



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**REUTILIZACIÓN DE NEJAYOTE EN LA NIXTAMALIZACIÓN
Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES
MICROBIOLÓGICAS, REOLÓGICAS Y TEXTURALES DE
MASAS Y TORTILLAS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERÍA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A:

NINEL AMPARO FLORES SALDAÑA

PRISCILLA VILLAGRAN ORTÍZ

ASESORES :

DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO

M.C. MARÍA CRISTINA JULIA PÉREZ REYES

I.A. MIRIAM EDITH FUENTES ROMERO

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO SEPTIEMBRE 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

El presente trabajo se realizó en la Unidad de Investigación en Granos y Semillas y el Laboratorio Experimental Multidisciplinario I de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM

DEDICATORIAS

Ninel

Le agradezco a Dios por permitirme llegar a este momento tan especial, brindarme la mejor familia y los mejores amigos; después de todo nunca debemos perder la esperanza y el creer que existe un ser supremo nos da fortaleza en momentos de debilidad aunque ese ser sea uno mismo.

A mis padres Hugo y Amparo que siempre me han apoyado, por los valores que me han inculcado, por la oportunidad de tener una excelente educación; ya que siempre han hecho todos mis sueños realidad. No son los padres que le dicen todo el tiempo te quiero, pero son los que con cada acción demuestran el gran amor que me tienen y espero estén orgullosos de lo que eh logrado gracias a su apoyo incondicional.

A mi hermano Hugo por corregir mis errores y enseñarme de la vida y mi hermano Alex que en algunas ocasiones; más bien todas me retaba a ser mejor que él, al final eso me ayudo a determinar el superarlo y jamás dudar de lograr ser ingeniera.

A mis abuelos que aunque ya no se encuentren físicamente con nosotros, siempre están presentes en mi corazón y oraciones en especial a mi abuelita Carmela ya que ella antes de partir me dejó el mejor consejo que día con día me da la fortaleza para siempre seguir adelante.

A las “Crayolas” por confiar, apoyar y creer en mí, jamás dejarme caer, por escucharme y aconsejarme. Ustedes son la segunda familia que sé que siempre tendré, porque la verdadera amistad no se trata de ser inseparables, si no de poder estar separadas sin que nada cambie.

A Priscilla por ser la mejor amiga de tesis, de fiestas y de trabajo ya que sin ella nada de esto podría ser posible. Gracias por demostrarme que puedo contar en todo momento contigo.

A las personas que ayudaron a la realización de este proyecto conscientemente e inconscientemente ya que sin su ayuda esto hubiera tardado más del tiempo necesario.

Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica. Esa fuerza es la voluntad."

Albert Einstein

DEDICATORIAS

Priscilla

A mi mamá Ma. Guadalupe: No existe una palabra o frase que describa lo agradecida que estoy contigo. Gracias por luchar por sobre todas las cosas para sacarme adelante, por ser quien limpia mis lágrimas cuando ya no puedo más, por cuidar de mí y enseñarme a vivir, gracias porque he sido grosera contigo y a pesar de eso siempre vas estar para mí, por dedicarme cada segundo de tu tiempo, por desvelarte conmigo y sacrificarte con tal de verme feliz, por darme las alas para alcanzar los sueños inalcanzables que he tenido, por darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba. Todo este trabajo simplemente es para ti, porque te debo la vida entera.

Gracias mamita por confiar en mí, te quiero.

A mi papá Edgar: Gracias por enseñarme que la vida no es fácil, por tener mano dura conmigo y creer siempre en mí. Gracias por todos los sacrificios que has hecho, por los problemas que has pasado para que pueda vivir lo mejor posible, por enseñarme a reír cuando se gana y llorar cuando se pierde. Gracias porque aunque pase el tiempo siempre voy a ser tu niña. Gracias por estar siempre orgulloso de mí y nunca dudar que lo podía lograr, me has hecho una persona fuerte y ahora una ingeniera, espero que en este trabajo puedas ver esos 22 años de esfuerzo, porque es para ti, te quiero.

A mi hermana Sharon: Gracias por estar siempre a mi lado, por ayudarme y cuidarme, porque lo que hay entre nosotras no se va a comparar con nada, siempre vas a estar

para mí y yo voy a estar para ti sin esperar nada a cambio. Gracias por soportar mi mal humor y siempre hacerme reír, siempre serás mi mejor amiga, te quiero hermanita.

A mi abuelito Octaviano: Gracias por estar ahí cuando más te he necesitado, por darme tu mano y verme con admiración, por quererme y respetarme, porque siempre tienes una sonrisa para mí, por abrirme siempre las puertas de tu corazón, no tengo palabras para decirte lo mucho que te quiero y lo agradecida que estoy contigo.

A Erick: Gracias porque a pesar de todo siempre has estado conmigo, en las buenas y en las malas, porque eres la única persona que me conoce como soy y aun así eres feliz conmigo, porque me soportas en todos los sentidos. Hemos reído y llorado juntos, y sencillamente no hay alguien que se compare contigo, porque tienes el corazón más grande del mundo y siempre me vas a arrancar una sonrisa aunque todo sea gris. Gracias por enseñarme que sólo se puede amar a una persona en la vida. Te Amo.

A Ninel: Gracias por aparecer en mi vida, porque he encontrado una amiga que siempre ha estado conmigo en cualquier circunstancia, en tampoco tiempo hemos vivido tantas cosas juntas, y en verdad te agradezco tus consejos, tu tiempo y tu comprensión, porque eres una gran persona, gran amiga y la mejor compañera que pude encontrar para trabajar en este proyecto, te quiero.

A mis amigas Yesenia y Mónica: Gracias porque sin ustedes habría sido muy difícil este camino, ustedes hicieron que la escuela fuera menos complicada, por compartir tantos momentos y siempre estar juntas ayudándonos, por estar en los peores momentos y siempre darme un buen consejo. Gracias porque simplemente son las mejores amigas que pude encontrar. Las quiero.

La satisfacción no viene de los logros, si no con el esfuerzo

El esfuerzo total es una victoria completa

Mahatma Gandhi

AGRADECIMIENTOS

Dra. María del Carmen Valderrama Bravo por confiar en nosotras para realizar este proyecto, gracias por habernos apoyado en todo momento y sin dudarlo, por los consejos y ánimos constantes, por su paciencia y dedicación incondicional. No hay palabras suficientes para describir el agradecimiento y admiración que sentimos hacia usted. ¡Gracias!

M.C. María Cristina Julia Pérez Reyes y M.C. Gabriela Sánchez Hernández les agradecemos el habernos brindado la oportunidad de desarrollar nuestra tesis profesional en UNIGRAS y por todas las facilidades que nos fueron otorgadas, la confianza, apoyo y dedicación de tiempo, mismas que nos ayudaron a crecer no solo académicamente si no también profesionalmente.

Dr. Ernesto Moreno por abrirnos las puertas de UNIGRAS y compartir su experiencia y grandes conocimientos.

I.A Miriam Edith Fuentes Romero e I.A Patricia Muñoz Aguilar por el apoyo, experiencia y orientación que nos brindaron para culminar este último paso en nuestra carrera profesional. ¡Gracias!

Dr. Sergio Jiménez Ambriz e I.A Ana María Sabina de la Cruz Javier por su asesoría, acertadas críticas y sugerencias que aplicamos a nuestro trabajo aumentando la calidad del mismo.

RESUMEN

La industria tradicional de la nixtamalización busca una actualización tecnológica que le permita sobrevivir, la cual consistente en: dejar de contaminar el ambiente, emplear condiciones higiénicas adecuadas, consumir menos agua, energía y volver a los niveles adecuados de calidad; es por eso que la finalidad del presente trabajo fue, analizar el efecto de la nixtamalización de masas y tortillas, empleando nejayote en una y doble recirculación (50:50, 70:30, 30:70, nejayote/agua), sobre sus propiedades microbiológicas, reológicas y texturales.

Se aplicó un diseño factorial de dos factores, teniendo como factores: número de recirculación (Primera y segunda) y formulación (Masa control, masa 50-50 nejayote/agua, masa 70-30 nejayote/agua y masa 30-70 nejayote/agua). Obteniendo la media de tres repeticiones.

Se realizó una caracterización física del maíz para evaluar su calidad, el cual fue apropiado para el proceso de nixtamalización teniendo como resultados 12.20% de humedad, estos resultados fueron favorables ya que en el agua se llevan a cabo la mayoría de las reacciones químicas, enzimáticas y las transformaciones hidrolíticas necesarias para que un organismo crezca y se desarrolle. De peso hectolítrico se obtuvo 76 kg/hL siendo los resultados adecuados para la producción de tortillas de calidad.

Los resultados mostraron que cuando se nixtamaliza existe una disminución de microorganismos ya que el pH de la masa y tortilla se encuentra entre 6 y 8, lo que permite obtener una tortilla con mayor vida de anaquel. El pH es un factor muy importante ya que influye activamente sobre la actividad microbiana porque los hongos se desarrollan óptimamente a valores entre 5 y 6.

En cuanto a las propiedades texturales, la dureza aumenta y la cohesividad y resiliencia disminuyen respecto a la masa control. El grano empleado en esta investigación es un grano clasificado como muy duro (3% de dureza), por lo que la dureza del grano está relacionada con la capacidad de absorción de agua.

Los parámetros viscoelásticos de módulo de elasticidad (G'), módulo viscoso (G'') y $\tan \delta$ que se determinaron dieron como resultado $G' > G''$ para todas las muestras lo cual indica que el carácter elástico predomina en las masas.

Tomando en cuenta que la $\tan \delta$, podría ser un indicativo de los cambios que ocurren en las masas, los valores de $\tan \delta$ obtenidos al nixtamalizar con nejayote en una y doble recirculación oscilan entre 0.19-0.25, mientras que en la masa control van de 0.13-0.18, por lo que emplear diluciones de nejayote, sería una manera sencilla de para generar menos residuos en la nixtamalización. Obteniendo así una tortilla con mejores propiedades texturales y viscoelásticas y a la vez con mayor vida de anaquel.

Palabras clave: Nixtamalización, Nejayote, Reología, Textura, Microbiología.

Índice de contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
1. ANTECEDENTES.....	3
1.1 Cereales.....	3
1.1.1 Definición.....	3
1.1.2 Principales cereales consumidos.....	3
1.1.3 Almacenamiento de cereales.....	5
1.2 Factores que influyen en el deterioro de granos y semillas.....	6
1.3 Hongos de campo y almacén que atacan al grano de maíz.....	7
1.3.1 Algunos hongos importantes en las semillas de maíz.....	9
1.4 Micotoxinas.....	10
1.4.1 Aflatoxinas (AF).....	11
1.4.2 fumonisinas.....	11
1.4.3 Tricotecenos (TCT).....	11
1.4.4 Ocratoxina A (OTA).....	12
1.4.5 Zeralenona (ZEA).....	12
1.5 Composición nutricional de los cereales.....	12
1.6 Maíz.....	13
1.6.1 Definición.....	13
1.6.2 Clasificación de granos.....	13
1.6.3 Estructura del grano.....	14
1.6.4 Composición química del grano.....	15
1.7 Nixtamalización.....	18
1.7.1 Definición.....	18
1.7.2 Cambios fisicoquímicos en la nixtamalización.....	18

1.7.3	Productos derivados de la nixtamalización	20
1.8	Masas de maíz nixtamalizado	21
1.9	Reología y textura de masas	22
1.10	Tortilla.....	23
1.11	Textura en tortillas	25
1.12	Subproducto de la nixtamalización	26
2	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	29
2.1	Objetivo General.....	29
2.2	Objetivos Particulares.....	29
2.3	Hipótesis.....	29
2.4	Actividades Preliminares	30
2.4.1	Caracterización de la materia prima	30
2.4.1.1	Limpieza del grano	30
2.4.1.2	Humedad del grano	31
2.4.1.3	Peso hectolítrico	32
2.4.1.4	Dureza	32
2.5	Nixtamalización	33
2.5.1	Nixtamalización tradicional (Muestra control).....	34
2.5.1.1	Descripción del diagrama de bloques del proceso de nixtamalización convencional.	35
2.6	Determinación de carbonato de calcio en masas y tortillas.....	37
2.7	Análisis microbiológicos en masas y tortillas de maíz nixtamalizado	38
2.7.1	Microbiota de granos de maíz	38
2.7.2	Microbiota de masas de maíz nixtamalizado.....	38
2.7.3	Microbiota de tortillas	39

2.7.4	Determinación de Aflatoxinas	41
2.7.5	Determinación de Fumonisinias.....	43
2.8	Análisis de perfil de textura	44
2.8.1	Análisis de perfil de textura en masas	44
2.8.1.1	Preparación de muestras de masas para TPA	44
2.8.1.2	Pruebas texturales en masas	45
2.9	Extensibilidad en tortillas.....	47
2.9.1	Preparación de tortillas	47
2.9.2	Análisis de extensibilidad en tortillas.....	48
2.10	Análisis reológico.....	49
2.11	Análisis estadístico	50
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
3.1	Caracterización de la materia prima	51
3.2	Contenido de humedad de las masas nixtamalizadas.....	52
3.3	Determinación de carbonato de calcio en tortillas	52
3.4	Análisis microbiológicos	54
3.4.1	Bacterias mesófilas y hongos	54
3.4.2	Determinación de aflatoxinas.....	59
3.4.3	Determinación de Fumonisinias.....	61
3.5	Análisis de textura en masas.....	63
3.6	Análisis de extensibilidad	72
3.7	Análisis del perfil reológico	73
4.	CONCLUSIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	87

Índice de Figuras

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

Figura 1.1 Rendimiento de los cultivos en el mundo	3
Figura 1.2 Tierras cultivadas y sus principales cultivos	4
Figura 1.3 Estructura del grano de maíz	14
Figura 1.4 Productos derivados del maíz nixtamalizado	20

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Figura 2.1 Costal de 50 kg de maíz blanco comercial para consumo humano ABSI	30
Figura 2.2 Limpieza manual del grano de maíz blanco	30
Figura 2.3 Determinación de humedad del maíz blanco	31
Figura 2.4 Balanza específica marca OHAUS para determinar peso hectolítrico	32
Figura 2.5 Diagrama de bloques del proceso de nixtamalización tradicional	35
Figura 2.6 Cocción de maíz a 90°C por un tiempo de 40 min	36
Figura 2.7 Drenado de nejayote	36
Figura 2.8 Molienda de maíz nixtamalizado	37
Figura 2.9 Retrotitulación para determinar carbonato de calcio	37
Figura 2.10 Siembra de maíz por método de placa agar	38
Figura 2.11 Método de diluciones	39
Figura 2.12 Método de siembra por diluciones para tortillas	40
Figura 2.13 Método de siembra en placa para tortillas	40

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Figura 3.1 Determinación de carbonato de calcio en tortillas	52
Figura 3.2 Valores medios del desarrollo de bacterias y hongos en diferentes masas de maíz sembradas en un medio de cultivo PDA	54
Figura 3.3 Valores medios de UFC de bacterias mesófilas y hongos en masa de maíz MEA	56
Figura 3.4 Valores medios de UFC en tortillas cultivadas en medio de cultivo PDA	57
Figura 3.5 Valores medios de UFC en tortillas cultivadas en un medio de cultivo MEA	58
Figura 3.6 Análisis de Dureza en masas a diferentes diluciones	67
Figura 3.7 Análisis de Cohesividad en masas a diferentes diluciones	68
Figura 3.8 Análisis de elasticidad en masas a diferentes diluciones	70
Figura 3.9 Análisis de extensibilidad en tortillas a diferentes diluciones	72

Índice de Tablas

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

Tabla 1.1 Composición química de los cereales.....	12
Tabla 1.2 Distribución ponderal de las principales partes del grano	15
Tabla 1.3 Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz	15

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Tabla 2.1 Tratamientos de nixtamalización para primera y segunda recirculación	34
--	----

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Tabla 3.1 Caracterización de la materia prima (maíz blanco)	51
Tabla 3.2 Determinación de aflatoxinas en muestras de maíz y diferentes productos de la nixtamalización.	60
Tabla 3.3. Propiedades texturales de masa nixtamalizada con diferentes diluciones de nejayote bajo la prueba de análisis de textura al 25% de deformación.	63
Tabla 3.4. Propiedades texturales de masa nixtamalizada con diferentes diluciones de nejayote bajo la prueba de análisis de textura al 50% de deformación.	65

INTRODUCCIÓN

En México y diversos países de América Central, el maíz nixtamalizado ha sido consumido principalmente como tortillas por siglos. La tortilla es la base de la dieta mexicana con un consumo *per cápita* de 234 g/día (Rojas-Molina *et al.*, 2007). En las zonas rurales, el 65% de los nutrientes de la dieta provienen de las tortillas, el 15% de los frijoles, y el resto de otros productos alimenticios. La industria de la tortilla presentó en 2010 una producción de 6.9 millones de toneladas con un valor de 72, 48 millones de pesos (CONEVAL, 2010).

