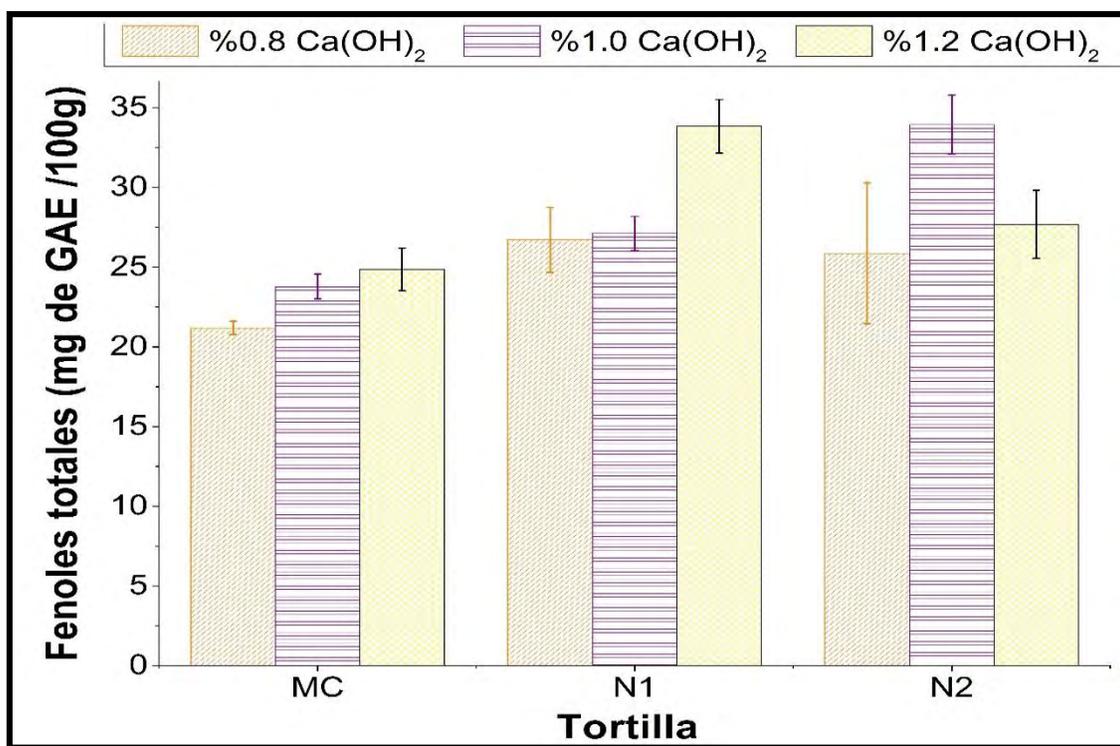


Fig. 3.15 Contenido de fenoles totales en tortillas de maíz nixtamalizado. TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de Ca(OH)₂= 0.8, 1.0 y 1.2 %.

En la Fig 3.15 se muestra claramente la diferencia entre el contenido fenoles totales de las tortillas elaboradas bajo las diferentes condiciones de nixtamalización a las que fue sometido el grano de maíz.

El análisis de fenoles totales mostró diferencias significativas entre la concentración de calcio, la concentración de nejayote y sus interacciones. De tal forma que en las tortillas con reutilización de nejayote se obtuvo un contenido de fenoles de 25.86 a 33.92 mg de GAE/100 g, mientras que en las tortillas control se obtuvo un valor máximo de fenoles totales de 24.85 mg de GAE/100 g a una concentración de 1.2 % de Ca(OH)_2 ya que en comparación con las tortillas tradicionales (control) el nejayote es una solución rica en sólidos solubles, fibra cruda, calcio y compuestos fenólicos (Gutiérrez-Uribe *et al.*, 2010).

Según Salinas-Moreno *et al.*, (2007) reportaron mayores contenidos de fenoles totales y libres en muestras de masas y tortillas nixtamalizadas tradicionalmente en comparación con los valores encontrados en el grano crudo.

Mora-Rochin *et al.*, (2010) reportan que los fenoles totales son la suma de los fenoles libres y los fenoles ligados. Los autores evaluaron el contenido fenólico de cinco variedades de maíz, observando que las diferencias podrían atribuirse a la genética, propiedades físicas y anatómicas del grano. Obtenido valores de 13.5 a 28.0 mg GAE/100 g.

De tal forma que la pérdida de compuestos fenólicos se puede atribuir al efecto combinado del proceso termo-alcálico (nixtamalización) en la eliminación del pericarpio y la lixiviación de compuestos fenólicos durante la cocción de tal forma que estos compuestos quedan suspendidos en la solución alcalina “Nejayote” y al reutilizarlo durante el proceso de cocción y reposo del grano puede generarse una transferencia de materia del nejayote al grano aumentando el contenido de fenoles totales en tortillas.

3.7 Micobiota de tortillas

La tortilla se elaboró a base de maíz, el cual la constituye y está expuesto a contaminación por mohos, que se pueden encontrar en el ambiente o en el mismo maíz durante su cosecha u almacenamiento.

En general no hubo un crecimiento significativo de mohos después de la nixtamalización que no permita el consumo de este producto, ya que de acuerdo con la NMX-F-046-S1980, para productos nixtamalizados se reporta un límite de 1000 UFC/g.

Cada microorganismo tiene un intervalo de pH en el que puede desarrollarse adecuadamente y fuera del mismo muere, sin embargo, el pH óptimo en la mayoría de los microorganismos está en un intervalo de 6-8 (Flores y Villagran, 2014). La NOM-111-SSA1-1994, propone utilizar como medio de cultivo PDA (agar papa dextrosa) para la detección y cuantificación de mohos y levaduras, sin embargo se utilizó un segundo medio de cultivo MEA (extracto malta agar) ya que es un medio de cultivo más rico en nitrógeno y otras fuentes de carbono, favoreciendo el desarrollo fúngico, ya que al comparar el crecimiento microbiano se observa que hay un mayor crecimiento fungicida, aunque éste no sea significativo con respecto al crecimiento en el medio de cultivo PDA.

En las Fig. 3.16, 3.17 y 3.18 se muestran los resultados del análisis microbiológico realizado a las tortillas de maíz nixtamalizado en dos medios de cultivo MEA (extracto malta agar) y PDA (agar papa dextrosa). Como se puede observar en los gráficos, los géneros de mohos detectados fueron: *Fusarium*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Monilia*, *Cladosporium*, *Aspergillus flavus* y *Aspergillus candidus*. De acuerdo con los resultados obtenidos, se cuantificó el género *Penicillium* entre 6×10^2 y 8×10^2 UFC/g en las tortillas elaboradas con la masa control sin importar el tratamiento de nixtamalización empleado.