El proceso tradicional de nixtamalización consiste en un tratamiento térmico alcalino, donde los granos de maíz son cocidos y reposados en una solución sobresaturada de hidróxido de calcio (Gutiérrez *et al.*, 2007). Durante la cocción alcalina existe una difusión de calcio a través del pericarpio (Gutiérrez *et al.*, 2010). En el tiempo de reposo los granos absorben agua y se hinchan debido a la distribución de agua. Valderrama-Bravo *et al.* (2010) reportaron que durante el tiempo de reposo ocurren diferentes mecanismos de acumulación de calcio en el interior del grano de maíz. Consecuentemente, el tiempo de reposo es importante para desarrollar las propiedades reológicas y de textura de la masa, como cohesividad y adhesividad. La masa debe ser lo suficientemente cohesiva para favorecer el cortado y formado de los discos (Quintanar *et al.*, 2009).

La cantidad de calcio que se incorpora en el interior del grano durante la nixtamalización es importante desde el punto de vista nutricional, dada la importancia del calcio en la dieta humana (Cornejo-Villegas *et al.*, 2010). Un subproducto de la nixtamalización altamente contaminante del medio ambiente es el nejayote, desecho líquido que contiene una elevada concentración de sólidos solubles e insolubles, tal como polisacáridos, almidón, fibra y proteína. El nejayote contiene altos valores de demanda bioquímica de oxígeno (14219 ± 309 mg O₂/L), total de sólidos suspendidos (8342 ± 25 mg/L), demanda química de oxígeno (DQO) (40058 ± 82 mg O₂/L) y alcalinidad total (5768 ± 0.5 mg/L CaCO₃) (Valderrama-Bravo *et al.*, 2012).

Durante la nixtamalización se producen altas cantidades de nejayote, por lo tanto, en México es importante proponer alternativas de reutilización.

En un estudio realizado por Valderrama-Bravo *et al.* (2012, 2013), obtuvieron nejayote filtrado, el cual proponen usar en suelos. Además, el nejayote contiene 2% de sólidos secos, como pericarpio, hemicelulosa, proteínas, calcio, endospermo y polisacáridos no celulósicos. Estos componentes son altamente nutrimentales y podrían adicionarse a dietas de aves de corral (Velasco-Martínez *et al.*, 1997). Por su parte, Ramírez-Romero *et al.* (2011) adicionaron sólidos de nejayote durante la molienda del nixtamal. Estos investigadores obtuvieron un rendimiento mayor en la producción de masa y mejoraron su consistencia. Sin embargo, no hay reportes de investigación en los que se evalúe el efecto en las propiedades microbiológicas, reológicas y de textura de la masa y tortillas cuando se emplea nejayote como agua para nixtamalizar.

Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue analizar el efecto de la nixtamalización de masas y tortillas, empleando nejayote en una y doble recirculación a tres diferentes concentraciones de Nejayote/Agua (50:50, 70:30, 30:70), sobre las propiedades microbiológicas, reológicas y texturales.

1. ANTECEDENTES

1.1 Cereales

Históricamente, los cereales son los alimentos más importantes en la dieta humana y animal, debido a sus altas cualidades nutrimentales, ya que contienen hidratos de carbono, proteínas, sales minerales y vitaminas, nutrientes indispensables para el ser humano; además de bastante fibra. A diferencia de otros alimentos, los cereales pertenecen a un grupo de plantas de la familia de las gramíneas, presentes en prácticamente casi todos los países del mundo y se han constituido, desde siempre, en la base de la alimentación de sus pobladores (Canimolt.org, 2014).

1.1.1 Definición

El término cereal proviene del latín *cereālis* y permite nombrar a las plantas gramíneas que dan frutos farináceos. También se conoce como cereales a estos mismos frutos, al conjunto de las semillas de estas plantas y a los alimentos elaborados a partir de estas semillas (Paredes-López *et al.*, 2006).

1.1.2 Principales cereales consumidos

Los principales cereales que se consumen a nivel mundial son el trigo, el arroz, el maíz, el centeno, la cebada, la avena y el mijo. En la Figura 1.1 se puede observar la producción de diferentes cultivos desde 1961 hasta el año 2013, en donde el Arroz es el principal cereal consumido en el mundo, seguido del maíz.

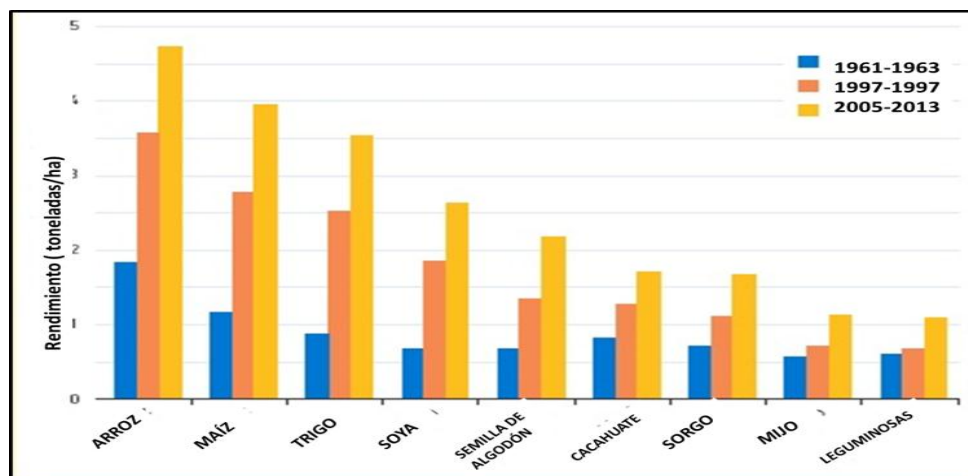


Figura 1.1 Rendimiento de los cultivos en el mundo

Fuente: Departamento Económico Social (FAO 2013)

El desarrollo en la siembra de estos cereales, se ha dado dependiendo de la ubicación, el clima, los tipos de tierra y los hábitos de consumo de los pobladores, que están estrechamente relacionados con su cultura. Así, como se puede observar en la Figura 1.2 el trigo se consume principalmente en los países de Europa y el Norte de América, el maíz en el Norte, Centro y Sur de América, el arroz en Asia, y en África además del mijo, también se consume trigo y ahora maíz. En el caso de avena y centeno su consumo es menor y su localización es más bien hacia los países del norte del planeta (Canimolt.org, 2014).

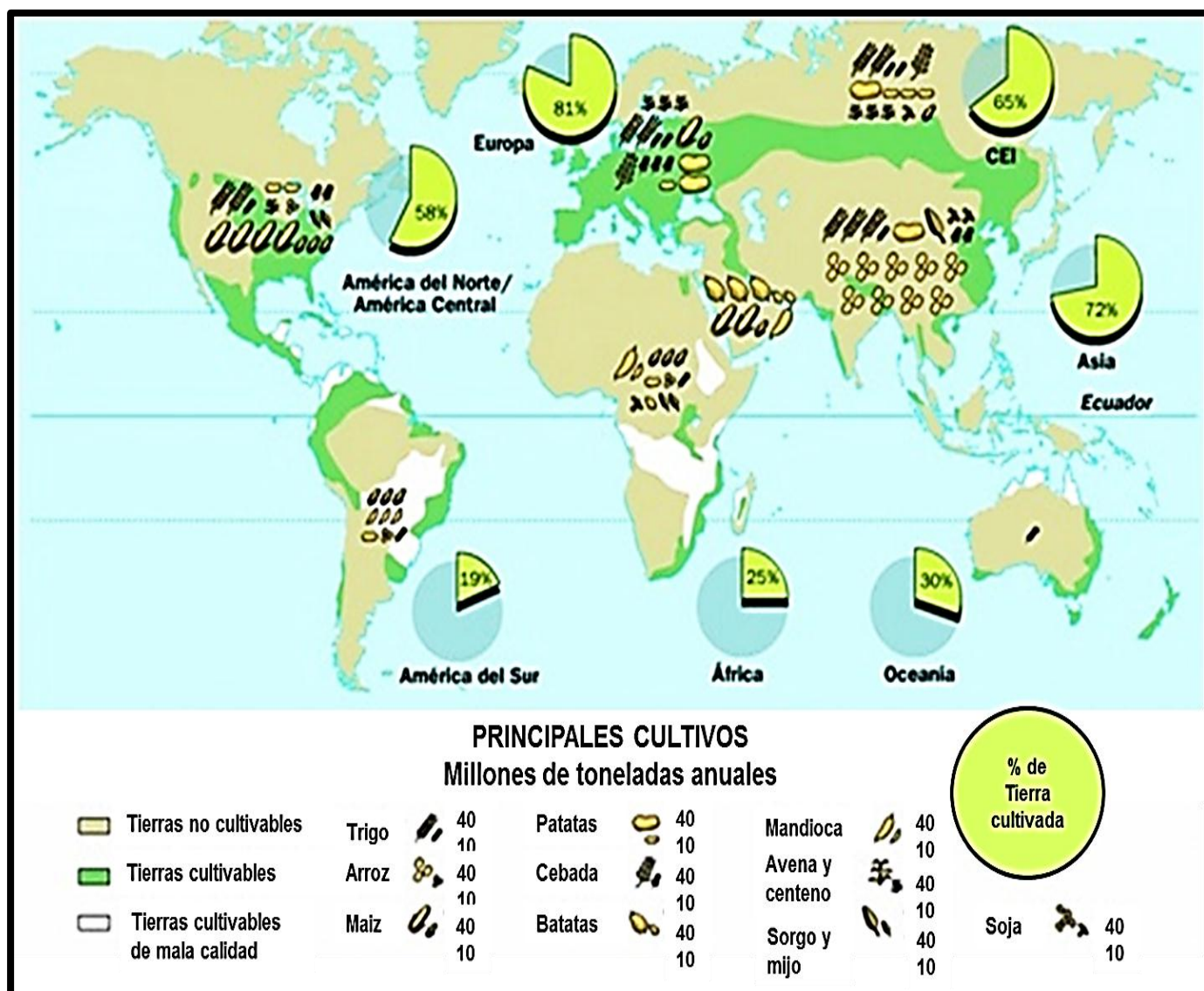


Figura 1.2 Tierras cultivadas y sus principales cultivos. Romero, (2010)

1.1.3 Almacenamiento de cereales

El valor económico, alimenticio, agrícola e industrial asociado a los granos y semillas, demanda cuidados especiales en el almacén para garantizar la conservación de su calidad; este debe mantenerse durante el tiempo que permanecerá en condiciones de almacenamiento y aun hasta el momento que serán utilizados (SAGARPA, 2011).

El principio de un buen almacenamiento y conservación de granos y semillas es el empleo de bodegas secas, limpias y libres de plagas; donde se almacenen granos o semillas con bajo contenido de humedad, enteras, sanas y sin impurezas.

Independientemente del tipo de almacén o de recipiente que se utilice, el producto almacenado debe mantenerse fresco, seco y protegido de insectos, pájaros, hongos y roedores (SAGARPA, 2011).

En México, algunos de los métodos de almacenamiento de mayor uso son:

a) Almacenamiento en sacos: Los sacos se hacen de yute, henequén, fibras locales y sintéticas. Son relativamente costosos, tienen poca duración, su manipulación es lenta y no proporcionan buena protección contra la humedad, insectos y roedores. Su rotura ocasiona pérdidas del producto almacenado y facilita la infestación por plagas. No obstante su manejo es fácil, permiten la circulación del aire cuando se colocan apropiadamente y pueden almacenarse en la casa del agricultor, sin requerir áreas especiales (SAGARPA, 2011).

Antes de utilizarse, los costales deben limpiarse perfectamente, exponerse al sol y asegurarse de que no estén rotos. Los productos ensacados deben inspeccionarse al menos cada dos semanas, introduciendo la mano a su interior para revisar el calentamiento del grano o la semilla, el cambio en olor o de color, así como la presencia de insectos. Si algún problema de este tipo se presenta, el grano debe vaciarse de nuevo, limpiarlo, secarlo y de ser necesario tratarlo con productos especiales (SAGARPA, 2011).

Los sacos deben estibarse sobre plataformas de metal, madera o de ladrillos, evitando con ello el contacto directo con el suelo. Debe dejarse una separación con relación a las paredes del almacén (SAGARPA, 2011).

Los sacos de plástico son recipientes herméticos, fáciles de manejar, protegen al grano o semilla contra insectos y son apropiados para fumigar cantidades pequeñas de grano y semilla. Sus desventajas son que pueden romperse con facilidad, se destruyen por roedores y en ciertas regiones son costosos. La humedad del producto por almacenar debe ser inferior al 9% (SAGARPA, 2011).

b) Almacenamiento a granel: El almacenamiento a granel es una práctica común. Este método tiene la ventaja que es mecanizado, aunado a que la manipulación de granos y semillas es rápida. Sin embargo, la posibilidad de ataque por roedores aumenta y hay poca protección contra las reinfestaciones (SAGARPA, 2011).

c) Almacenamiento hermético: Consiste en almacenar el producto en recipientes que evitan la entrada de aire y humedad al producto. En estas condiciones, la respiración de la semilla y de los insectos (cuando los hay) agota el oxígeno existente, produciendo CO₂, lo que provoca la muerte de estos últimos y la reducción de la actividad de la semilla, por lo que el almacenamiento puede durar mucho tiempo sin que exista deterioro. El nivel de humedad de los granos o semillas por almacenar debe ser menor del 9% (SAGARPA, 2011).

d) Almacenamiento en tambos metálicos. Es común su uso y funcionan muy bien como almacén, siempre y cuando la humedad del producto sea menor al 12%. Estos actúan como barrera contra el ataque de insectos y roedores, además se pueden utilizar con éxito para realizar fumigaciones de granos y semillas (SAGARPA, 2011).

1.2 Factores que influyen en el deterioro de granos y semillas

Los principales factores que determinan y acentúan las pérdidas de granos y semillas en el almacén, son:

- Altos contenidos de humedad del producto almacenado.
- Elevada temperatura y/o humedad en el ambiente.
- Elevado porcentaje de impurezas mezcladas en granos y semillas como por ejemplo; granos o semillas quebradas, restos de plantas, insectos muertos y tierra.

- Carencia de almacenes adecuados.
- Presencia de insectos, hongos, bacterias y roedores.
- Manejo deficiente de granos y semillas.
- Desconocimiento de los principios de la conservación.

La conservación apropiada de granos y semillas en el almacén, depende principalmente de las condiciones ecológicas de la región, del tipo de troje, bodega o almacén disponible, del tipo y condición del grano o semilla por almacenar y del tiempo del almacenamiento.

En las regiones tropicales, donde el clima es cálido y húmedo, se acelera la respiración de los granos y semillas y esto favorece el desarrollo de insectos y hongos; sucediendo lo contrario en las regiones de clima frío y seco (SAGARPA, 2011).

1.3 Hongos de campo y almacén que atacan al grano de maíz

El almacenamiento y conservación de granos básicos es una actividad bastante compleja dada la gran cantidad de factores que los afectan. La alimentación humana y animal en gran parte del mundo se basa en el consumo de granos y sus derivados, los cuales pueden ser invadidos por hongos causando diferentes problemas en la producción.

Los hongos son en parte los responsables del deterioro y pérdidas de granos al provocar diversos cambios que afectan su calidad. Las principales pérdidas causadas por hongos que se desarrollan en granos almacenados son: reducción del poder germinativo, ennegrecimiento total o parcial de los granos y semillas, calentamiento del grano, olores desagradables, alteraciones de las características nutritivas y producción de micotoxinas (Moreno, 1988).

Los hongos pueden dañar los granos antes o después de la cosecha. A los primeros se les denomina “hongos de campo” y a los segundos “hongos de almacén”.

- Hongos de campo: Son aquellos que invaden las semillas durante desarrollo en el campo, o cuando estas han madurado y permanecen en el campo, en espera de ser cosechadas. Los hongos de campo, requieren contenidos de humedad en los granos

de 25 a 30 por ciento (base húmeda) por lo que detienen su desarrollo cuando las semillas infectadas alcanzan porcentajes de humedad inferiores (Moreno, 1988).

Los hongos de campo que predominan varían de acuerdo con la cosecha, localidad geográfica y clima. La mayoría corresponden a los géneros: *Alternaria*, *Cladosporium*, *Helminthosporium* y *Fusarium* (Moreno, 1988).