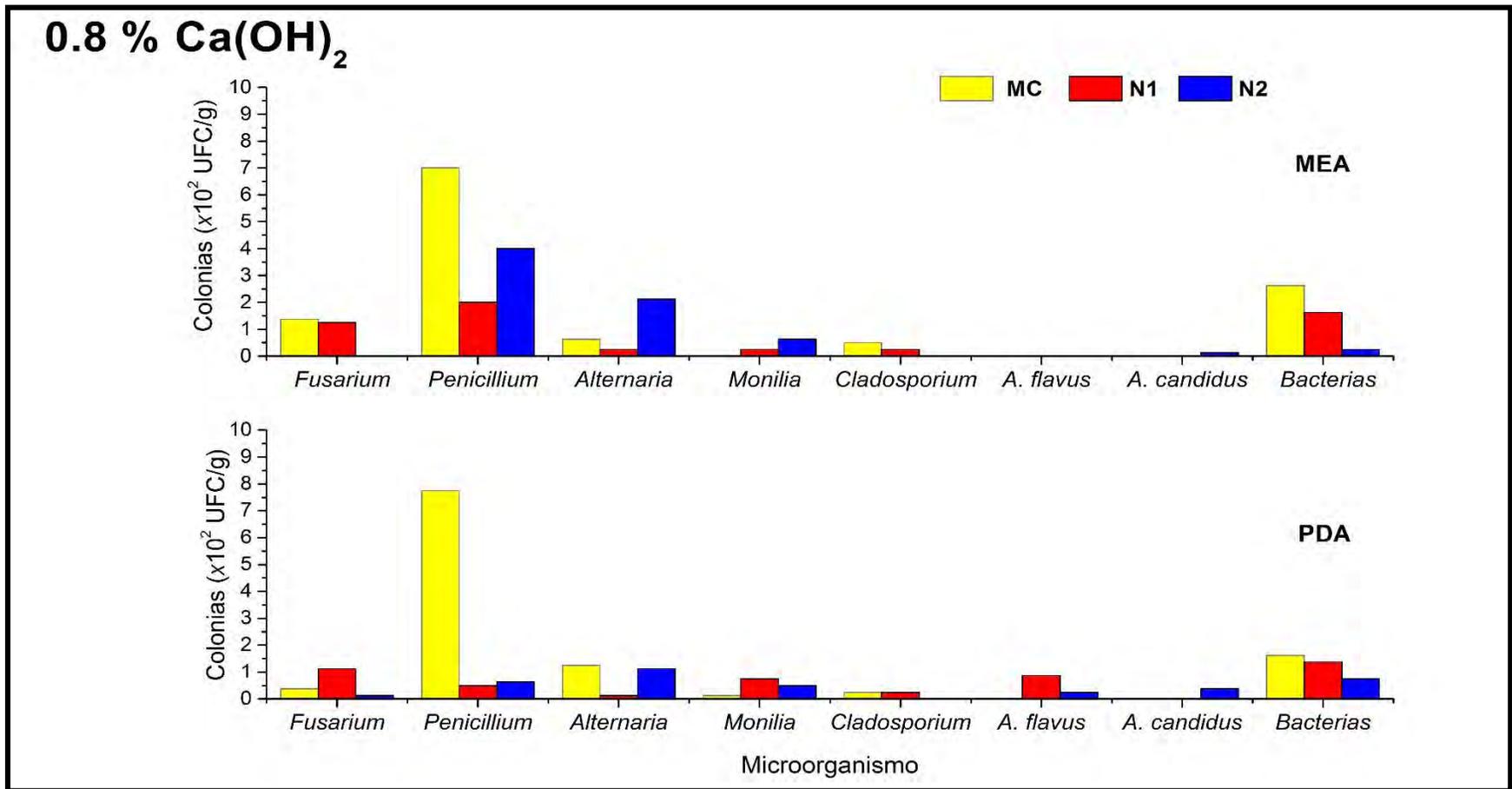


Fig. 3.16 Valores medios de UFC/g en tortillas de maíz nixtamalizado al 0.8 % de Ca(OH)₂ en dos medios de cultivo, Agar Extracto de Malta y Agar Papa Dextrosa respectivamente. TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 %.

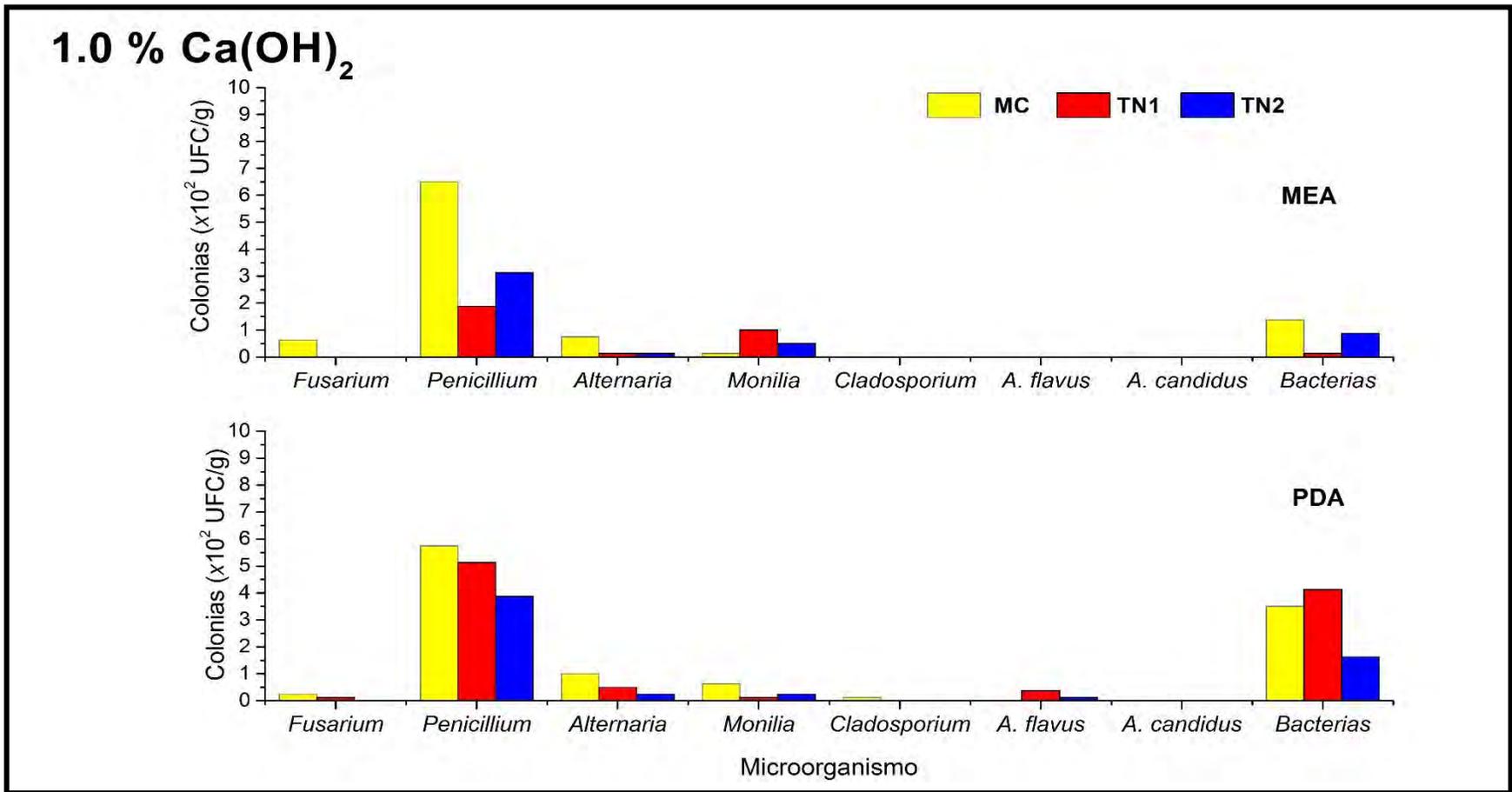


Fig. 3.17 Valores medios de UFC/g en tortillas de maíz nixtamalizado al 1.0 % de Ca(OH)₂ en dos medios de cultivo, Agar Extracto de Malta y Agar Papa Dextrosa respectivamente. TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 %.