- Hongos de almacén: Los hongos de almacén son principalmente especies de los géneros *Aspergillus* y algunos *Penicillium* (Moreno, 1988).

La fuente de contaminación se encuentra en los graneros y silos por ser ahí donde estos hongos hallan las condiciones favorables para su desarrollo y donde sus esporas permanecen en estado latente de una temporada de almacenamiento a otra, a veces durante años. La característica principal de estos hongos es su habilidad para crecer aún en granos y semillas que tienen bajos contenidos de humedad (alrededor de 15 por ciento). Este desarrollo se ve favorecido o perjudicado dependiendo de las condiciones ambientales, porque si aumenta la humedad relativa durante cierto tiempo aumentará el contenido de humedad del grano (Rebufel 1988).

La microbiota de la masa de maíz y productos afines pueden tener su origen en el suelo, en el medio ambiente del almacén o en la fase de manipulación y elaboración. Aunque estos productos sean ricos en proteínas y carbohidratos, si están adecuadamente almacenados, su escasa actividad acuosa (A_w) restringe el crecimiento de cualquier microorganismo (Moreno, 1988).

En condiciones de A_w favorables se llevan a cabo la mayoría de las reacciones químicas, enzimáticas y las transformaciones hidrolíticas necesarias para que un organismo crezca y se desarrollen las bacterias y determinados géneros de mohos capaces de producir amilasas, que facilitan la utilización de la masa y productos afines como fuente de energía, la mayor parte de los hongos se desarrollan a partir de valores de A_w de 0,70. Dentro de esta microbiota se pueden encontrar bacterias coliformes, que son perjudiciales en los alimentos ya que su presencia en ellos, se considera como signo de

contaminación por desperdicios cloacales y por lo tanto posiblemente por bacterias entéricas patógenas. Ya que este tipo de bacterias crece en cualquier tipo de sustrato, pueden causar sabores anormales y desagradables en el alimento. También la contaminación de los alimentos está dada por algunos microorganismos patógenos, especialmente los que causan infecciones respiratorias que pueden llegar por medio del aire a los empleados y a los mismos alimentos, al igual que las esporas de los hongos que se transmiten por aire pueden ocasionar problemas importantes, ya sea por razones sanitarias como económicas (Flores Chávez *et al.*, 2012).

1.3.1 Algunos hongos importantes en las semillas de maíz

- *Fusarium*: Uno de los hongos de campo más importantes causantes de enfermedades el cual con frecuencia se desarrolla en productos vegetales cuando aún no han sido llevados al almacén.
- *Fusarium verticillioides*: Es endémico del maíz causando en la planta pudrición de tallo, raíz y mazorca. Así mismo, se caracteriza por producir diversos tipos de micotoxinas, entre ellas las fumonisinas. La producción de fumonisinas en maíz es afectada por diferentes factores ambientales como la humedad, la temperatura, los períodos de sequía, la cantidad de precipitación durante la precosecha y la cosecha.
- *Alternaria*: El género *Alternaria* es muy común en cereales, no contiene especies cosmopolitas que se encuentran en un amplio rango de materiales y productos. En maíz causan manchas grises en la hoja. Como saprófitos pueden deteriorar alimentos y forrajes, produciendo compuestos biológicamente activos tal como micotoxinas. Como patógenas reducen el rendimiento de las cosechas o afectan a los vegetales almacenados. Las esporas de *Alternaria* y *Cladosporium* son las principales responsables de las alergias de origen fúngico.
- *Aspergillus flavus*: Crece lentamente a temperaturas menores de 12°C y rápidamente a temperaturas hasta de 55°C, no produce aflatoxinas debajo de 12°C ni arriba de 40-42°C. Produce infecciones que generalmente se localizan en algunos granos de maíz. El micelio es de color verde amarillento, se ubica sobre los granos y entre ellos y produce abundantes masas de esporas. Las infecciones son más severas en regiones con altas temperaturas y condiciones de estrés. Si el contenido de humedad del grano de maíz almacenado permite el desarrollo de estas especies toxigénas,

también permitirá que otros hongos crezcan bajo esas condiciones y se produzcan aflatoxinas en niveles peligrosos. Uno de los requerimientos para la producción de aflatoxinas es la presencia de cepas principalmente de las especies *A. flavus* *A. parasiticus* o productoras de aflatoxinas y además que se encuentre prácticamente en cultivo puro y no de competencia con otros microorganismos.

- *Penicillium*: Los penicilios son mohos comunes que se desarrollan sobre los más diversos substratos: granos, paja, cueros, frutas, etc. En maíz causa la pudrición de la mazorca y reduce la germinación, los granos del maíz dañado por el hongo se tornan amarillentos y presentan rayas visibles en el pericarpio. La importancia de estos mohos en la alimentación humana y animal se debe a que producen micotoxinas.
- *Cladosporium*: Hongo de campo, que sin embargo, se le ha encontrado en mazorcas de maíz que se almacenan con altos contenidos de humedad; tiene la capacidad de crecer a bajas temperaturas aún bajo 0 °C. A simple vista las colonias se pueden confundir con *Alternaria*.
- *Epicoccum*: Hongo de campo ampliamente distribuido en la naturaleza como saprobio, es el causante de manchas rojas en el grano de maíz, no se le considera hongo toxígeno (CIMMYT, 1997).

1.4 Micotoxinas

Las micotoxinas son metabolitos secundarios tóxicos producidos por hongos capaces de crecer en gran variedad de sustratos y bajo las más diversas condiciones ambientales, contaminan con frecuencia alimentos, en especial los de origen vegetal. Se han identificado como agentes etiológicos de micotoxicosis en el hombre y en los animales, siendo las aflatoxinas, la zeralenona, las ocratoxinas, las fumonisinas y los tricotecenos algunas de los más frecuentes.

Los humanos están expuestos a las micotoxinas por consumo de alimentos contaminados. El consumo de alimentos eventualmente contaminados con micotoxinas da como resultado una intoxicación aguda en la población humana, que se manifiesta por vómito, dolor abdominal, edema pulmonar, infiltración grasa y necrosis del hígado. El

consumo de micotoxinas en forma crónica se asocia con cáncer hepático y daño renal (Duarte-Vogel y Villamil-Jiménez, 2006).

1.4.1 Aflatoxinas (AF)

Son producidas por algunas especies del género *Aspergillus sp.* se puede encontrar en maíz, almendras, nueces, pistaches, etc. Dentro del grupo de aflatoxinas la de mayor importancia en salud pública es la aflatoxina B1 (AFB1), ésta se relaciona con el desarrollo de carcinoma hepatocelular en poblaciones que consumen alimentos contaminados. El carcinoma hepatocelular es una de las causas de muerte por cáncer en especial en regiones de Asia y África, esta micotoxina tiene efectos mutagénicos, cancerígenos, teratogénicos e inmunodepresivos (Duarte-Vogel y Villamil-Jiménez, 2006).

1.4.2 fumonisin

Son producidas por *Fusarium verticillioides* (Sin. *F. moniliforme*), fueron descubiertas en 1988, se ha relacionado la fumonisin B1 (FB1) con la producción de cáncer esofágico en humanos, leucoencefalomalacia en equinos y edema pulmonar porcino entre otros. Su distribución es mundial, siendo el maíz el cultivo más afectado, el mecanismo de acción tóxica de las fumonisin involucra la inhibición de la enzima ceramida sintetasa, generando acumulación de las bases esfingoides y una disminución de los esfingolípidos complejos, sus efectos son neurotóxicos, hepatóxicos, causa lesiones cardiacas, edema pulmonar y cerebral (Duarte-Vogel y Villamil-Jiménez, 2006).

1.4.3 Tricotecenos (TCT)

Son producidos por varias especies del género *Fusarium sp.* son de distribución mundial y contaminan cereales como avena, trigo, cebada y maíz. Los TCT tienen múltiples órganos blanco, causando lesiones y alteraciones de características muy variadas siendo la inmunosupresión, la neurotoxicidad y la disminución en la absorción de nutrientes. El mecanismo de toxicidad de los tricotecenos, es la inhibición de la síntesis de proteínas, así como de la síntesis de ADN y ARN, por la unión de los TCT a la peptidil-transferasa, parte integral de la subunidad 60S del ribosoma (Duarte-Vogel y Villamil-Jiménez, 2006).

1.4.4 Ocratoxina A (OTA)

La ocratoxina A (OTA), es producida por hongos de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* la distribución de esta micotoxina es mundial, contaminando sustratos como cereales, café, vino, jugo de uva y cerveza. Se ha encontrado relación entre el consumo de alimentos contaminados con OTA y la nefropatía endémica de los Balcanes y con la nefropatía porcina, determinando que el órgano blanco es el riñón. Los efectos sobre el sistema inmune han sido evaluados observándose inmunosupresión marcada después de la administración oral de OTA (Duarte-Vogel y Villamil-Jiménez, 2006).

1.4.5 Zeralenona (ZEA)

La zeralenona es un metabolito producido por varias especies del género *Fusarium*, ha sido hallada en varios países de África y Europa, además de los EEUU, como un contaminante de origen natural de los cereales, particularmente el maíz, presenta un efecto estrogénico en animales (Duarte-Vogel y Villamil-Jiménez, 2006).

1.5 Composición nutricional de los cereales

Los cereales tienen un contenido alto de hidratos de carbono complejos, como el almidón. Aunque existen distintas variedades de cereales, su composición es bastante similar: En la tabla 1.1 podemos apreciar la composición química de los cereales en donde los hidratos de carbono representan más de la mitad del porcentaje total.

Tabla 1.1 Composición química de los cereales.

Componente	Porcentaje (%)
Hidratos de carbono	60-75
Grasas	1-5
Proteínas	7-15
Minerales	1,5-2,5
Ricos en vitaminas del grupo B	-
Agua	10-15

Bartolo-Pérez, (1999).

La gran cantidad de almidón que alberga este grupo de alimentos, condiciona un aporte energético elevado. El aporte de proteínas es importante, pero es deficiente en algunos de los aminoácidos esenciales, por lo que es necesario complementarlo con alimentos ricos en proteínas de otros grupos, como legumbres o alimentos proteicos de origen animal. La complementariedad proteica se aplica sobre todo en las dietas donde los factores culturales, religiosos o económicos restringen la cantidad de determinados aminoácidos (aminoácidos limitantes) como puedan ser los vegetarianos, donde las combinaciones han de ser tales que aseguren la ingesta de proteínas de suficiente calidad. Para obtener proteínas complementarias debemos combinar alimentos con proteína de baja calidad para obtener una proteína de alta calidad. Por ejemplo, los cereales (arroz, maíz, trigo) no contienen el aminoácido esencial lisina y contienen metionina, mientras que las leguminosas (garbanzos, lentejas) contienen lisina pero no metionina. Así, la proteína incompleta de los granos se complementa con la proteína incompleta de las leguminosas para formar una proteína completa (SAGARPA, 2011).

1.6 Maíz

1.6.1 Definición

La palabra maíz de origen indio caribeño, significa literalmente “lo que sustenta la vida”, y junto con el trigo y el arroz son los cereales más importantes del mundo (FAO, 1993). El maíz (*Zea mays*) pertenece a la familia de las gramíneas, debido a que el maíz se ha cultivado en casi todas las partes del mundo, es posible encontrar plantas de este cereal con alguna característica diferente (Maíz, 1983).

1.6.2 Clasificación de granos

De acuerdo con la estructura de sus granos, el maíz puede dividirse en subespecies:

- a) *Zea mays idurata* o maíz cristalino: tiene un endospermo duro y granos de almidón compacto, es utilizado como materia prima para la obtención de alcohol y almidón.
- b) *Zea mays amyloacea* o maíz amiláceo: Tiene endospermo blando, sus granos de almidón no son compactos.
- c) *Zea mays everta* o maíz palomero: Sus granos son pequeños, su endospermo es muy duro y revienta al tostarse, formando “palomitas”.

d) *Zea mays saccharata* o maíz dulce: Su endospermo tiene alrededor de 11% de azúcar, es adecuado para el consumo humano.

e) *Zea mays tunicata* o maíz tunicado: Puede tener diferentes tipos de endospermo, puede tener presencia de glumelas bien desarrolladas que cubren el grano.

f) *Zea mays cerea* o maíz céreo: Se distingue su endospermo céreo y se utiliza en la elaboración de budines, gomas y adhesivos. El almidón está compuesto solo por amilopectinas en vez de una mezcla de amilosa.

1.6.3 Estructura del grano

En la figura 1.3 podemos apreciar la estructura del grano que se conforma de:

- ✓ Endospermo: contiene 9.4% de proteína, 0.8% de lípidos, 0.6% de azúcares, 0.3% de minerales, 84.4% de almidón y 2.7% de fibra cruda.
- ✓ Pericarpio: contiene 3.7% de proteína, 1% de lípidos, 0.3% de azúcares, 0.8% de minerales, 7.3% de almidón y 86.6% de fibra cruda.
- ✓ Germen: contiene 18.8% de proteína, 34.5% de lípidos, 10.8% de azúcares, 10.1% de minerales, 8.2% de almidón y 8.6% de fibra cruda.
- ✓ Pedicelo: contiene 9.1% de proteína, 3.8% de lípidos, 1.6% de azúcares, 1.6% de minerales y 5.3% de almidón.

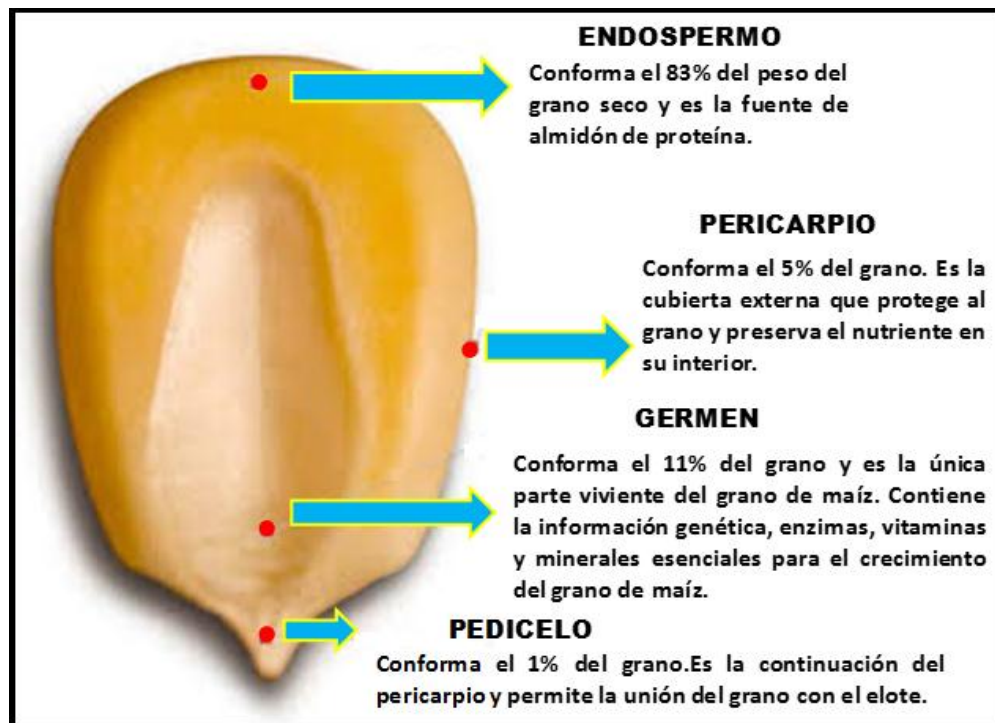


Figura 1.3 Estructura del grano de maíz (Paredes-López *et al.*, 2006)

1.6.4 Composición química del grano

Las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87%, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67%), celulosa (23%) y lignina (0,15%) (Burge, 1989). El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87%), aproximadamente 8% de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo como se puede observar en la Tabla. 1.2, 1.3 (Watson, 1987).

Tabla 1.2 Distribución ponderal de las principales partes del grano

Estructura	Porcentaje de distribución ponderal
Pericarpio	5-6
Aleurona	2-3
Endospermo	80-85
Germen	10-12

(Watson, 1987).

Tabla 1.3 Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%)

Compuesto	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteína	3.7	8.0	18.4
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Almidón	7.3	87.6	8.3
Azúcar	0.34	0.62	10.8

(Watson, 1987).

Almidón

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde alrededor del 80% del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos

en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3 % del grano (Boyer y Shannon 1987).

Otros hidratos de carbono

El grano maduro contiene pequeñas cantidades de otros hidratos de carbono, además de almidón. El total de azúcares del grano varía entre el 1 y el 3%, y la sacarosa, el elemento más importante, se halla esencialmente en el germen. En los granos en vías de maduración hay niveles más elevados de monosacáridos, disacáridos y trisacáridos (Bressani *et al.*, 1990).