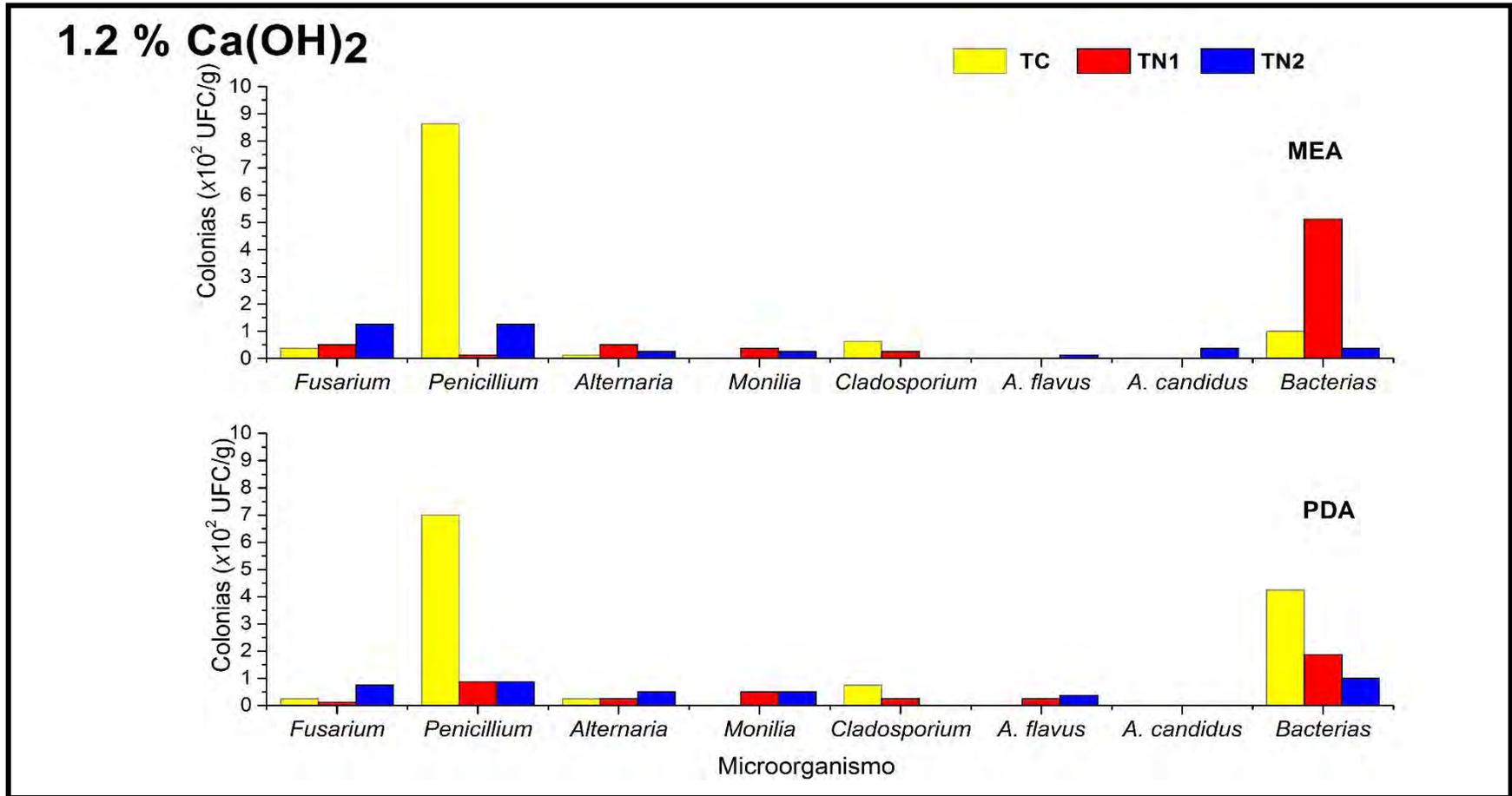


Fig. 3.18 Valores medios de UFC/g en tortillas de maíz nixtamalizado al 1.2 % de Ca(OH)₂ en dos medios de cultivo, Agar Extracto de Malta y Agar Papa Dextrosa respectivamente. TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 %.

Con respecto a las tortillas elaboradas con reutilización de nejayote al 50 %, se cuantificaron colonias de *Penicillium* de 1×10^2 a 5×10^2 UFC/g, sin embargo se observó un menor crecimiento de este hongo en el tratamiento con 1.2 % de Ca(OH)_2 , ya que en el tratamiento con reutilización de nejayote al 70 %, se cuantificaron colonias de 1×10^2 a 4×10^2 UFC/g, de este mismo hongo.

Como se mencionó, con el tratamiento TN1 al 1.2 % se logró disminuir considerablemente el crecimiento de mohos en general en comparación con las masas control. Según Dombrink-Kurtzman *et al.*, (2000) el método tradicional para la elaboración de tortillas de maíz es la nixtamalización y este tratamiento ha demostrado gran eficiencia en la descontaminación, reduciendo los niveles de contaminación aproximadamente en un 80 %, de tal forma, que la reutilización de nejayote y adición de calcio se puede obtener un pH cercano al límite máximo de alcalinidad que es de 10 a 14, inhibiendo de alguna forma el crecimiento.

En lo que respecta a la inhibición del crecimiento de los mohos por la acción del tratamiento empleado en la nixtamalización, únicamente se observó dicho efecto en las especies *Aspergillus flavus* y *Aspergillus candidus*, observándose una actividad fungicida en las tortillas obtenidas bajo la nixtamalización TN1 seguido de la nixtamalización TN2. Y en el caso del género *Aspergillus* ninguno de los tratamientos logró inhibir significativamente las UFC. En general los cultivos agrícolas son invadidos por diversos mohos durante su cultivo y almacenamiento. Algunos de estos mohos producen sustancias tóxicas. La nixtamalización con nejayote disminuye estos microorganismos debido al aumento de la alcalinidad de medio (Soriano, 2002). Sin embargo, hay poca investigación publicada se puede encontrar en la microbiota de no fermentados; productos de maíz, como masa de maíz fresco y los productos derivados de los mismos.

Los mohos son objeto de interés mundial debido a las importantes pérdidas económicas que tienen efecto sobre la salud de las personas, la productividad de los animales y el comercio nacional e internacional de los granos. La Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación estima que las micotóxicas generadas por mohos afectan el 25 % de la producción agrícola anual (FAO, 2001).

3.8 Textura de tortillas

3.8.1 Extensibilidad

La tendencia de la extensibilidad de las tortillas se muestra en la Fig. 3.19, se observa claramente la tendencia de la deformación de las masas a medida que aumenta la fuerza aplicada, de tal forma que al aplicar una carga al tiempo inicial se produce una deformación inicial que aumenta con el tiempo; de tal forma que la magnitud de la deformación permanece en el cuerpo a medida que aumenta el esfuerzo y el tiempo de aplicación (Dobraszcyk y Vincent, 1999).