Fibra dietética

Después de los hidratos de carbono (principalmente almidón), las proteínas y las grasas, la fibra dietética es el componente químico del maíz que se halla en cantidades mayores. El contenido de fibra dietética de los granos descascarados será evidentemente menor que el de los granos enteros (Bressani *et al.*, 1989).

Proteínas

Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar menos del 20% del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el germen (Landry y Moureaux, 1982).

Aceite y ácidos grasos

El aceite del grano de maíz está fundamentalmente en el germen y viene determinado genéticamente, con valores que van del 3 al 18%. Dichos valores difieren en alguna medida, y cabe suponer que los aceites de distintas variedades tengan composiciones diferentes. El aceite de maíz tiene un bajo nivel de ácidos grasos saturados: ácido palmítico y esteárico, con valores medios del 11% y el 2%, respectivamente. En cambio, contiene niveles relativamente elevados de ácidos grasos poliinsaturados, fundamentalmente ácido linoléico, con un valor medio de cerca del 24%. Además, el aceite de maíz es relativamente estable, por contener únicamente pequeñas cantidades

de ácido linoléico (0,7%) y niveles elevados de antioxidantes naturales (Bressani *et al.*, 1990).

Minerales

La concentración de cenizas en el grano de maíz es aproximadamente del 1.3%, sólo ligeramente menor que el contenido de fibra cruda. Los factores ambientales influyen probablemente en dicho contenido. El germen es relativamente rico en minerales, con un valor medio del 11%, frente a menos del 1% en el endospermo. El germen proporciona cerca del 78% de todos los minerales del grano. Los minerales que más abundan son el fósforo, potasio y magnesio, encontrándose en su totalidad en el embrión con valores de aproximadamente 0.90% en el maíz común y cerca del 0.92% en el maíz opaco-2. Como sucede con la mayoría de los granos de cereal, el maíz tiene un bajo contenido de Ca y de oligoelementos (Gómez-Brenes *et al.*, 1972).

Vitaminas liposolubles

El grano de maíz contiene dos vitaminas solubles en grasa, la provitamina A, o carotenoide, y la vitamina E. Los carotenoides se hallan sobre todo en el maíz amarillo, en cantidades que pueden ser reguladas genéticamente, en tanto que el maíz blanco tiene un escaso o nulo contenido de ellos. La mayoría de los carotenoides se encuentran en el endospermo duro del grano y únicamente pequeñas cantidades en el germen.

El beta-caroteno es una fuente importante de vitamina A, aunque no totalmente aprovechada pues los seres humanos no consumen tanto maíz amarillo como maíz blanco (Gómez-Brenes *et al.*, 1972).

Vitaminas hidrosolubles

Las vitaminas solubles en agua se encuentran sobre todo en la capa de aleurona del grano de maíz, y en menor medida en el germen y el endospermo. Esta distribución tiene importancia al elaborar el cereal debido a que se han encontrado cantidades variables de tiamina y riboflavina en el grano del maíz; su contenido está determinado en mayor medida por el medio ambiente, las prácticas de cultivo y por la estructura genética, aunque se han encontrado diferencias en el contenido de estas vitaminas entre las distintas variedades (Gómez-Brenes *et al.*, 1972).

1.7 Nixtamalización

1.7.1 Definición

La palabra nixtamalización se deriva del nahuatl *nixtli*, que significa “cenizas” o “cal”, y *tamalli*, que quiere decir “masa de maíz” (Paredes-López, 2006). El maíz era calentado en agua con cenizas volcánicas y después era molido en un metate de piedra para producir la masa que se utilizaba para formar discos llamado tlaxcalli por los aztecas y posteriormente fue bautizado como “tortilla” por los españoles. Sorprendentemente, este proceso desarrollado hace aproximadamente 3,500 años sigue llevándose a cabo casi de la misma forma, con sólo algunas modificaciones técnicas. Uno de los principales problemas asociados con el proceso ancestral, está relacionado con la cantidad de agua para cocer el maíz ya que para procesar una tonelada de maíz se requiere de 1.2 m³, sin embargo el 30% se desecha como agua residual denominada nejayote.

1.7.2 Cambios fisicoquímicos en la nixtamalización

La nixtamalización es responsable de importantes características fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales de los productos del maíz incluidos el retiro del pericarpio, la incorporación del 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 final (Gómez *et al.*, 1987).

La gelatinización del almidón es el principal cambio ocurrido durante el proceso de nixtamalización. Durante la cocción del grano, la estructura cristalina del almidón se rompe parcialmente, misma que se recobra durante el proceso de reposo del grano cocido (Gómez *et al.*, 1987).

La cal penetra en el grano a través del germen, la parte anatómica que tiene la mayor concentración de calcio después de la cocción y el remojo. La cal también afecta el color de la tortilla. Incluso cuando las tortillas se producen de granos blancos, una alta concentración de cal forma un producto final amarillento. La intensidad de color está relacionada con los pigmentos carotenoides, flavonoides y el pH (Gómez *et al.*, 1987).

Durante el proceso de nixtamalización en la elaboración de tortillas, ocurren cambios en el contenido y disponibilidad de los nutrientes de dicho cereal. Uno de los cambios más importantes, es el aumento del contenido de calcio, el cual se ve favorecido por los niveles de CaCO_3 , la temperatura de cocción y el reposo (Bressani 1990), permitiendo un enlace con el almidón y aumentando aproximadamente tres veces la cantidad de calcio disponible en el maíz con relación al determinado en muestras sin nixtamalizar (Trejo-González *et al.*, 1982).

Desde el punto de vista nutricional, el calcio es importante en la dieta humana, ya que evita la osteoporosis, que se manifiesta como fragilidad de los huesos por pérdida de masa del sistema óseo (Cornejo-Villegas *et al.*, 2010). Durante la nixtamalización, la absorción del calcio es favorecida por la vitamina D, la saturación del ácido fítico con calcio, lo que favorece la absorción de otros minerales traza (Urizar y Bressani 1997).

Para llevar a cabo el proceso de nixtamalización, es necesario controlar diferentes puntos los cuales se encuentran a través de todo el proceso y son los siguientes:

- ✓ Establecimiento del tiempo de cocimiento de granos de maíz.
- ✓ Volumen de agua utilizada para cocer los granos de maíz.
- ✓ Perfil de tiempo-temperatura empleado durante la etapa de cocción y reposo.
- ✓ Cantidad de hidróxido de calcio adicionado durante el cocimiento.
- ✓ Número de veces y duración del mezclado en la etapa de cocción.
- ✓ Duración del tiempo de reposo de los granos de maíz en el líquido de cocimiento.
- ✓ Tiempo de drenado del nejayote.
- ✓ Forma, duración y número de lavados del nixtamal.
- ✓ Tiempo de drenado del agua de lavado.
- ✓ Velocidad de alimentación en la molienda húmeda.
- ✓ Abertura de los elementos molientes (discos de piedra o metal).
- ✓ Tamaño del granulado obtenido (masa).
- ✓ Volumen de agua adicionado durante la hidratación del granulado.

1.7.3 Productos derivados de la nixtamalización

La nixtamalización no sólo ha servido para producir tortillas. La masa, el maíz nixtamalizado y las tortillas, se han usado también para preparar un gran número de platillos (Figura 1.4). Cada región prepara algunos de éstos con un condimento especial, muchos son consumidos localmente, formando parte de la cultura culinaria del de México. Los tamales se preparan con maíz nixtamalizado y se conocen al menos 20 tipos diferentes que son elaborados en diversas formas dependiendo de la región. Los productos elaborados a base de maíz se han vuelto muy populares en otros países de América y Europa. Las dos botanas nixtamalizadas por excelencia, los totopos y las tostadas, están colocadas en el segundo lugar en ventas en el mundo después de las papas fritas, y representan un gran ingreso económico en los Estados Unidos (Paredes *et al.*, 2006).

En el caso del estado de Guerrero, México, una tradición de todos los jueves es consumir pozole. Existen reportes que señalan que la cuna de este platillo a base de maíz nixtamalizado es la ciudad de Chilapa (Guerrero), en la región de la Montaña. El pozole guerrerense, ya sea blanco o verde preparado con una pasta a base de semilla de calabaza, de puerco o pollo, se degusta con chicharrón, aguacate, queso fresco, chile, cebolla y orégano que, dicen los oriundos de estos lugares, ayuda a la buena digestión de este platillo (Paredes *et al.*, 2006).



Figura 1.4 Productos derivados del maíz nixtamalizado (Elaboración propia, 2014)

Los procesos de nixtamalización que se emplean en el país para la producción de masa de nixtamal son muy variados, dependen del tipo de escala, equipo disponible, variedad de maíz utilizada, así como de las diversas prácticas de manufactura. Sin embargo, en términos generales, en promedio se produce un mínimo de tres unidades de volumen de efluentes por cada unidad de masa de granos procesada. Parte de los nutrientes perdidos durante la nixtamalización se acumulan en esos efluentes que son compuestos principalmente por el agua de remojo o lavado del cereal, por lo que la composición de estas aguas es similar al cereal aun cuando proporcionalmente contenga más fibra (pericarpio del maíz), cenizas (sales de calcio) y menos proteína que el grano de maíz (Calderón, 1990).

1.8 Masas de maíz nixtamalizado

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

La producción comercial de harinas de maíz instantáneas tiene diferencias en cuanto al proceso de nixtamalización tradicional. La producción industrial de masa no sigue las condiciones tradicionales de nixtamalización, por lo que se obtienen tortillas cuya textura y estabilidad durante el almacenamiento son de menor calidad comparadas con las obtenidas en forma casera o con procesos a menor escala (Bello *et al.*, 2002). Las principales modificaciones tradicionales incluyen la reducción del tiempo de cocción alcalina, el tiempo de remojo de los granos cocidos, el número de lavados para remover el exceso de cal y el tiempo de reposo después del proceso de lavado (Gasca-Mancera y Casas-Alencaster, 2007).

1.9 Reología y textura de masas

Las preferencias del consumidor se inclinan hacia las tortillas elaboradas en forma tradicional por su sabor, sus propiedades texturales (suavidad y flexibilidad).

La textura de la masa es crítica para el proceso de elaboración de tortilla, cuando tiene la textura adecuada se adhiere ligeramente en los rodillos laminadores de la máquina tortilladora y separarse adecuadamente (Gasca-Mancera y Casas-Alencáster,2007).

Las masas como muchos otros alimentos, es un material viscoelástico, su textura ha sido evaluada en forma instrumental por diferentes métodos.

Almeida y Rooney (1997), utilizaron una prueba de perfil de textura con 30% de deformación relativa aparente y evaluaron propiedades como la dureza, cohesividad, elasticidad y adhesividad.

Por otra parte, la Reología es la ciencia de los alimentos para definir la consistencia, la cual se puede clasificar en viscosidad o flujo viscoso, elasticidad o deformación elástica y viscoelasticidad. El conocimiento de la reología es esencial para el diseño del proceso y la evaluación de la calidad del producto (Rao y Steffe,1992). Existen diferentes criterios para establecer la clasificación de los materiales con base en su comportamiento reológico. La manera más general de clasificar el comportamiento de los materiales se dividen en tres categorías (García-Rejón, 1981):

- ✓ Sólido de Hooke, materiales que obedecen la Ley de Hooke.
- ✓ Materiales viscoelásticos.
- ✓ Fluido newtoniano, materiales que obedecen la Ley de Newton.

Tanto el comportamiento sólido de Hooke como el comportamiento fluido newtoniano, son casos ideales, muchos de los sistemas alimenticios se encuentran entre estos dos y quedan incluidos dentro del comportamiento viscoelástico (Casas y Ramírez 1998). Como se puede observar en la Figura 1.5, el comportamiento de un fluido Newtoniano se representa mediante un pistón trabajando en un cilindro, mientras que en la Figura 1.6, se puede observar un comportamiento elástico (como el de un sólido de Hooke) es representado con un resorte (Bourne, 2002).

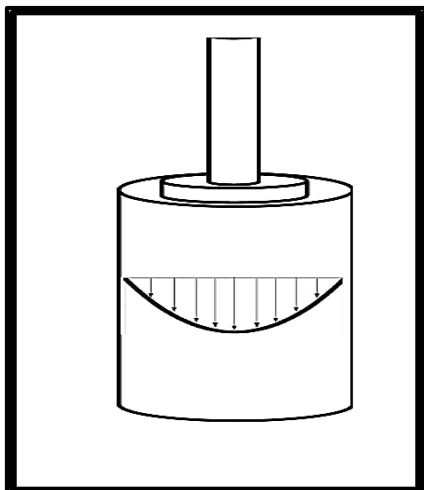


Figura 1.5 Representación de un fluido newtoniano sobre un cilindro

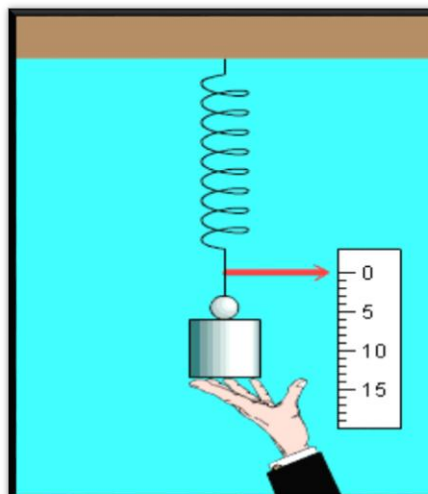


Figura 1.6 Representación de un comportamiento elástico

Durante la nixtamalización se originan reacciones bioquímicas importantes que modifican las características fisicoquímicas, microbiológicas, texturales y reológicas de la masa (Rodríguez *et al.*, 2005), el mayor porcentaje de los cambios ocurridos durante la nixtamalización se debe a las modificaciones que sufre el almidón, principal componente del grano de maíz (72-78%).

La masa, como muchos otros alimentos, es un material viscoelástico. Durante su obtención, manejo y utilización para la elaboración de tortilla y otros productos, es sometida a diferentes tipos de fuerzas con muy diferentes niveles de compresión, incluyendo las operaciones por las cuales el molinero juzga la textura de manera empírica (Gomez *et al.*, 1987).

1.10 Tortilla

La industria de la tortilla se ubica aproximadamente del primero al quinto lugar de venta en México, con una producción anual estimada de 6.9 millones de toneladas, produciendo ventas de 72, 481 millones de pesos (CONEVAL, 2010). Plascencia (2004) y Rojas Molina *et al.* (2007) han estimado que el consumo de tortilla en las últimas 4 décadas ha caído cerca de 15%. La industria harinera nacional está realizando un esfuerzo para complementar la tortilla elaborada con harina nixtamalizada con la adición de proteína,

minerales y vitaminas. En este aspecto se espera enriquecer este tipo de tortilla que representa el 23% del consumo en México. Sin embargo, no se ha contemplado el 37% de la tortilla que se elabora con masa de molinos de nixtamal comerciales ni el 40% de la tortilla elaborada en zonas rurales. Por esta razón se deben desarrollar tecnologías sencillas y baratas para complementar o enriquecer la tortilla hecha con masa proveniente del sector molinero no industrial (Paredes-López *et al.*, 2006).

El contenido de calcio en el maíz es de 30 ppm (Bartolo-Pérez *et al.*, 1999), esta cantidad es baja comparada con los requisitos mínimos para una alimentación adecuada, ya que el calcio es uno de los elementos principales de composición de los huesos. Durante el cocimiento alcalino que se lleva a cabo en la nixtamalización, la mayor parte del calcio es retenido en el pericarpio; por lo que es de importancia que cierta cantidad del pericarpio que se desecha con el nejayote pase a formar parte de la masa o de la harina. El pericarpio representa la estructura más importante en el grano, ya que regula el calcio y la difusión del agua en las estructuras internas del grano de maíz (Gutiérrez-Cortez *et al.*, 2010).

En la actualidad, se ha avanzado en el entendimiento del proceso de nixtamalización y sus efectos en el grano de maíz considerando el origen anatómico-estructural de las partículas que constituyen el nixtamal y la masa, además de la relación entre el contenido de calcio y las transformaciones estructurales y morfológicas del grano procesado. Rojas-Molina *et al.* (2008), encontraron que las transformaciones en las propiedades térmicas y en la estructura cristalina del almidón en el endospermo del grano nixtamalizado son más evidentes en las capas más externas de esta estructura, donde la fijación del calcio también es mayor.

El proceso de nixtamalización induce cambios en el contenido de macronutrientes, se disminuye la fibra dietética y los lípidos habiendo un pequeño aumento en el contenido de minerales. En el proceso se llevan a cabo pérdidas sustanciales de tiamina, riboflavina y niacina, así como en carotenos cuando el maíz es amarillo. La niacina residual es altamente biodisponible, al igual que el triptófano, además de una mejor relación leucina-

isoleucina, lo cual ayuda a que la población no desarrolle pelagra, como ha ocurrido en poblaciones que consumen maíz no nixtamalizado (Rojas-Molina *et al.*, 2009).

El proceso térmico alcalino conlleva a importantes interacciones entre el calcio y los diferentes componentes químicos del maíz, que determinan las características sensoriales y fisicoquímicas como; hidratar al grano, suavizar el pericarpio, desnaturalizar proteínas, gelatinización parcial del almidón, entre otros y las nutrimentales, tales que le confieren a los productos una calidad adecuada. El contenido de calcio en este producto es importante desde el punto de vista nutricional en la dieta humana debido a que a cierta edad la población padece de déficit de este mineral (Paredes-López *et al.*, 2006).

Tomando en cuenta el consumo diario de productos nixtamalizados, el calcio de las tortillas provee de más de la mitad del calcio ingerido *per cápita* en México. La nixtamalización reduce los problemas asociados a la deficiencia de este mineral (Paredes-López *et al.*, 2006).

1.11 Textura en tortillas

La textura es un factor de aceptabilidad sensorial importante para la aprobación de algunos alimentos por parte del consumidor. Las propiedades texturales de un alimento son el grupo de características físicas que dependen de los elementos estructurales del material y se relacionan con la deformación, desintegración y flujo por la aplicación de una fuerza. Una propiedad importante del alimento que se asocia con la textura es su comportamiento reológico (Rodríguez *et al.*, 2005).

La textura de los alimentos es una experiencia humana que surge de la interacción con el alimento, su estructura y comportamiento cuando es manipulado, la textura nos ayuda a comprender la respuesta a la estructura del alimento desde aspectos de fisiología y psicología de la percepción, además de estudios físicos y químicos de la composición y estructura de los productos alimenticios cuando son deformados o cizallados (Rosenthal, 2001).

Durante la nixtamalización se originan reacciones bioquímicas importantes que modifican las características fisicoquímicas, microbiológicas y texturales de la masa (Rodríguez *et al.*, 2005). El mayor porcentaje de los cambios ocurridos durante la nixtamalización se debe a las modificaciones que sufre el almidón, principal componente del grano de maíz (72-78%). El estudio de la gelatinización del almidón es importante para el desarrollo de las propiedades texturales de la masa empleada para la producción de tortillas (Arámbula *et al.*, 2001).

El almidón es el principal componente químico del grano de maíz, el cual se localiza en paquetes o gránulos recubiertos por una matriz proteínica. El almidón se conforma por dos estructuras macromoleculares: la amilosa y la amilopectina, las cuales mantienen una organización estructural y un arreglo relativo en el interior de los gránulos de almidón. Este orden se manifiesta en la estructura cristalina de estos glucanos, el cual se modifica durante el proceso de nixtamalización (Rojas-Molina *et al.*, 2008).

Durante la nixtamalización, pequeñas cantidades de gránulos de almidón son gelatinizados y la mayor gelatinización se debe a la fricción en el proceso de molienda, en la cual también se dispersa parcialmente los gránulos hinchados dentro de la matriz, los que actúan como un pegamento que mantiene unidas las partículas de masa. Mucho almidón gelatinizado (debido a un cocimiento excesivo) produce una masa pegajosa que es difícil de manejar. En cambio poca cocción produce una masa sin cohesividad que da origen a tortillas de textura inadecuada (Bello *et al.*, 2002).

1.12 Subproducto de la nixtamalización

El nejayote, un subproducto de la nixtamalización es agua de desecho rica orgánicamente, que contiene una alta concentración de materiales sólidos. Estos sólidos consisten en materia de maíz seca y calcio, el cual se pierde durante el procesamiento. Valderrama-Bravo y colaboradores en el 2012 identificaron por medio de una microscopía electrónica de barrido (SEM) la presencia de fibras, almidón y carbonato de calcio (ver Figura 1.7).

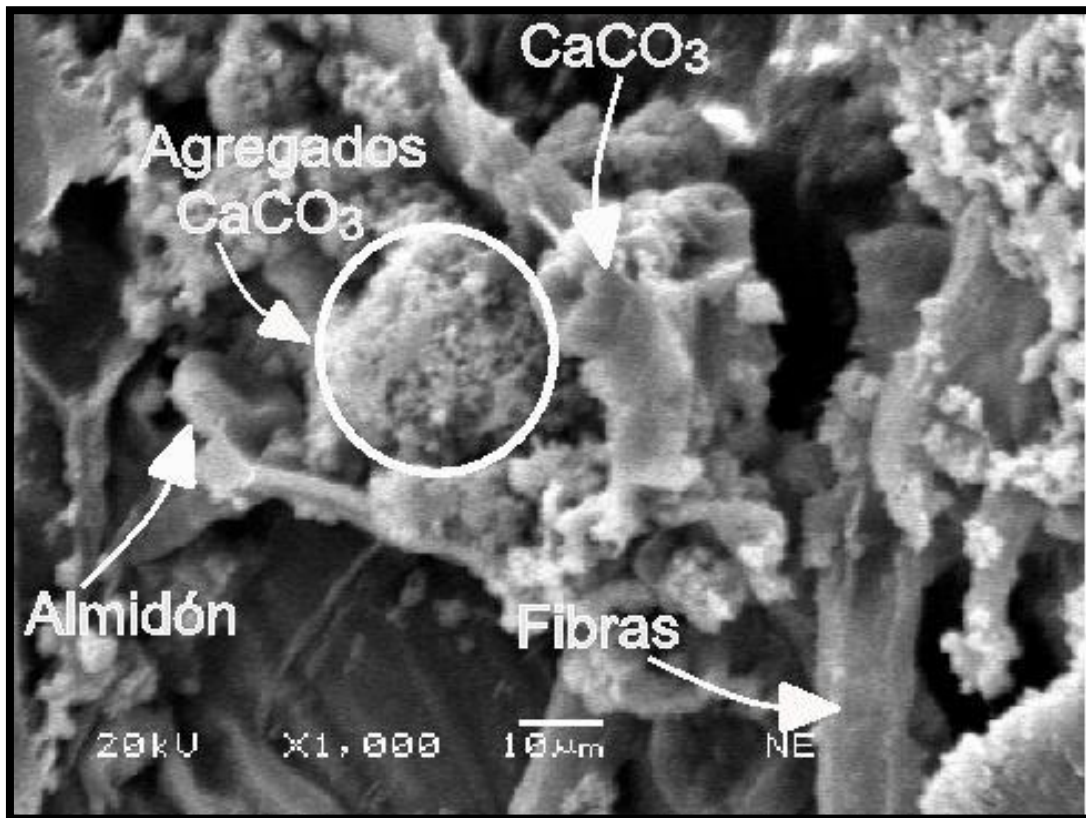


Figura 1.7 Imagen de SEM a 1000x (Valderrama-Bravo *et al.*, 2012)

El nejayote se considera agua de desecho altamente contaminante porque contiene altas concentraciones de sólidos solubles e insolubles.

Pflugfelder *et al.*, (1988) reportaron que aproximadamente 50% de los sólidos de nejayote son sólidos insolubles y contienen cerca del 64% de polisacáridos, 20% almidón y 1.4% proteína. El otro 50% fue considerado sólidos solubles. Los sólidos suspendidos del nejayote son generalmente removidos por centrifugación, decantación o filtración.

De acuerdo a Domínguez y Carrillo (2003), el nejayote obtenido de la nixtamalización se considera agua de desecho porque los efluentes generados durante la nixtamalización son potencialmente dañinos para el medio ambiente y es altamente contaminante debido a que tiene las siguientes características:

- Contiene altas concentraciones de materia orgánica en suspensión y disuelta (5 a 50 g/l) lo que ocasiona una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- La temperatura del proceso (60 a 90 °C).
- Tiene un pH cercano al límite máximo de alcalinidad (10 a 14).

El nejayote tiene altas concentraciones de materia orgánica en suspensión y en solución de 5 -50 g/L, debido al uso de hidróxido de calcio en el proceso, contiene de 6 a 8 % inicial de sólidos secos, que incluye parte del pericarpio, hemicelulosa, carbohidratos, proteínas, calcio, endospermo, pequeñas partes del germen y carotenoides (pigmentos), responsables de su color amarillo. Debido a los altos volúmenes de nejayote producidos durante la nixtamalización (5:1 proporción en peso inicial de maíz) y por su elevada concentración de materia orgánica, el nejayote obtenido en las fábricas de nixtamalización se considera altamente nutricional (Velasco-Martínez *et al.*, 1997).

El nejayote contiene altos valores de demanda bioquímica de oxígeno (14219 ± 309 mg/L), total de sólidos suspendidos (8342 ± 25 mg/L), demanda química de oxígeno (DQO) (40058 ± 82 mg O₂/L) y alcalinidad total (5768 ± 0.5 mg/L CaCO₃) (Valderrama-Bravo *et al.*, 2012). Durante la nixtamalización se producen altas cantidades de nejayote, por lo tanto, en México es importante proponer alternativas de reutilización. En un estudio realizado por Valderrama-Bravo *et al.*, (2012), obtuvieron nejayote filtrado, el cual proponen usar en suelos.

2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1 Objetivo General

Analizar el efecto de la nixtamalización, empleando nejayote en una y doble recirculación (50:50, 70:30, 30:70, nejayote/agua), sobre las propiedades microbiológicas, reológicas y texturales de masas y tortillas.

2.2 Objetivos Particulares

2.2.1 Objetivo Particular 1

Evaluar el contenido de carbonato de calcio en tortillas nixtamalizadas con nejayote en una y doble recirculación a través de una retrotitulación para determinar si en el proceso de nixtamalización la cantidad de calcio es absorbida mayormente que en un proceso tradicional.

2.2.2 Objetivo Particular 2

Realizar análisis microbiológicos en masas y tortillas de maíz nixtamalizado en un proceso de una y doble recirculación de nejayote por medio del método de diluciones para masas y método placa agar y diluciones para tortillas comparando la vida de anaquel con las masas y tortillas elaboradas a partir de un proceso tradicional.

2.2.3 Objetivo Particular 3

Evaluar el efecto en las propiedades reológicas y de textura de masas y tortillas elaboradas a partir de maíz nixtamalizado en un proceso de una y doble recirculación de nejayote, por medio de un análisis de perfil de textura y pruebas de viscoelasticidad.

2.3 Hipótesis

El nejayote es agua residual obtenida del proceso de nixtamalización la cual contiene compuestos orgánicos que pueden mejorar la consistencia de la masa y su valor nutricional. Si en el proceso de nixtamalización se recircula el nejayote, se obtendrá una tortilla con mayor resistencia a la fracturabilidad y mayor vida de anaquel sin afectar sus propiedades físicas

2.4 Actividades Preliminares

2.4.1 Caracterización de la materia prima

Se utilizó maíz blanco comercial (Figura 2.1) proporcionado por Alimentos Balanceados y Servicios Integrados 2070, S.A. de C.V. ubicada en San Juan del Río, Querétaro.



Figura 2.1 Costal de 50 kg de maíz blanco comercial para consumo humano ABSI

2.4.1.1 Limpieza del grano

Se realizó una limpieza manual (Figura 2.2) del lote completo de maíz blanco para los tratamientos y su caracterización física. Se desecharon, granos dañados e impurezas contenidas en la muestra hasta obtener un grano limpio. Una vez limpio se almacenó a 5°C.



Figura 2.2 Limpieza manual del grano de maíz blanco

2.4.1.2 Humedad del grano

El contenido de humedad fue determinado mediante el método de secado de muestras de maíz con una estufa de circulación de aire forzado durante 72 horas a 103°C. La determinación se basó en el método 925.10 del AOAC (1990).

Se pesó en una balanza digital 6 cajas de aluminio vacías. Se pesaron 10 granos de maíz blanco en 6 cajas de aluminio para obtener una muestra representativa. Se anotó el número y el peso de las cajas correspondientes: vacías y con el peso de 10 granos. Las cajas de aluminio numeradas y pesadas se introdujeron en una estufa de circulación de aire forzado durante 72 horas a 103°C marca red line. Al paso de 72 horas. Se sacaron las muestras de la estufa y se colocaron en un desecador, se dejaron enfriar y posteriormente se pesaron. Se anotó el número y peso de la caja de aluminio y se realizó el cálculo para conocer el contenido de humedad (Figura 2.3.).

$$\% \text{Humedad} = (PA/PT) * 100 \dots \text{Ecuación 1}$$

PA= peso de agua

PT= peso de agua+ peso materia seca (peso total del grano).



Figura 2.3 Determinación de humedad del maíz blanco en una estufa Lindberg Blue Modelo: TS7182W87

2.4.1.3 Peso hectolítrico

Densidad aparente

Para la medición del peso hectolítrico se utilizó una balanza de peso específica marca OHAUS (Figura 2.4).



Figura 2.4 Balanza específica marca OHAUS para determinar peso hectolítrico

Se define como el peso del grano contenido en una unidad de volumen. Esta medida está directamente relacionada con las características de calidad del grano. Un grano con alto contenido de impurezas o daños es más liviano y tiene normalmente un peso hectolítrico menor.

La determinación se realiza con la utilización de la balanza de peso hectolítrico donde: se equilibró y posteriormente se colocó la muestra de maíz en el embudo superior de la balanza, colocando el recipiente de 1 L por debajo y se dejó caer libremente el grano al recipiente, rasando sin apretar el grano con tres movimientos en zigzag. Se colocó el recipiente al fiel de la balanza y se tomó la lectura. El peso del volumen del grano se multiplicó por 100 para reportar el resultado en kg/hL. El peso hectolítrico fue el porcentaje promedio de tres repeticiones.

2.4.1.4 Dureza

Para determinar la dureza del maíz, se utilizó el método propuesto por Salinas *et al.* (1992) para calcular el índice de flotación. Este método se basa en el principio de que los granos duros son de mayor densidad y por lo tanto tales granos flotan en menor cantidad que los granos de menor densidad, en una solución de nitrato de sodio.

Se empleó una solución de nitrato de sodio, ajustada a una concentración de 41% a una densidad de 1.250 g/mL (+/- 0.001 g/mL). Empleando un volumen de 300 mL de solución, contenidos en un vaso de 600 mL. Se tomaron 100 granos limpios (libres de impurezas), y se colocaron en la solución de nitrato de sodio previamente preparada, separando los granos uno de otro por medio de un agitador de vidrio, se homogenizó y se esperó un minuto para tomar la lectura. El número de granos que ascendieron a la superficie fue el porcentaje del índice de flotación. El índice de flotación fue el promedio de tres repeticiones.

2.5 Nixtamalización

En la nixtamalización se realizaron tres procesos: el primero es una nixtamalización tradicional de la cual se obtuvo la masa control (MC) que consistió en adicionar tres partes de agua por una de maíz (3:1), es decir, por cada 1.5 Kg de maíz se adicionaron 4.5 L de agua con Ca(OH)_2 al 1% (15 g de Ca(OH)_2). A partir de este proceso se obtuvieron aproximadamente 3 L de nejayote, de los cuales se utilizaron 1.5 litros para el segundo proceso (primera recirculación de nejayote) y 1.5 litros para el tercer proceso (segunda recirculación de nejayote) como se observa en la tabla 2.1.

El segundo proceso, consistió en nixtamalizar con nejayote obtenido del primer proceso con agua a diferentes concentraciones:

- N1N: 50% de agua 50% de nejayote: Se Nixtamalizarón 100 g de maíz con 150ml de agua y 150 ml de nejayote, Ca(OH)_2 al 1% (1g de Ca(OH)_2).
- N2N: 70% Nejayote 30% de agua: Se Nixtamalizarón 100 g de maíz con 210 ml de Nejayote y 90 ml de agua, Ca(OH)_2 al 1% (1g de Ca(OH)_2).
- N3N: 30% de Nejayote 70% de agua: Se Nixtamalizarón 100 g de maíz con 90 ml de Nejayote y 210 ml de agua, Ca(OH)_2 al 1% (1g de Ca(OH)_2).