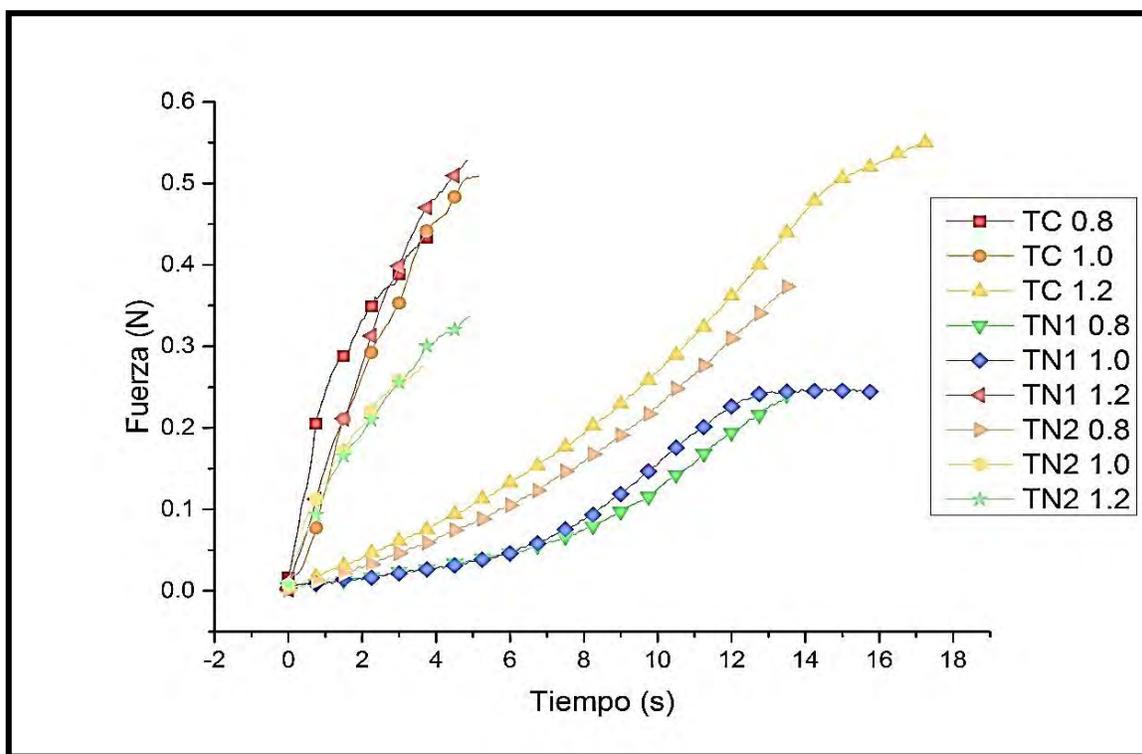


Fig. 3.19 Curva de extensibilidad de tortillas de maíz. TC= tortillas control, TN1= tortillas con reutilización de nejayote 50 %, TN2= tortillas con reutilización de nejayote 70 % a tres concentraciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2= 0.8, 1.0$ y 1.2 %.

El aumento en la concentración de hidróxido de calcio y el reuso de nejayote ayudan a obtener diferentes tipos de tortilla con características texturales igualmente diferentes, sin embargo, el comportamiento de máximo esfuerzo de extensibilidad de un producto ocurre cuando se rompen las uniones entre los elementos estructurales (almidón-agua), esta fractura ocurre a diferentes tiempos y se inicia cuando el esfuerzo es excedido, es decir, que el material llega a su deformación límite. Las tortillas obtenidas bajo las condiciones TN1 1.2, TC 0.8 y TC

1.0 presentaron una mayor resistencia a la fuerza aplicada de 0.5 N por 5 segundos, los tratamientos TN1 0.8 y 1.0 presentaron una fuerza aplicada menor 0.2 N pero el tiempo fue más prolongado de 14 a 16 segundos. Mientras que las tortillas con reutilización de nejayote al 70 % (TN2) presentaron menor resistencia al esfuerzo aplicado; esto puede deberse a la humedad propia del nixtamal que osciló entre 51.81 y 54.40 % para la MN2 y la humedad final de la tortilla elaborada que bajo dicho tratamiento presentó una humedad de 36.44 a 38.76 % generando tortillas más suaves y susceptibles al esfuerzo aplicado por un tiempo menor en comparación a los tratamientos TC y MN1. De tal forma que la elasticidad de las masas se ve afectado por los tratamientos de nixtamalización empleados.

Esta diferencia entre las tortillas elaboradas bajo las diferentes condiciones de proceso se puede atribuir a que la reutilización de nejayote implica un aumento de sólidos debido a la solubilización del pericarpio en la solución alcalina, según Niño-Medina *et al.*, (2009) el pericarpio contiene arabinosilanos que muestran propiedades funcionales como espesante, estabilizante, emulsificante y formación de geles, propiedades que favorecieron a las tortillas TN1 (50 % nejayote) y que no presentaron las tortillas TN2 (70 % nejayote) ya que con la adición de Ca(OH)_2 se obtuvo un medio mayormente alcalino y el pericarpio en el grano se eliminó con mayor facilidad en este tratamiento. Otro factor importante es el fenómeno de retrodegradación de los polímeros solubles del almidón y los fragmentos insolubles se reasocian después del calentamiento, que eventualmente se forman cristales acompañados por un incremento gradual de rigidez (Agama *et al.*, 2004; Rodríguez- Sandoval *et al.*, 2005) afectando en la textura del producto.

3.8.2 Pruebas hedónicas

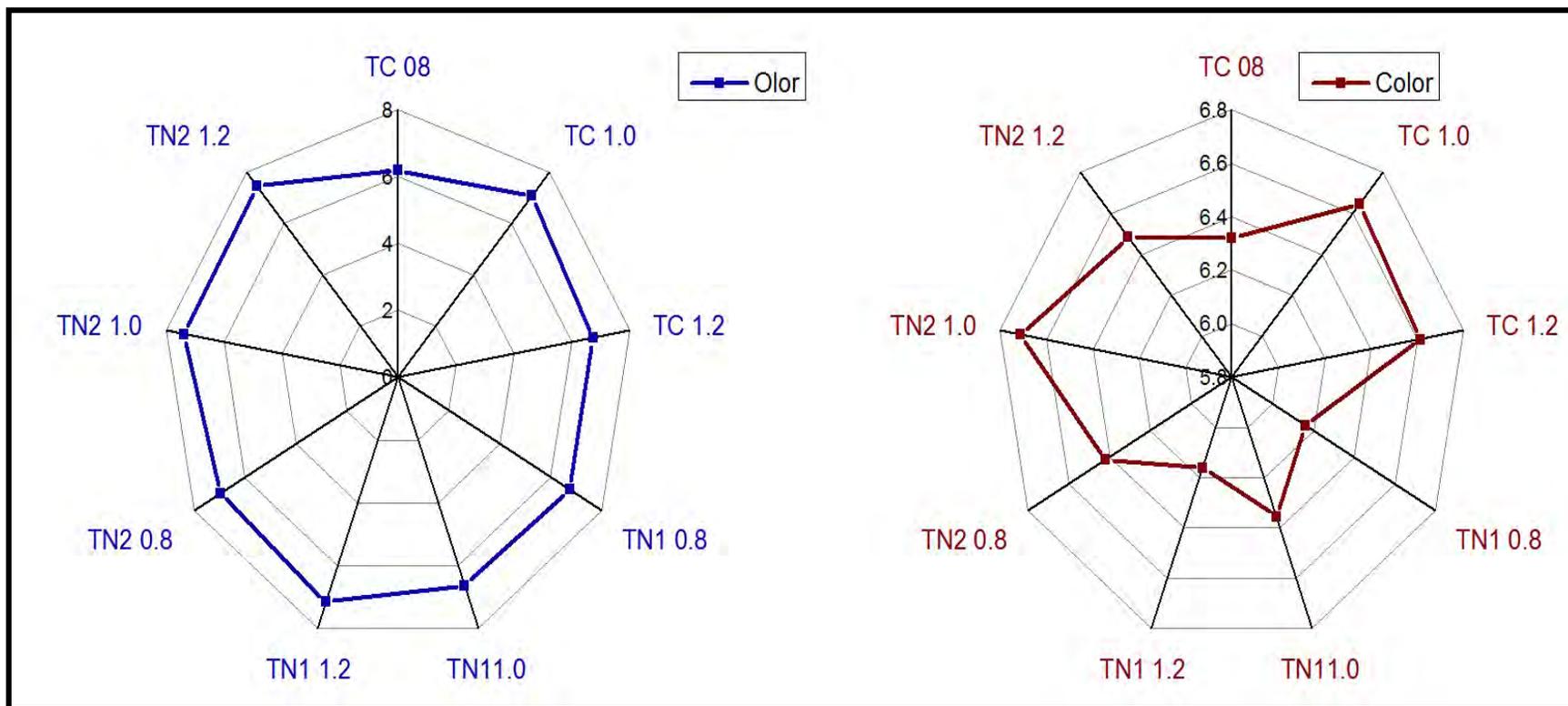


Fig. 3.20 Graficas radiales de comparación de atributos: Olor y Color. TC= tortilla control; TN1= Tortilla, reutilización de nejayote 50 %; TN2= Tortilla, reutilización de nejayote 70 %. Concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 0.8, 1.0$ y 1.2 %.



Fig. 3.21 Graficas radiales de comparación de atributos: Sabor y Textura. TC= tortilla control; TN1= Tortilla, reutilización de nejayote 50 %; TN2= Tortilla, reutilización de nejayote 70 %. Concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ = 0.8, 1.0 y 1.2 %.