El tercer proceso consistió en Nixtamalizar siguiendo el proceso tradicional de 3:1, sustituyendo el agua por nejayote obtenido del primer proceso (1.5 L) con 500 g de maíz, e Ca(OH)_2 al 1% (5 g Ca(OH)_2). El nejayote obtenido a partir de esta nixtamalización fue aproximadamente de 700 ml. A partir de esto, se nixtamalizó a 3 diferentes concentraciones:

- N1P: 50% de agua 50% de nejayote: Se Nixtamalizarón 100 g de maíz con 150ml de agua y 150 ml de nejayote, Ca(OH)_2 al 1% (1g de Ca(OH)_2).
- N2P: 70% Nejayote 30% de agua: Se Nixtamalizarón 100 g de maíz con 210 ml de Nejayote y 90 ml de agua, Ca(OH)_2 al 1% (1g de Ca(OH)_2).
- N3P: 30% de Nejayote 70% de agua: Se Nixtamalizarón 100 g de maíz con 90 ml de Nejayote y 210 ml de agua, Ca(OH)_2 al 1% (1g de Ca(OH)_2).

Tabla 2.1 Tratamientos de nixtamalización para primera y segunda recirculación

MUESTRA MASAS	FORMULACIÓN	NOMENCLATURA
Masa Control	1:3 (maíz/agua)	MC
Nixtamalización 1ra recirculación	50:50 (nejayote/agua)	(N1N)
	70:30 (nejayote/agua)	(N2N)
	30:70 (nejayote/agua)	(N3N)
Nixtamalización 2da recirculación	50:50 (nejayote/agua)	(N1P)
	70:30 (nejayote/agua)	(N2P)
	30:70 (nejayote/agua)	(N3P)

2.5.1 Nixtamalización tradicional (Muestra control)

La metodología para nixtamalizar la muestra control se basó en la propuesta por López-Ramírez (2013), haciendo ajustes en la cantidad de maíz, la cantidad de agua y la temperatura.

A continuación se presenta en la Figura 2.5 el diagrama del proceso para la nixtamalización tradicional.

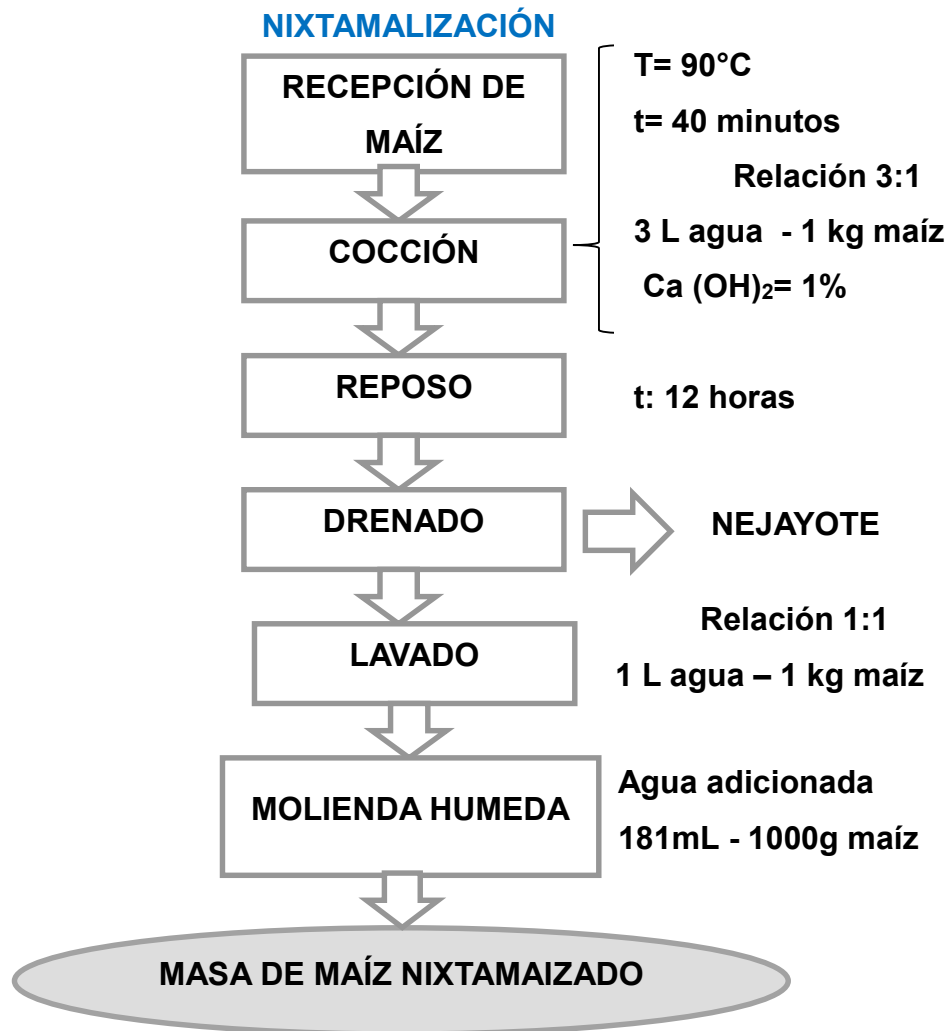


Figura 2.5 Diagrama de bloques del proceso de nixtamalización tradicional

En todos los ensayos se fijó la cantidad de agua de cocción, temperatura, tiempo de cocción, tiempo de reposo, cantidad de agua adicionada en el lavado, porcentaje de calcio y cantidad de agua adicionada en la molienda.

2.5.1.1 Descripción del diagrama de bloques del proceso de nixtamalización convencional.

Cocción

En esta etapa se utilizó maíz y agua en relación 1:3. Cada muestra se preparó cocinando 1kg de maíz con 3L de agua y se agregó hidróxido de calcio (grado alimenticio, Fermont, Monterrey, NL, México) al 1% en relación al peso del maíz, manteniendo una temperatura de 90 °C por 40 minutos (Figura 2.6).



Figura 2.6 Cocción de maíz a 90°C por un tiempo de 40 min.

Reposo

Las muestras se dejaron reposar durante 12 horas. Después de cumplir este tiempo se separó el nejayote (agua residual del proceso de nixtamalización). Se colocaron los granos de maíz en un colador de plástico para recuperar el nejayote (Figura 2.7) para su posterior uso en el maíz nixtamalizado con nejayote.

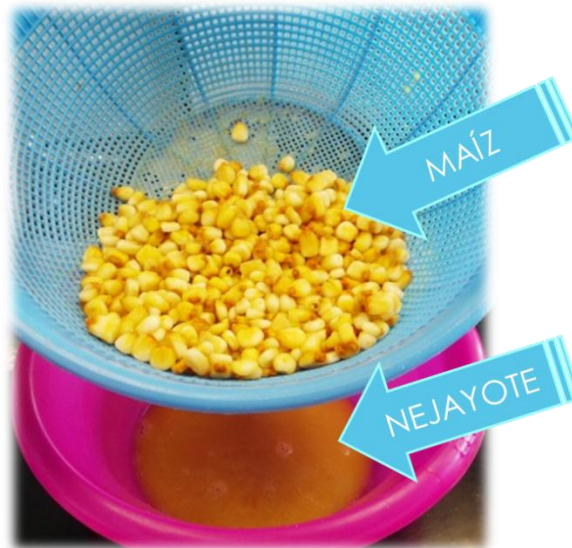


Figura 2.7 Drenado de nejayote

Lavado

Se separó la muestra de nejayote del maíz nixtamalizado, para realizar el lavado se eliminaron los sólidos que quedaron presentes en el grano de maíz ya que estos no facilitan la molienda. Este proceso se realizó en una proporción 1:1 se agregó 1L de agua por 1kg de maíz, realizando únicamente un solo lavado y se escurrieron los granos de maíz para retirar el líquido sobrante del lavado.

Molienda

La molienda del maíz nixtamalizado se realizó en un molino manual para granos marca “Estrella”. En esta etapa se hidrató el nixtamal con referencia al peso del maíz. La

molienda se estandarizó ajustando los discos al máximo para la obtención de una masa fina pasando el grano 3 veces por el molino (Figura 2.8). La masa obtenida fue mantenida dentro de bolsas herméticas para evitar la pérdida de humedad.



Figura 2.8 Molienda de maíz nixtamalizado

2.6 Determinación de carbonato de calcio en masas y tortillas.

El método empleado fue por retrotitulación siguiendo la metodología de López (2013). El método consistió en pesar 500 mg de muestra de masa de maíz nixtamalizada seca y pulverizada en un mortero y posterior mente se agrega dentro de matraz Erlenmeyer. Con una pipeta volumétrica se agregaron 10 mL de HCL 1N, (Preparación de reactivo ver anexos 1.1) se agitó el matraz por 5 minutos. Se calentó el matraz hasta que la solución comenzó a hervir ($T=48\text{ }^{\circ}\text{C}$); se enfrió el matraz con agua y se adicionaron 3 gotas de indicador de fenolftaleína. (Preparación de reactivos ver anexos 1) Se llenó una bureta con la solución titulante de NaOH 1N, (Preparación de reactivos ver anexos 1.2) y se agregó lentamente con agitación constante hasta el vire de la solución incolora a rosa (Figura 2.9).



Figura 2.9 Retrotitulación para determinar carbonato de calcio

2.7 Análisis microbiológicos en masas y tortillas de maíz nixtamalizado

2.7.1 Microbiota de granos de maíz

Previamente se identificaron bacterias y hongos de campo y almacén para evaluar la calidad microbiológica del grano de maíz como materia prima. El método empleado para identificar el número especies de hongos presentes en el grano de maíz fue de placa agar que consistió en sembrar 50 granos en dos medios de cultivo papa dextrosa agar (PDA) y extracto de malta y levadura agar (MEA), ambos adicionados con tergitol (heptadecilsulfato de sodio) que actúa inhibiendo la flora secundaria indeseable y favorece una mayor recuperación de coliformes. Los granos se sembraron bajo condiciones de asepsia en una campana de flujo laminar (VECO ®) y se introdujeron a 25°C en una incubadora (Precision scientific Inc.) por siete días. Posteriormente se cuantificaron y aislaron los hongos para su identificación con claves especializadas.



Figura 2.10 Siembra de maíz por método de placa agar

2.7.2 Microbiota de masas de maíz nixtamalizado

Para las masas de maíz nixtamalizado los análisis microbiológicos se realizaron por el método de diluciones en serie, por medio de una prueba cualitativa se realiza una identificación de mohos y levaduras, mesófilos aerobios y coliformes totales. La metodología se realizó tomando como referencia la NOM-111-SSA1-1994.

Se pesaron 10g de masa y se colocaron en una licuadora previamente esterilizada, conteniendo 90 ml de agua peptonada al 2%, se licuó la muestra por 30 segundos y de esta dilución inicial 10^{-1} , se tomó 1 mL y se transfirió a un tubo de ensayo con 9 mL de agua peptonada para obtener una dilución de 10^{-2} , y así sucesivamente hasta obtener una dilución de 10^{-4} . De cada una de las diluciones se tomó 1 mL y se sembraron 15

granos de maíz distribuidos uniformemente, dentro de cajas de Petri con dos medios de cultivo: papa dextrosa agar (PDA) y extracto de malta agar (MEA) por duplicado. Las placas sembradas se incubaron por 72 h a 25°C en una incubadora (Precision scientific Inc.). Posteriormente por medio de una prueba cuantitativa se realizó un conteo del número de unidades formadoras de colonias (Figura 2.11).

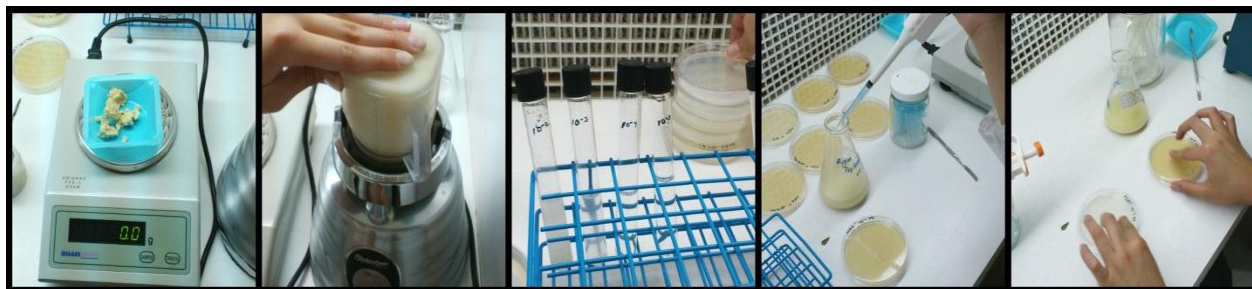


Figura 2.11 Método de diluciones

2.7.3 Microbiota de tortillas

Para realizar la microbiota en tortillas, se pesaron 10 g de tortilla nixtamalizada tomados al azar, a esta tortilla se le hicieron los análisis microbiológicos por el método de diluciones (Ver figura 2.12) la metodología es la misma que se utilizó para masas. Y por el método de placa agar (Figura 2.13) que consistió:

Se recortó una tortilla de aproximadamente 18 g en fragmentos de 4 X 4 mm, se tomaron al azar 10 fragmentos y se sembraron bajo condiciones de asepsia en una campana de flujo laminar (VECO ®) en dos medios de cultivo PDA y MEA por duplicado. Las placas sembradas se introdujeron por 72 h a 25°C en una incubadora (Precision scientific Inc.). Posteriormente se identificó morfológicamente considerando color, textura, tamaño y borde (Ver figura 2.14) para asegurar que las colonias fueran de la misma especie y así cuantificarlas y aislarlas para su identificación con claves especializadas.



Figura 2.12 Método de siembra por diluciones para tortillas



Figura 2.13 Método de siembra en placa para tortillas



Figura 2.14 Identificación y cuantificación de colonias

Método de diluciones

Para tortillas de maíz nixtamalizado los análisis microbiológicos también se realizaron por el método de diluciones en serie, identificando mohos y levaduras, mesófilos aerobios y coliformes totales. La metodología se realizó tomando como referencia la NOM-111-SSA1-1994.

Se pesaron 10g de tortilla tomadas al azar, y se colocaron en una licuadora previamente esterilizada, conteniendo 90 ml de agua peptonada al 2%, se licuó la muestra por 30 segundos y de esta dilución inicial 10^{-1} , se tomó un mililitro y se transfirió a un tubo de ensayo con 9 mL de agua peptonada para obtener una dilución de 10^{-2} , y así sucesivamente hasta obtener una dilución de 10^{-4} . De cada una de las diluciones se tomó 1 mL y se sembraron en cajas de Petri con dos medios de cultivo papa dextrosa agar (PDA) y extracto de malta levadura agar (MEA) por duplicado. (Ver figura 2.15) Las placas sembradas se incubaron por 72 h a 25°C en una incubadora (Precision scientific Inc.). Posteriormente se identificó morfológicamente considerando color, textura, tamaño y borde (Ver figura 2.14) que las colonias fueran de la misma especie y por medio de una prueba cuantitativa se realizó un conteo del número de unidades formadoras de colonias.

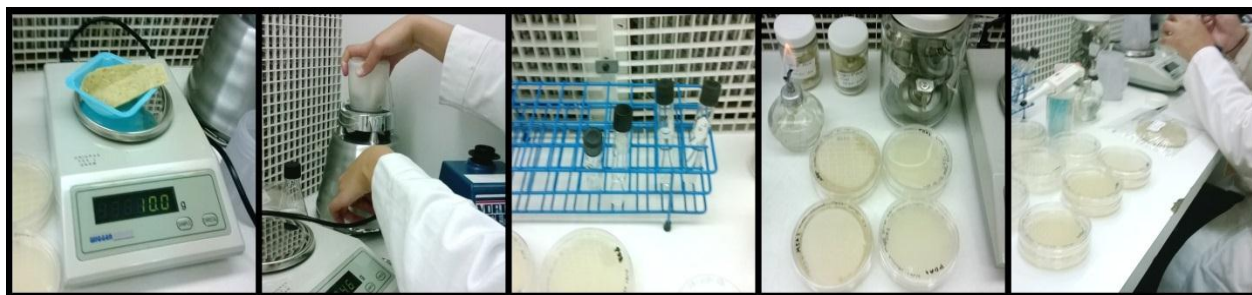


Figura 2.15 Método de siembra en dilución para tortillas

2.7.4 Determinación de Aflatoxinas

Para la determinación de aflatoxinas totales en las masas control y masas de maíz nixtamalizadas con nejayote y tortillas (50-50, 70-30, 30-70, nejayote/agua), se procedió de acuerdo al método de columnas de afinidad Aflatest-P con anticuerpos monoclonales aprobado por la AOAC, (Figura 2.16 y 2.17) con el fin de corroborar la presencia de estas micotoxinas en los procesos de nixtamalización con nejayote.

Las pruebas fueron preparadas a través de toma de muestras de masa y tortilla moliendo 50 g de muestra elegida al azar como lo indica la técnica Aflatest-P con 5 g de NaCl y 100mL de metanol 80-20, (Preparación de reactivo ver anexos 1.3) en una licuadora durante un minuto a alta velocidad. Previamente se acomodó un embudo sobre una probeta, y en él se colocó papel aflautado en forma de cono. Se vertió el contenido de la licuadora sobre el papel aflautado ubicado sobre el embudo, de modo que se filtrara la

muestra. Se tomaron 10 mL de la muestra filtrada y se vaciaron 40 mL de agua destilada en un matraz EM de 100 mL. Se colocó un embudo con papel filtro sobre cada columna. Se vaciaron 10mL de la muestra contenida en el matraz EM de 100mL usando una manguera de presión sobre cada columna para vaciar todo el contenido de las columnas sobre los frascos realizando dos lavados con agua destilada. Posteriormente se pasaron 10 mL del filtrado diluido a través de la columna de afinidad Aflatest-P con anticuerpos monoclonales a una velocidad de 1-2 gotas por segundo. A continuación se pasaron 20 mL de agua destilada repartida en dos fracciones iguales, a través de la columna a una velocidad de 2 gotas por segundo, con la finalidad de realizar lavados de la columna. Una vez terminado esto, debajo de las columnas se colocó un vial de vidrio y se agregó 1 mL de metanol grado HPLC y luego de obtener una fracción del extracto se le adicionó 1 mL del revelador Aflatest, (Preparación de reactivo ver anexos 1.4) y el vial se colocó en un agitador Vortex marca Scientific Industries Modelo Genie 2 por aproximadamente 5 segundos con la finalidad de homogenizar la mezcla.

Por último, se introdujo el vial en el fluorómetro VICAM serie 4, el cual fue calibrado previamente con un vial estándar utilizado para la lectura de concentración de aflatoxinas. El vial con el filtrado se mantuvo en el fluorómetro durante un minuto, después de transcurrido este tiempo se tomó la lectura de la concentración de aflatoxinas la cual se reportó en $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Candlish *et al.*, 1991).



Figura 2.16 Preparación de las muestras para aflatoxinas totales



Figura 2.17 Determinación de aflatoxinas totales

2.7.5 Determinación de Fumonisinias

Para la cuantificación de Fumonisinias totales se utilizó el método de columnas de afinidad Fumonitest® con anticuerpos monoclonales, se realizaron muestras en masas control, y masas de maíz nixtamalizadas con nejayote y tortillas (50-50, 70-30, 30-70, nejayote/agua). Con el fin de corroborar la presencia de estas micotoxinas en los procesos de nixtamalización con nejayote. El proceso de extracción de la muestra es el mismo usado en la detección de aflatoxinas por lo que no se describirá nuevamente.

Dilución del extracto:

Se tomaron 10 mL del filtrado y se mezcló con 40 mL de PBS/0.1% tween-20 Buffer de lavado en un matraz EM de 100mL, (Preparación de reactivos ver anexos 1.5). Se colocó un embudo con papel filtro sobre cada columna. Posteriormente se pasaron 10 mL del filtrado diluido a través de la columna de afinidad Fumonitest con anticuerpos monoclonales en una velocidad de 1-2 gotas por segundo,(Figura 2.18 y 2.19) Se realizaron 2 lavados con 10 mL de PBS 0.1% Tween-20, (buffer de lavado) y un tercer lavado con agua destilada. Se lavó dos veces con 10 mL de PBS 0.1% Tween-20, Buffer de lavado y se realizó un tercer lavado con agua destilada.

Una vez terminado esto, se eluyó en la columna de afinidad pasando 1 mL de metanol grado HPLC a través de la columna a una velocidad de 1-2 gotas por segundo, esta última fracción se colectó en un vial de vidrio, al cual se le agrego 1 mL de una mezcla de revelador A y B, (Preparación de reactivos ver anexos 1.6) el vial se colocó en un Vortex marca Scientific Industries Modelo Genie 2 por aproximadamente 5 segundos con la finalidad de homogenizar la mezcla. Finalmente el vial se introdujo en un fluorómetro durante 4 minutos, después de transcurrido este tiempo se tomó la lectura de la concentración de fumonisinias totales la cual se reportó en mg kg^{-1} .



Figura 2.18 Preparación de muestras para fumonisinas totales

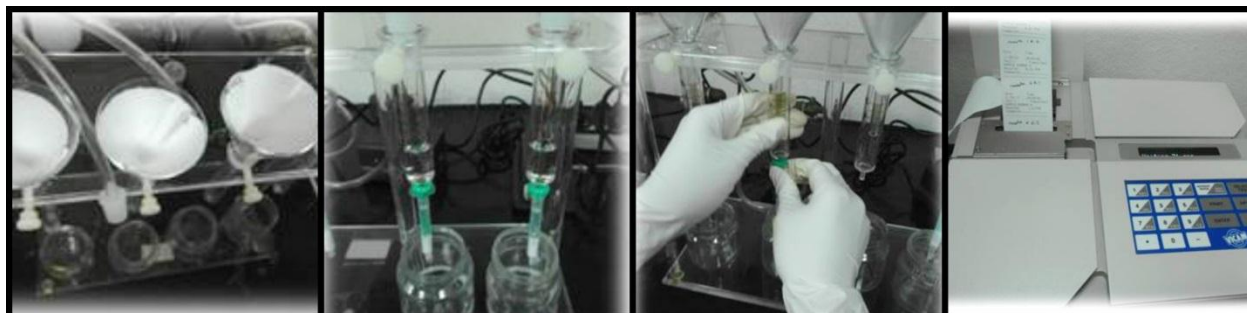


Figura 2.19 Determinación de fumonisinas totales

2.8 Análisis de perfil de textura

2.8.1 Análisis de perfil de textura en masas

2.8.1.1 Preparación de muestras de masas para TPA

Para las pruebas de perfil de textura en masas se utilizaron muestras cilíndricas preparadas como sigue: en un molde de PVC de forma cilíndrica con dimensiones internas de 40 mm de diámetro y 24 mm de altura se lubricó en su interior con aceite vegetal y este se colocó sobre una película de polietileno. Se pesaron 50 g de masa, con la que manualmente se formó un cilindro en el molde (Figura 2.20), presionando para evitar espacios de aire. El exceso de masa de la parte superior del molde se retiró con una espátula de acero inoxidable. Se sacó el cilindro de masa del molde y se colocó dentro de bolsas con cierre hermético. Donde se dejó reposar a temperatura ambiente durante 15 min para permitir que se relaje después de la manipulación (Figura 2.21).



Figura 2.20 Molde de PVC



Figura 2.21 TPA masas

2.8.1.2 Pruebas texturales en masas

El análisis de perfil de textura se realizó en un texturómetro LLOYD TA 500 con celda de carga de 50 kg utilizando como dispositivo una placa de acero inoxidable de 7cm de diámetro lubricada con aceite vegetal, con la finalidad de evitar el efecto de la adherencia de la muestra al dispositivo. Las muestras se sometieron a dos ciclos de compresión con una deformación relativa aparente de 25% y 50%, con relación a la altura original, con una velocidad del cabezal de 1mm s^{-1} (Figura 2.22).



Figura 2.22 Texturómetro para análisis de perfil de textura en masas

De la curva fuerza-tiempo (Figura 2.23). Se calcularon los parámetros que a continuación se definen:

Dureza: Se define como la fuerza necesaria para alcanzar una deformación dada y se calcula como la fuerza máxima en el primer ciclo de compresión.

Cohesividad: Se define como la resistencia de los enlaces internos que forman el cuerpo del producto. Se calcula como la relación entre el área positiva durante el segundo ciclo de compresión y el primero (A_4/A_1+A_2).

Elasticidad: Cantidad de recuperación de una fuerza deformante hasta que el material retorna a su condición no deformada. Se calcula como la altura que la muestra recupera entre el término del primer ciclo de compresión y el inicio del segundo.

Resiliencia: Se define como la capacidad de un cuerpo a almacenar energía elásticamente. Se calcula con la relación entre el área positiva de bajada del primer ciclo de compresión y el área de subida del mismo (A_2/A_1).

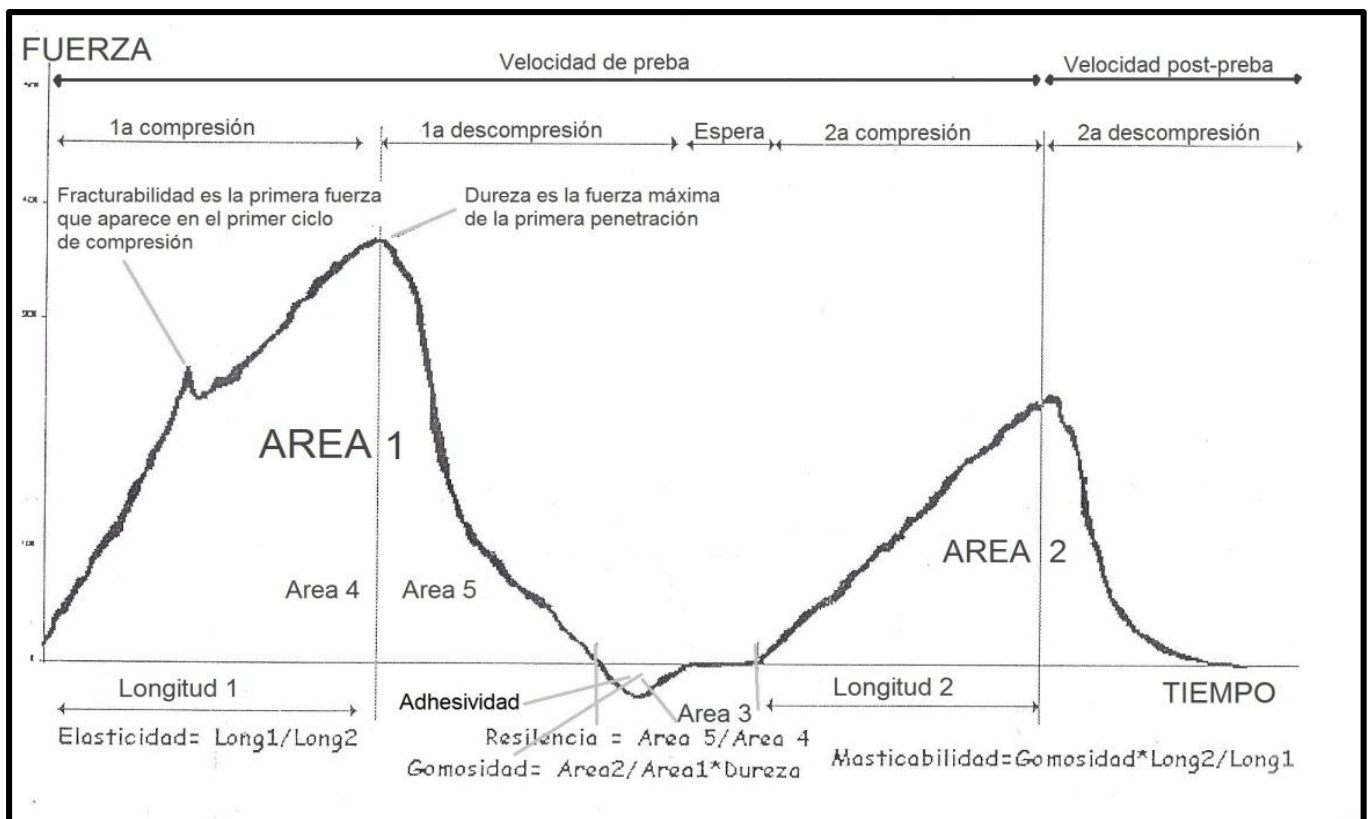


Figura 2.23 Curva Modelo de TPA (TEXTURE TECHNOLOGIES CORP)

2.9 Extensibilidad en tortillas

2.9.1 Preparación de tortillas

Se pesaron porciones de masa de 25 g las cuales fueron depositadas en una bolsa de polietileno con cierre hermético hasta el momento de su utilización. Cada porción se moldeó manualmente en forma esférica y se prensó entre dos películas de polietileno con una prensa manual para tortillas (Figura 2.24). Se dejó calentar un comal durante 1 minuto e inmediatamente después, la tortilla se sometió a cocción a una temperatura de 118 °C en 4 tiempos; 30 segundos de un lado, 30 segundos del otro, 20 segundos del primer lado y 20 segundos del segundo lado; uno de los indicadores del fin del proceso de cocción es la formación de la ampolla (Figura 2.25). Al retirar las tortillas del comal se introdujeron en un tortillero térmico durante 1 hora y posteriormente se dejaron enfriar dentro de una bolsa de plástico con cierre hermético a temperatura ambiente hasta que alcanzaron 25 °C. Las dimensiones de la tortilla conocida fueron 140 mm de diámetro y 1.73 mm de espesor (Figura 2.26).

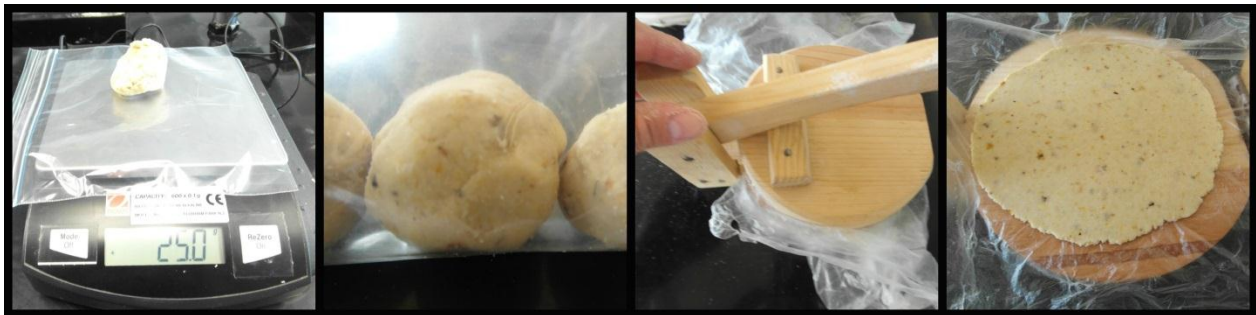


Figura 2.24 Moldeado de la tortilla para pruebas de extensibilidad



Figura 2.25 Cocción de la tortilla para pruebas de TPA



Figura 2.26 Atemperamiento de tortillas para pruebas de TPA

2.9.2 Análisis de extensibilidad en tortillas

El análisis de extensibilidad se realizó en un Texturómetro LLOYD TA 500 con celda de carga de 50 kg utilizando como dispositivo una esfera de acero inoxidable (Figura 2.27). La prueba de extensibilidad en dos dimensiones consistió en lo siguiente: se utilizó un dispositivo que consta de dos marcos de acero inoxidable de 9 cm de altura y 10 cm de lado. En la parte central tiene un orificio circular de 6 cm de diámetro y unos tornillos en las esquinas sobre los cuales se insertó la tortilla de manera que quedara tensa. Se colocó sobre ella un marco y se fijaron los tornillos para mantener la tortilla sin movimiento. De esta forma queda expuesta para la prueba la parte central de la tortilla fija y tensa. El texturómetro se operó en el modo de compresión y la esfera de acero inoxidable descendió hasta la ruptura de las tortillas (Figura 2.28), de esta manera se obtuvo una curva de fuerza y distancia en la que la tortilla se rompió y se reportaron como fuerza de extensibilidad y distancia de extensibilidad respectivamente.



Figura 2.27 Esfera de acero inoxidable

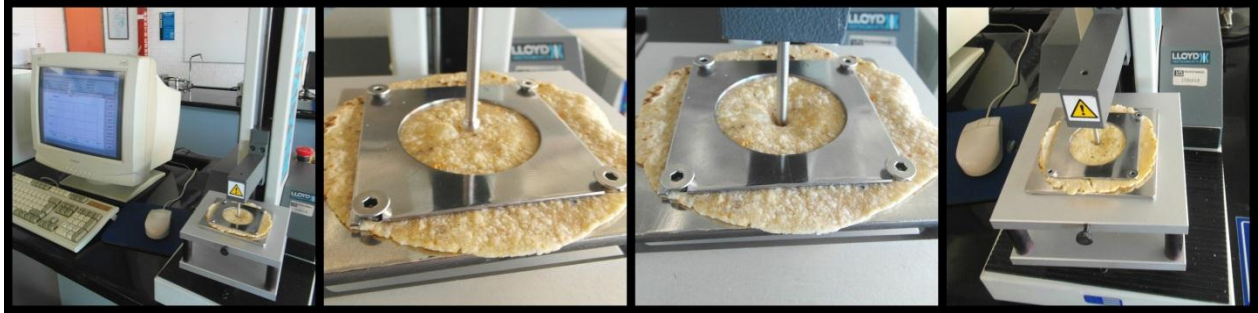


Figura 2.28 Prueba de textura para tortillas

2.10 Análisis reológico

Las propiedades de viscoelasticidad de las muestras de masa y tortillas fueron determinadas por el método dinámico en un equipo de pruebas oscilatorio, TA Reómetro, modelo RT 20 Haake (USA), equipado con controlador de temperatura y sistema de placas paralelas (Figura 2.29). El procedimiento consistió en colocar una muestra de masa entre las placas del reómetro, la geometría que se utilizó fue una placa rugosa de 35 mm de diámetro, con una separación de platos de 1 mm. Posteriormente los sobrantes de muestra se retiraron utilizando la espátula plástica y se procedió a cubrir con aceite mineral la parte expuesta al ambiente para evitar la pérdida de humedad (Figura 2.30).