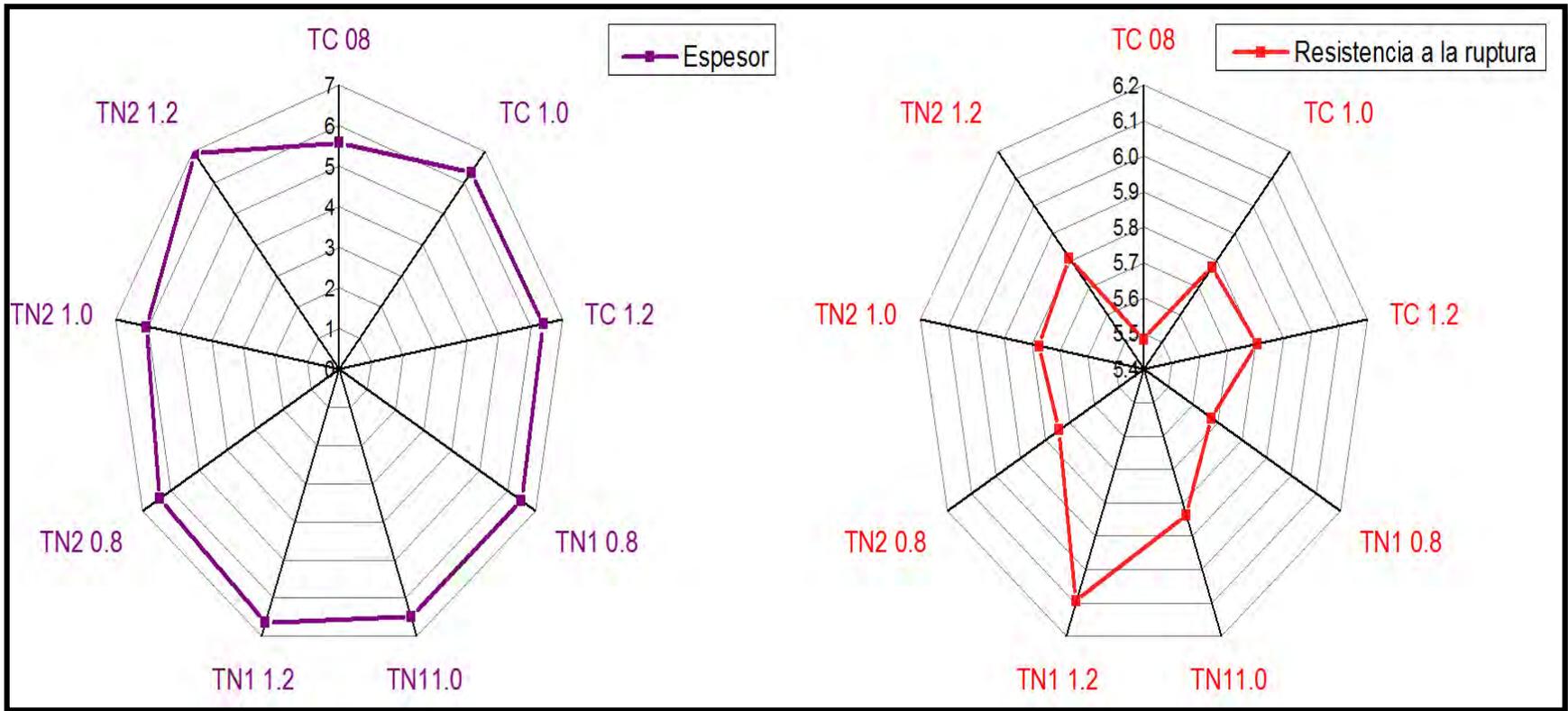


Fig. 3.22 Graficas radiales de comparación de atributos: Espesor y Resistencia a la ruptura. TC= tortilla control; TN1= Tortilla, reutilización de nejayote 50 %; TN2= Tortilla, reutilización de nejayote 70 %. Concentración de Ca(OH)_2 = 0.8, 1.0 y 1.2 %

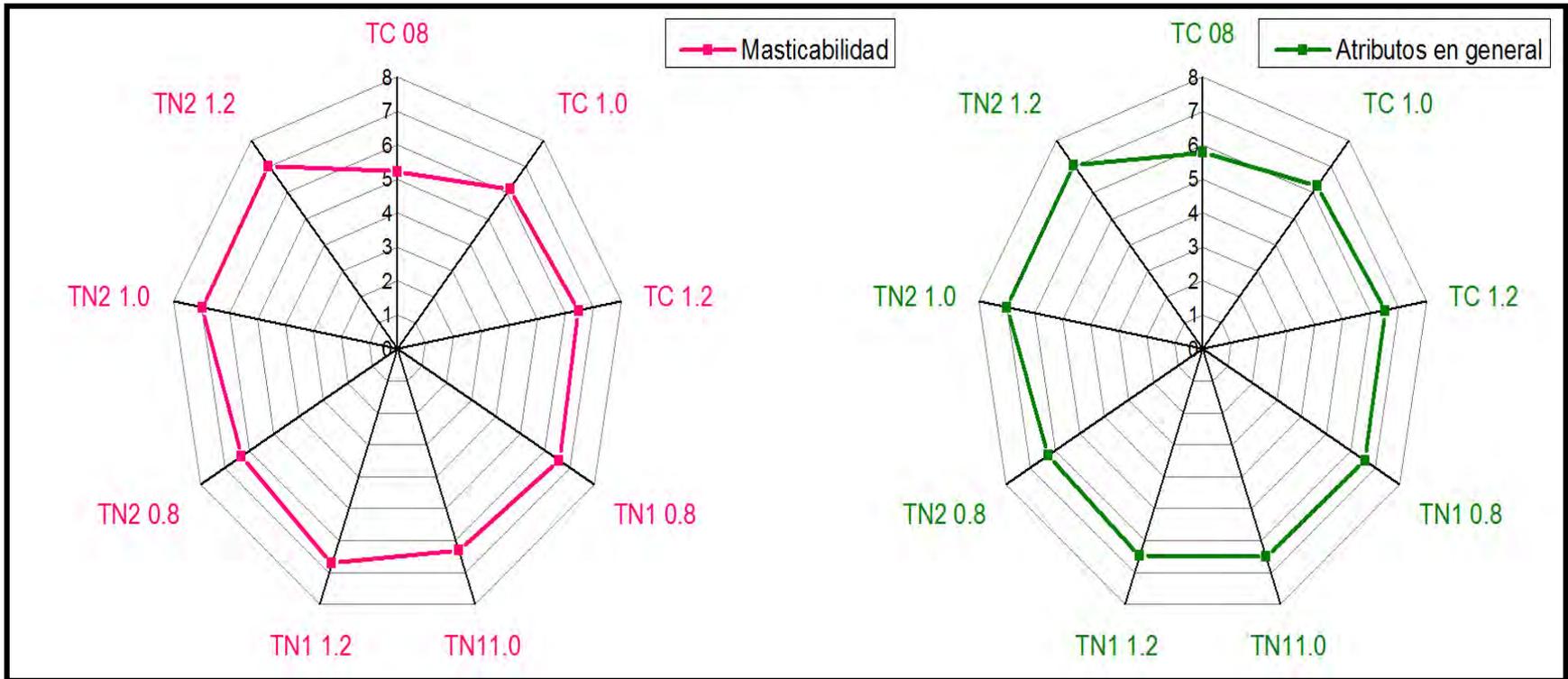


Fig. 3.23 Graficas radiales de comparación de atributos: Masticabilidad y Atributos en general. TC= tortilla control; TN1= Tortilla, reutilización de nejayote 50 %; TN2= Tortilla, reutilización de nejayote 70 %. Concentración de Ca(OH)_2 = 0.8, 1.0 y 1.2 %

En las figuras 3.20, 3.21, 3.22 y 3.23; se presentan los resultados de las pruebas sensoriales representadas con ayuda de gráficas radiales de comparación de atributos de tortillas elaboradas bajo diferentes condiciones de nixtamalización.

En cuanto olor, sabor, textura hay una mayor aceptación por las tortillas nixtamalizadas bajo los tratamientos TN2 1.0 y TN2 1.2, con respecto al color se observa una gran diferencia entre los tratamientos, mostrando mayor agrado la tortilla TN2 1.0 y desagrado por las tortillas masa control. Con respecto a los atributos de espesor y resistencia a la ruptura se mostró mayor agrado por las tortillas elaboradas bajo el tratamiento TN2 1.2, sin embargo, los jueces al evaluar los parámetros en general de las tortillas elaboradas con las diferentes condiciones de nixtamalización se calificaron con grado de gusto moderado, mostrando mayor desagrado la tortilla bajo el tratamiento TN1 0.8.

En general se observa que, los descriptores muestran en su mayoría preferencia por las tortillas nixtamalizadas con reutilización de nejayote al 50 % y 70 % con una concentración de 1.0 y 1.2 % de Ca(OH)_2 respectivamente, siendo el color el parámetro con un mayor cambio en el grado de aceptación, estas muestras tienden a ser más suaves en cuanto a textura como resultado una mayor absorción de agua generando masas más suaves y tortillas mayormente flexibles, de igual forma presentan un olor y sabor más dulce en comparación con las tortillas de masa control, obteniéndose una mejor percepción general de los atributos; esto debe a que los parámetros evaluados en las pruebas sensoriales son afectados por las condiciones del proceso de nixtamalización ya que es durante este proceso la interacción entre el calcio y el grano determina las propiedades físicas, químicas y sensoriales de productos elaborados a partir de maíz (Gutiérrez-Cortéz et al.,2007).

Así mismo estos cambios están directamente relacionados con el tiempo, temperatura de cocción y concentración de hidróxido de calcio y la variedad de maíz utilizado (Contreras-Jiménez *et al.*, 2014).

4. CONCLUSIONES

- 1) Las características físicas de una variedad de maíz son parámetros importantes para determinar y establecer el tiempo de cocción en el proceso de nixtamalización.
- 2) Los valores de $G' > G''$ muestran que las propiedades elásticas dominan sobre las viscosas, ya que el módulo de almacenamiento incrementa con el aumento en la concentración de sólidos en la masa tal como es el caso de las masas control y a las masas con reutilización de nejayote al 50 % a una concentración 1.0 % de Ca(OH)_2 , lo que indica un comportamiento más predominante de un alimento semi-sólido.
- 3) Las pruebas de compresión uniaxial han sido muy utilizadas para determinar distintos parámetros, que pueden verse reflejados en la textura final de algunos productos debido a que son pruebas que proporcionan cierta reproducibilidad. Las propiedades mecánicas y de textura de masas de maíz nixtamalizado han sido poco estudiadas, sin embargo, los ensayos de compresión uniaxial lubricada permitieron observar el comportamiento mecánico de las masas de maíz nixtamalizado hasta el momento de su ruptura. Las pruebas de compresión uniaxial, ofrecen una manera de estudiar el comportamiento viscoelástico con una buena repetibilidad de resultados. El esfuerzo normal verdadero de ruptura de las masas, aumentó en la nixtamalización con recirculación de nejayote al 50 % en las 3 concentraciones de Ca(OH)_2 , formando una masa más resistente.
- 4) Con respecto a las características microbiológicas de las tortillas, existen pocos estudios sobre la micobiota de las mismas, por lo que se sugiere continuar la investigación en masa, harina y producto final.
- 5) Analizando los histogramas obtenidos de la comparación entre las diferentes condiciones de nixtamalización para la obtención de tortillas se concluye que hay diferencias significativas entre estas de modo que la concentración de calcio, dilución de nejayote y sus interacciones influyen directamente en la composición química de tortilla, sin embargo, las interacciones de N1-1.2 %, N2-1.0 % hay un mayor contenido de proteína y fenoles en comparación con la MC.

6) Las características sensoriales (color, textura, sabor, olor, resistencia a la ruptura, etc.) de las tortillas dependieron de la concentración de hidróxido de calcio y la concentración de nejayote reutilizado, en donde la masa control 0.8 % Ca(OH)_2 (nixtamalización tradicional) mostró mayor desagrado en las características evaluadas en comparación con los tratamientos posteriores, las tortillas que mostraron mayor agrado en atributos en general fueron las tortillas bajo los tratamientos con reutilización de nejayote al 50 y 70 % con una concentración de hidróxido de calcio de 1.0 y 1.2 % respectivamente. Sin embargo, los descriptores no pudieron identificar significativamente la diferencia entre una tortilla y otra, por lo que los jueces deben ser mayormente entrenados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acevedo A. D. (2009). Determinación de la magnitud de esfuerzos in situ. Tesis de Ingeniería Petrolera, Facultad de Ingeniería, UNAM.
2. Acosta-Estrada B.A., Lazo-Vélez M.A., Nava-Valdez Y., Gutiérrez-Uribe J.A., Serna-Sáldivar S.O. (2014). Improvement of dietary fiber, ferulic acid and calcium contents in bread enriched with nejayote food additive from White maize (*Zea mays*). *Journal of Cereal Science* 60, 264-269.
3. Agama-Acevedo, E., Rendón-Villalobos, R., Tovar, J., Paredes-López, O., Islas-Hernández, J. J., Bello-Paredes, L. A. (2004). In vitro starch digestibility changes during storage of maize flour tortilla. *Nahrung* 48, 38-42.
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, 16th Ed. Volumen II. The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, M.D.
6. Aranda, I. (2012). Physical properties of foods: Novel measurement techniques and applications. *Publishing House CRC PRES. USA*. 53-70.
7. 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.
8. Bello, L., Osorio, P., Agama, E., Nuñez, S. C., Paredes-López, O. (2002). Chemical and physicochemical properties of dried wet masa and dry masa flour. *Agrociencia*, 36, 319-326
9. Benítez-Cardoza, C. (2006). El maíz: origen, composición química y morfología. *Materiales Avandos* 7, 15-20
10. Boyer, C.D., Duesing, W.J. (1989). Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. *Cereal Foods World* 34, 535-538.
11. Boyer, C.D., Shannon, J. C. (1987). Carbohydrates of the kernel. Corn: chemistry and technology. *American Association of Cereal chemists*, 253-272.
12. Brunatti, K.K., Liu, R.H. (2009). Antioxidant activity of grains. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 50, 182-187.

13. Callejo G., Rodríguez B. (2002). Industrias de cereales y derivados. Mundi Prensa, 1^a Edición. España.
14. Callister, W. D. (1995). Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Reverté, Barcelona, 113-115.
15. Camacho A., Giles M., Ortega A., Palao M. (2009). Técnicas para el análisis microbiológico. 2da edición. Facultad de Química, UNAM. México. 38-59.
16. Campas-Bypoli, O. N., Rosas-Burgos, E. C., Torres-Chávez, P. I., Ramírez-Eong, B., Serma-Saldiva, S. O. (2002). Physicochemical changes of starch in maize tortillas during storage at room and refrigeration temperatures. *Starch/Starke* 54, 358-363
17. Campechano C., E. M., J. D., Figueroa C., J. Arámbula V., H. E. Martínez F., S. J., Jiménez S., Gabriel L. B. 2012. New ecological nixtamalization process for tortilla production and its impact on the chemical properties of whole corn flour and wastewater effluents. *International Journal of Food Science and Technology*. 47, 564-571.
18. Castañeda, R. (2002). La reología en la caracterización y tipificación de quesos. *Tecnología Láctea Latinoamericana* 26, 48-53.
19. Contreras-Jiménez B., Gaytan-Martínez M., Figueroa-Cárdenas J., Avalos-Zúñiga Raúl, 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, 72-77.
20. Cota Gastelum, A. G. (2004). Utilización del método de compresión uniaxial con lubricación para evaluar la viscosidad en pasta cocida. Tesis de maestría en ciencias, Universidad de Sonora.
21. Dobraszczyk, B. J., Vincent, J. F. V. (1999). Measurement of mechanical properties of food materials in relation to texture: The materials approach. *Food Texture Measurements and Perception*. Rosenthal, Aspen publication, Maryland. 99-151.
22. Dombrink-Kurtzman M. A., Dvorak T. J., Barron M. E., Rooney, L. W. (2000). Effect of nixtamalization (alkaline cooking) on fumonisin-contaminated corn for production of masa and tortillas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 81-86.
23. Domínguez, E., Carrillo, P. (2003). Efluentes de la industrialización del maíz: ¿Contaminante o recurso valioso? *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*. 57-59.

24. Encyclopedia Britannica, School and library subscribers. <http://www.britannica.com/EBchecked/media/162/The-outer-layers-and-internal-structures-of-a-kernel-of>. Fecha de consulta: 16 de Agosto 2015.
25. FAO (1993). El maíz en la nutrición humana. Departamento de agricultura. <http://ww.fao.org/docrep/t0395s/t0395s00.htm>. Fecha de consulta: 29 de Noviembre 2015.
26. FAO (2001). Composición química y valor nutritivo del maíz <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s03.htm>. Fecha de consulta: 16 de Octubre 2016.
27. 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* 106, 60–64.
28. Figueroa, C. J de D., Martínez, B.F., González, H. J. Sánchez, S. F., Martínez, M. J. de la L., Ruiz, T. M. (1994). Modernización tecnológica del proceso de nixtamalización. *Avance y perspectiva*, 13. México.
29. Flores, S. N., Villagran O. P., (2014). Reutilización de nejayote en la nixtamalización y su efecto en las propiedades microbiológica, reológicas y texturales de masas y tortillas. Tesis de Ingeniería en Alimentos, FES-Cuautitlán, UNAM.
30. Friend, C. P., Waniska, R. D., Rooney, L. W. (1992). Effects of hydrocolloids on processing and qualities of wheat tortillas. *Cereal chemistry* 70, 252-255.
31. Gasca, M. J., Casas, A. N. (2007). Adición de harina de maíz nixtamalizado a masa fresca de maíz nixtamalizado. Efecto en las propiedades texturales de masa y tortillas. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 6, 317-328.
32. Gates, F. K., Dobraszczyk, B.J. (2004). Mechanical properties of oats and oat products. *Agricultural and food science* 13, 113-123.
33. González-Hernández, J. (1997). Technological Modernization of the alkaline cooking process for the production of masa and tortilla. Eds. Physics and industrial development: Bridging the gap. Singapore and London. *World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.* 126-178.
34. 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.

35. Gutiérrez-Urbe J., Rojas-García C., García-Lara S., Serna-Saldivar S.O. (2010). Phytochemical analysis of wastewater (nejayote) obtained after lime-cooking of different types of maize kernels processed in to masa for tortillas. *Jornal of Cereal Science* 52, 410-416.
36. Hernández-Nava, R. 2004. Estudio del tiempo de almacenamiento de tortillas adicionadas con goma arábica, su efecto reológico. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Acapulco. Acapulco, Guerrero.
37. Hosney, R. C. (1991). Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Acribia, Zaragoza. España. 96-116.
38. Ibáñez, F. C., Barcina, Y. (2001). Análisis sensorial de alimentos. Métodos y aplicaciones. Springer. España. 96-100, 110-15, 126-129.
39. Jayakody, L., Hoover, R. (2008). Effect of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of starches from different botanical origins. *Carboh. Polym* 74(3), 691-703.
40. Lees, R. (1982). Análisis de los alimentos: Métodos analíticos y de control de calidad. Acribia, España. 78-80.
41. Lewis, J.M. (1993). Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Zaragoza, Acribia, España. 494.
42. López, R. Y. Y. (2014). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas, texturales y reológicas de masas de maíz nixtamalizado con agua y sólidos suspendidos de nejayote. Tesis de Ingeniería en Alimentos, FES-Cuautitlán, UNAM.
43. MacRitchie, F. (1992). Physiochemical properties of wheat proteins in relation to functionality. *Advances in food and nutrition research*. Academic press: London. 1-87.
44. Magaña-Barajas, E., Ramírez-Wong, B., Platt-Lucero, L. C., López-Ahumada, G. A., Sánchez-Machado, D. (2009) Caracterización viscoelástica de masas de variedades de trigos suaves. *Tecnología y Ciencia de Alimentos* 24, 12-22.
45. Márquez, C. J. C. (2009). Caracterización fisiológica, fisicoquímica, reológica, nutracéutica, estructural y sensorial de la gunábana (*Annona muricata* L. cv. ELITA). Tesis Doctorado en Ciencias, Facultad de ciencias agropecuarias, Medellin.
46. Megan N., Sanchis V. (2004). Micotoxins in Food detection and control. *Woodhead, Publishing Limites*, Cambrige, Inglaterra. 174-189.

47. Mondragón, M., Bello-Pérez, E., Agama-Acevedo, D., Betancur-Ancona, and J. L. Peña. (2004). Effect of cooking time, steeping and lime concentration on starch gelatinization of corn during nixtamalization. *Starch/Stärke* 56, 248-253.
48. Mora-Rochin S., Gutiérrez-Urbe J.A., Serna-Saldivar S. O., Sánchez-Peña P., Reyes-Moreno C., Milán-Carrillo J. (2010). Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusión cooking. *Journal of Cereal Science* 52, 502-508.
49. Moreno, M. E. (1996). El maíz y las aflatoxinas, la industria de la masa y la tortilla: desarrollo y tecnología, México, PUAL-UNAM. 139-145.
50. Moreno, M.E. (1988). Manual para la identificación de mohos en granos y sus derivados, México, PUAL-UNAM. 77-85.
51. Moreno-Martínez, E., Méndez-Albores, A. (2009). Las micotoxinas: Contaminantes naturales de los alimentos. *Revista de ciencia*. 1-7.
52. Niño-Medina, G., Carvajal-Millán, E., Lizardi, J., Rascon-Chu, A., Marquez-Esclante, J. A., Gardea, A., Martínez-Lopez, A. L., Gurrero, V. (2009). Maize processing waste wáter arabinoxylans: Gelling capability and cross-linking content. *Food Chemistry* 115, 1286-1290.
53. Paredes, O., Guevara, F., Belo, L. (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias* 92, 60-70.
54. Parsons, M. D. (1983). Manuales para la producción agropecuaria: Maíz. Trillas. México.12-20.
55. Pierson, M., Smoot L. (2001). Indicador microorganisms and microbiological criteria. In: *Food Microbiology. Fundamentals and Frontiers*. 2nd ed. USA. 71-94.
56. Putseys, J. a., L. Lamberts, and J. A. Delcour. (2010). Amylose-inclusión complexes: Formation, identity and physic-chemical properties. *J. Cereal Sci* 51, 238-247.
57. Quintanar-Guzmán, A., Jaramillo-Flores, M. E., Mora-Escobedo, R., Chel-Guerrero, L., Solorza-Feria, J. (2009) Changes on the structure, consistency, physicochemical and viscoelastic properties of corn (*Zea mays sp.*) under different nixtamalization conditions. *Carbohydrate polymers* 78, 908-916.
58. Ramírez, W. S. (1993). Development of two instrumental methods for corn masa texture evaluation. *American Association of Cereal Chemistry* 70, 286-290.

59. Rebuffel, A. P. (2010). Desarrollo de mohos en los granos.
60. Reyes, B. J. (2013). Development of two instrumental methods for corn masa rheological evaluation. *Cereal Chemistry* 3, 286-290.
61. Reyes, M. O., Fernández, M. J., Ramírez, O. M. E. (2008). Análisis reológico de masa de maíz nixtamalizado. Simposio de Tecnología Avanzada CICATA-IPN, 57.
62. Reyes-Escobedo, F. R., Reyes-Velázquez, W. P., Landeros-Ramírez, P., Figueroa-Gómez, R. M., Rojo F. (2006). Contaminación por *Fusarium* en maíz almacenado en la ciudad de Zacatecas y efecto del proceso de nixtamalización sobre fumonicinas e hidrolizados. Avances de la investigación científica en el CUCBA. 806-812.
63. Reyez-Castañeda, P. (1990). El maíz y su cultivo. Agt edito, S.A. México. 22-30.
64. Rodríguez-Sandoval, E., Fernandez-Quintero, A., Ayala-Ponte, A. (2005) Reología y textura de masas: aplicaciones en trigo y maíz. *Revista Ingeniería e Investigación* (25), 72-78.
65. 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.
66. Rooney, L. W., Suhendro E.L.(1999). Perspectives on nixtamalization (alkaline cooking) of maize for tortillas and snacks. *Cereal Foods World* 44, 466-470.
67. Rosenthal, A. J. (2001). Relation between instrumenta and sensory measures of food texture and food texture measurements and perception. Aspen Publication, Maryland, 1-17.
68. Roudot, A. C. (2004). Reología y análisis de la textura de los alimentos. Acribia S.A. Zaragoza-España. 27-33.
69. Sahin-Serpil, A. (2009). Propiedades físicas de los alimentos. Acribia. España. 105-112.
70. Salazar, R., Arámbula-Villa, G., Luna-Bárceñas, G., Figueroa-Cárdenas, J. D., Azura, E., Vázquez-Landaverde, P. A. (2014) Effect of added calcium hydroxide during corn nixtamalization on acrylamide content in tortilla chips. *LWT-Food Science and Thechology* 56, 87-92.
71. Salinas, M. (1997). Aspectos reológicos y de textura en masa y tortilla de maíz. *Alimentos* 20. 4-11

- 72.** Salinas-Moreno, Y., Castillo-Linares, E., Vázquez-Carrillo G., Buendía-González Ma. O. (2011). Mezclas de maíz normal con maíz ceroso y su efecto en la calidad de la tortilla. *Ciencia Agrícola* 2 (5), 689-702.
- 73.** Salinas-Moreno, Y., López-Reynoso, G., González-Flores, G., Vázquez-Carrillo, G. M. (2007). Compuestos fenólicos del grano de maíz y su relación con el oscurecimiento de masa y tortilla. *Agrociencia* 41, 295-305.
- 74.** Salinas-Moreno, Y., Soto, M. H., Martínez-Bustos, F., Ortega, R. P., Arellano-Vásquez, J. L. (2003). Effect of alkaline cooking process on anthocyanins in pigmented maize grain. *Agrociencia* 37, 617-628.
- 75.** Santiago, R. D. (2014). Efecto de la concentración de sales de calcio en la gelatinización del almidón durante el proceso de nixtamalización ecológico y tradicional. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de química, Universidad de Queretaro. 70-73.
- 76.** Santos, M. E., Quintanar-Guzman, A., Solorza-Feria, J., Sanchez-Ortega, I., Rodríguez, A. J., Ya-Jane, W. (2014). Thermal and rheological properties of masa nixtamalized corn subjected to a sequential protein extraction. *Journal of Cereal Science* 60, 490-496
- 77.** Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. NMX-F-046-SCFI-1989. Harina de maíz nixtamalizado. Norma Mexicana. Secretaria de Fomento Industrial. Norma Mexicana. México
- 78.** Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Productos Alimenticios del maíz. Norma Mexicana. Secretaria de Fomento Industrial. Norma Mexicana. México.
- 79.** Secretaría de Salud. NOM-092-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Norma Oficial Mexicana. México.
- 80.** Secretaría de Salud. NOM-110-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. Norma Oficial Mexicana. México.
- 81.** Secretaría de Salud. NOM-111-SSA-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. Norma Oficial Mexicana. México.

- 82.** Secretaría de Salud. NOM-247-SSA1-2008. Productos y Servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémola o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harina, sémolas o semolinas o sus mezclas. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba. Norma Oficial Mexicana. México.
- 83.** Segundo, (2007). Parámetros mecánicos y textura de los alimentos. <http://www.uchile.cl/portafolio-academico/impresion.jsf?username=singal>. Fecha de consulta: 23 de Agosto 2016.
- 84.** Shuhendro, E. L., Almeida-Domínguez, H., Rooney, L. W., Whaniska, R. D., Moreira, R. G. (1999). Use of extensibility to measure corn tortilla texture. *American Association of Cereal Chemist* 76, 536-540
- 85.** Solano, O. R. R. (2001). Propiedades texturales de la masa y la tortilla elaboradas con harina de maíz nixtamalizado, efecto de la humedad de la masa. Tesis de Ingeniería en alimentos, FES-Cuautitlán, UNAM.
- 86.** Soriano J.M., Font G., Moltó J.C y Mañes J. (2002). Enterotoxigenic staphylococci and their toxins in restaurant foods. *Trends in Food Science and Technology* 13, 60-67.
- 87.** Torre-Hernández, M. E., Sánchez-Rangel, D., Galeana-Sánchez, E., Placencia-de la Parra, J. (2014). Fumonisin – Síntesis y función en la interacción de *Fusarium verticillioides* en maíz. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 17, 77-91.
- 88.** Torricela-Morales, R. C., Zamora-Utset, E., Pulido-Álvarez, H. (2007). Evaluación sensorial aplicada a la investigación, desarrollo y control de la calidad en la Industria Alimentaria. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria. 2nd ed. Universitaria, La Habana Cuba.
- 89.** Valderrama-Bravo, C. Gutiérrez-Cortez, E., Contreras-Padilla, M., Rojas-Molina, I., Mosquera, J.C., Rojas-Molina, A., Beristain, F., Rodríguez-García, M. E. (2012). Constant pressure filtration of lime water (nejayote) used to cook kernels in maize precessing. *Journal of Food Engineering* 110 (3), 478-486
- 90.** Valderrama-Bravo, C., López-Ramírez, Y., Jiménez-Ambriz, S., Oaxaca-Luna, A., Domínguez-Pacheco, A., Hernández-Aguilar, C., Moreno-Martínez, E. (2015). Changes in chemical, viscoelastic and textural properties of nixtamalized dough with nejayote. *LWT- Food Science and Technology* 30, 1-7

91. Valderrama-Bravo, C., Rojas-Molina, A., Gutiérrez-Cortez, E., Rojas-Molina, I., Oaxaca-Luna, A., De la Rosa-Rincón, & 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*, 98, 126–132.
92. 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* 98, 126-132
93. Van-Vlien, T. (2013). Rheology and fracture mechanics of foods. *Publishing House CRC Press*. USA. 17-26.
94. Vázquez-Carrillo, G. M., Santiago-Ramos, D., Gaytán-Martínez, M., Morales-Sánchez, E., Guerrero-Herrera, M. de J. (2015). High oil content maize: physical, thermal and rheological properties of grain, masa and tortillas. *Food Science and Technology* 60, 156-161
95. Vélez-Medina, J. J. (2004). Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización. Tesis de maestría. CICATA, Querétaro.
96. Villareal, G. A. (2011). Estudio de las propiedades de textura en geles cárnicos empleando sistemas de kappa-carragenina/almidón y kappa-carragenina/goma de mucílago *Opuntia ficus indica*. Tesis de Química en Alimentos, Facultad de Química, UNAM.
97. Watson, S.A. (1987). Structure and composition corn: chemistry and technology. *American Association of Cereal Chemists*, 53-82.
98. Watts, B.M., Ylimaki, G.L., Jeffery, L.E. (2000). Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos. CIID. Ottawa, Canadá. 68-124.