Figura 2.29 RT 20 Haake

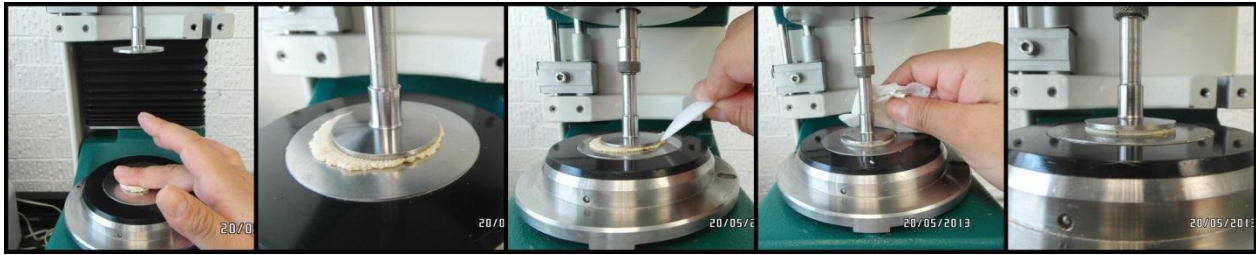


Figura 2.30 Reología de masas

Para definir la región de viscoelasticidad, donde el módulo elástico (G') y módulo viscoso (G'') es independiente del esfuerzo, se realizaron pruebas preliminares de las muestras en estudio en un rango de 10 hasta 100 Pa de esfuerzo a 1 Hz de frecuencia. Se observó en que valores de esfuerzo no hay cambios en los módulos elástico y viscoso y se seleccionó un valor de esfuerzo constante para todas las pruebas oscilatorias a una escala de frecuencia de 0.1 a 10 Hz. Las pruebas se realizaron por triplicado. Los parámetros obtenidos fueron: módulo de elasticidad, módulo de almacenamiento y tangente de pérdida elasticidad

El comportamiento viscoelástico de las muestras con primera y doble recirculación de nejayote, fueron ajustados a un modelo de la potencia cuando G' y G'' son función de la frecuencia entre 1 y 10 Hz (Ronda *et al.*, 2011).

$$y = a x^b \dots \text{Ecuación 2}$$

Dónde

$y = G'$ y G'' (Pa)

$x =$ Frecuencia (Hz)

2.11 Análisis estadístico

Se aplicó un diseño factorial de dos factores, teniendo como factores: número de recirculación (Primera y segunda) y formulación (Masa control, masa 50-50 nejayote/agua, masa 70-30 nejayote/agua y masa 30-70 nejayote/agua). Se obtuvo la media de tres repeticiones y los datos se analizaron estadísticamente por ANOVA multifactorial con un nivel de significancia de $p < 0.5$. El análisis de diferencias de medias se realizó por TUKEY. El paquete estadístico empleado para el análisis fue Minitab® Statistical software, version 15 (Minitab Inc., StateCollege PA, USA).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de la materia prima

La caracterización del maíz blanco tuvo como finalidad evaluar la calidad del maíz para la elaboración de las masas y tortillas de maíz nixtamalizado.

En la tabla 3.1 se muestran los valores promedio \pm error estándar de la humedad, peso hectolítrico y dureza del maíz blanco comparado con los parámetro de referencia de la NMX-FF-034/1-SCFI-2002.

Tabla 3.1 Caracterización de la materia prima (maíz blanco)

Características	Maíz blanco	Parámetro de Referencia NMX-FF-034/1-SCFI- 2002
Humedad (%)	12.20 \pm 0.103	14
Peso hectolítrico (kg/hL)	76 \pm 0	>74
Dureza: Índice flotación (%)	3 \pm 1.414	0-12 (Muy duro)

Se observa que los granos de maíz tuvieron una humedad promedio de 12.20% y se encuentra dentro del rango establecido por la norma mexicana NMX-FF-024/1-SCFI-2002 que indica una humedad máxima de 14% para la conservación y almacenamiento del maíz. La norma mexicana NMX-FF-024/1-SCFI-2002 considera que el grano deberá tener una densidad mínima de 74 kg/hL, y el maíz empleado tuvo en promedio un peso hectolítrico de 76kg/hL.

Respecto a la dureza, la cual fue evaluada por el índice de flotación y se obtuvo un valor de 3 que está dentro de la norma que va de 0-12% para considerarlo como un grano muy duro. Con los datos obtenidos, el maíz blanco fue el adecuado para llevar a cabo la nixtamalización.

La calidad de la materia prima es primordial, debido a que las características de las masas y tortillas de maíz nixtamalizado dependen de factores como la variedad del grano, el

manejo, y almacenamiento por lo que es importante conocer características como dureza, peso hectolítrico y humedad del grano de maíz (Salinas *et al.*, 1992). Si se desea la estandarización del proceso de nixtamalización y la obtención de productos de buena calidad, es conveniente manejar materias primas de calidad uniforme y adecuada. La norma mexicana NMX-FF-024/1-SCFI-2002 establece las características de calidad comercial que debe reunir el maíz blanco de consumo humano, para la elaboración de tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado.

3.2 Contenido de humedad de las masas nixtamalizadas

Los resultados que se obtuvieron de porcentaje de humedad en todas las masas oscilo entre 52.90 ± 2.93 . La humedad de la masa es un factor importante en la elaboración de la tortilla, de acuerdo con Arámbula *et al.*, (2001) en una masa de maíz de buena calidad para producir tortillas, la humedad debe oscilar entre 50 y 58%.

3.3 Determinación de carbonato de calcio en tortillas

En la figura 3.1. Se muestra los valores promedio de la concentración de CaCO_3 para las tortillas elaboradas a partir de nixtamalización con diferentes concentraciones de nejayote.

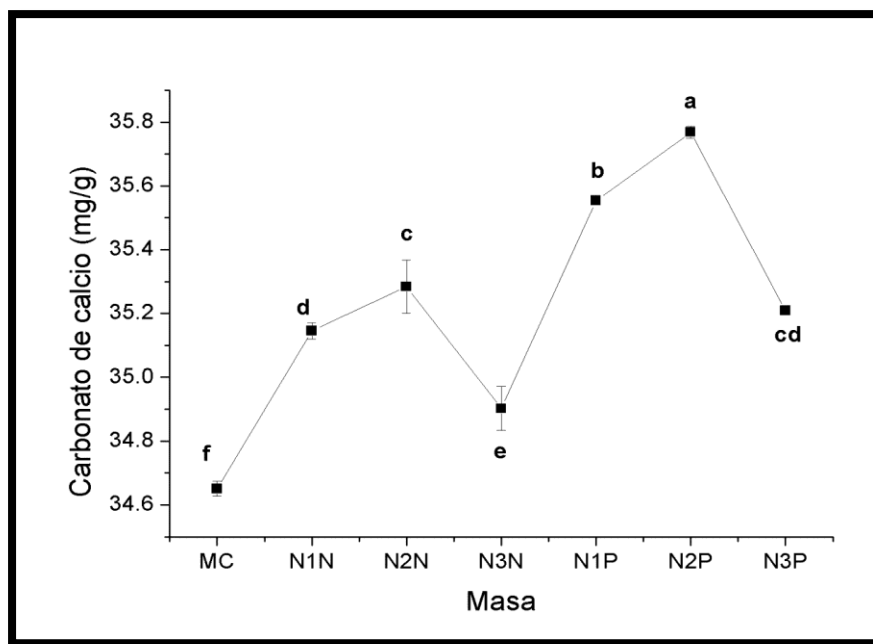


Figura 3.1 Determinación de carbonato de calcio en tortillas.

Los valores con la misma letra resultaron significativamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con un valor de $\alpha=0.05$, $n=3$ repeticiones.

Los resultados estadísticos para CaCO_3 en las diferentes muestras resultaron significativamente diferentes ($p < 0.05$). El análisis de medias mostró que no hay diferencia significativa entre la masa N3P y las masas N1N y N2N.

En la figura 3.1 se observa que el carbonato de calcio aumenta al adicionarle nejayote al proceso. Se incrementó el contenido de carbonato de calcio mientras se agregue mayor cantidad de nejayote y menor cantidad de agua. Por lo tanto, el contenido de carbonato de calcio de la dilución N2N es significativamente mayor que MC, N1N y N3N en la primera recirculación. Siendo en la segunda recirculación la dilución N2P significativamente mayor que MC, N1P y N3P en el contenido de carbonato de calcio.

En estos resultados se observa que es mayor el contenido de carbonato de calcio en las tortillas nixtamalizadas a partir de las diluciones con más concentración de nejayote que de agua.

Estos resultados se presentan en ambas recirculaciones debido a que el hidróxido de calcio es un compuesto que hidroliza gran parte del pericarpio (carbohidratos presentes como: celulosa, hemicelulosa y lignina) creando un vínculo entre el calcio y el endospermo. Estos carbohidratos al momento de elevar la temperatura crean un filtro donde los hidrógenos y el oxígeno quedan aislados, inyectando el fluido y nutriéndolo de calcio. Este proceso es resultado de las reacciones de hidrólisis de almidones y matrices proteínicas, que promueven cambios en la textura y calidad nutritiva del maíz.

La aplicación de calor y calcio en cereales como el maíz, da lugar a la gelatinización. Una vez que el grano se gelatiniza, aunque se adicione mayor cantidad de hidróxido de calcio, ya no es absorbido por el grano (Nava Gómez, 2011).

3.4 Análisis microbiológicos

3.4.1 Bacterias mesófilas y hongos

En la figura 3.2 se presentan las UFC de bacterias y hongos respecto a las diferentes masas en el medio de cultivo PDA.

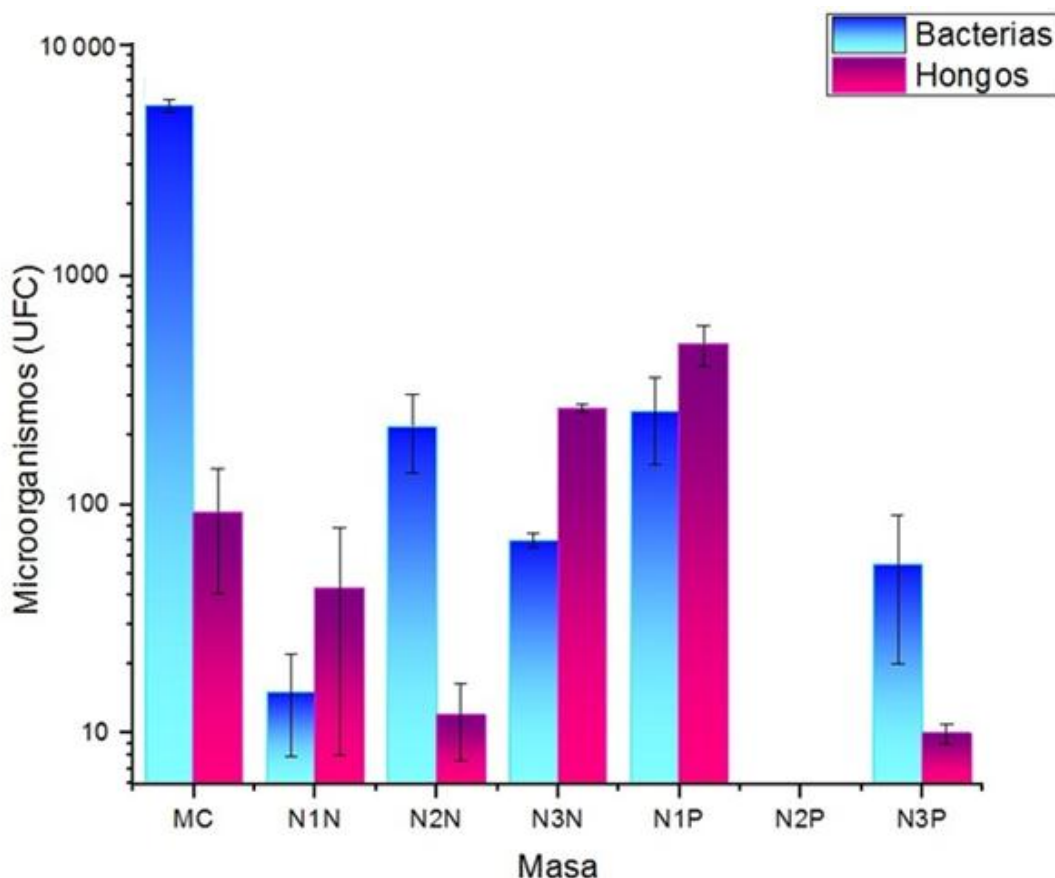


Figura 3.2 Valores medios del desarrollo de bacterias y hongos en diferentes masas de maíz sembradas en un medio de cultivo PDA

En la figura 3.2, se observa en N1N, N3N y N1P un mayor crecimiento de hongos en el medio de cultivo PDA en comparación con el crecimiento de bacterias. Debido a que el Papa Dextrosa Agar es un medio común de cultivo microbiológico que se prepara a partir de infusión de papa y dextrosa, es el medio más utilizado para el crecimiento de hongos y levaduras que atacan a las plantas vivas o materia vegetal en descomposición. Este medio es recomendado para realizar el recuento colonial.

La base del medio es altamente nutritiva y permite la esporulación y la producción de hongos. La infusión de papa promueve un crecimiento abundante de los hongos y levaduras y el agar es adicionado como agente solidificante (Echandi, 2011).

Como se observa en la figura 3.2. Para las UFC de bacterias mesófilas se evidencia una diferencia significativa entre la MC de los demás tratamientos, sin embargo entre la N2N y N1P no hay diferencia significativa, así como entre el tratamiento N3N y N3P.

En la figura 3.2 se presenta también la incidencia de hongos por UFC, observando diferencia significativa entre MC y N2N, N3N, N1P y N3P; por otra parte se encontró que el tratamiento N3N y N1P tiene mayor incidencia de hongos que el control.

Los resultados obtenidos se deben a que la masa para tortilla alberga una diversa cantidad de microorganismos que ocasionan una degradación del producto. Esta degradación comienza con la presencia de las bacterias, ya que empiezan a multiplicarse al momento de hidratar la masa, llevando a cabo sus procesos metabólicos para sus requerimientos fisiológicos, lo que hace que estos procesos fisiológicos se vean afectados por la disminución de la actividad acuosa en el tiempo de incubación, que resulta en una disminución en el número de bacterias presentes en la muestra (Jay, 2002).

Por otra parte, otros microorganismos que afectan la viabilidad de la masa son: los hongos y las levaduras. Esto es debido a que soportan bajas cantidades de A_w , lo que no pueden hacer las bacterias, ya que no se ven influenciados por la temperatura, continuando con su desarrollo y reproducción constantemente, provocando la degradación del producto. Ya que la masa contiene una numerosa cantidad de almidones, los hongos y levaduras los aprovechan como sustrato para poder llevar a cabo sus requerimientos metabólicos, ocasionando a la vez una degradación del producto (Jay, 2002).

La disminución de microorganismos se debe al cambio del proceso tradicional de nixtamalización, es decir, nixtamalizar con nejayote. Tomando en cuenta que al adicionar a dicho proceso nejayote incrementarían los iones de calcio, permitiendo tener un pH cercano al límite máximo de alcalinidad que es de 10 a 14, lo que inhibe el crecimiento

de los microorganismos, ya que el pH es un parámetro crítico en su crecimiento. Cada tipo de microorganismo tiene un rango de pH en el que puede vivir adecuadamente, fuera de este rango muere. El pH interno en la mayoría de los microorganismos está en el rango de 6,0 a 8,0 (Domínguez y Carrillo, 2003).

En la Figura 3.3 se observan los promedios del número de UFC de bacterias mesófilas y hongos desarrollados en un medio de cultivo MEA de masas elaboradas con diferentes concentraciones de nejayote.

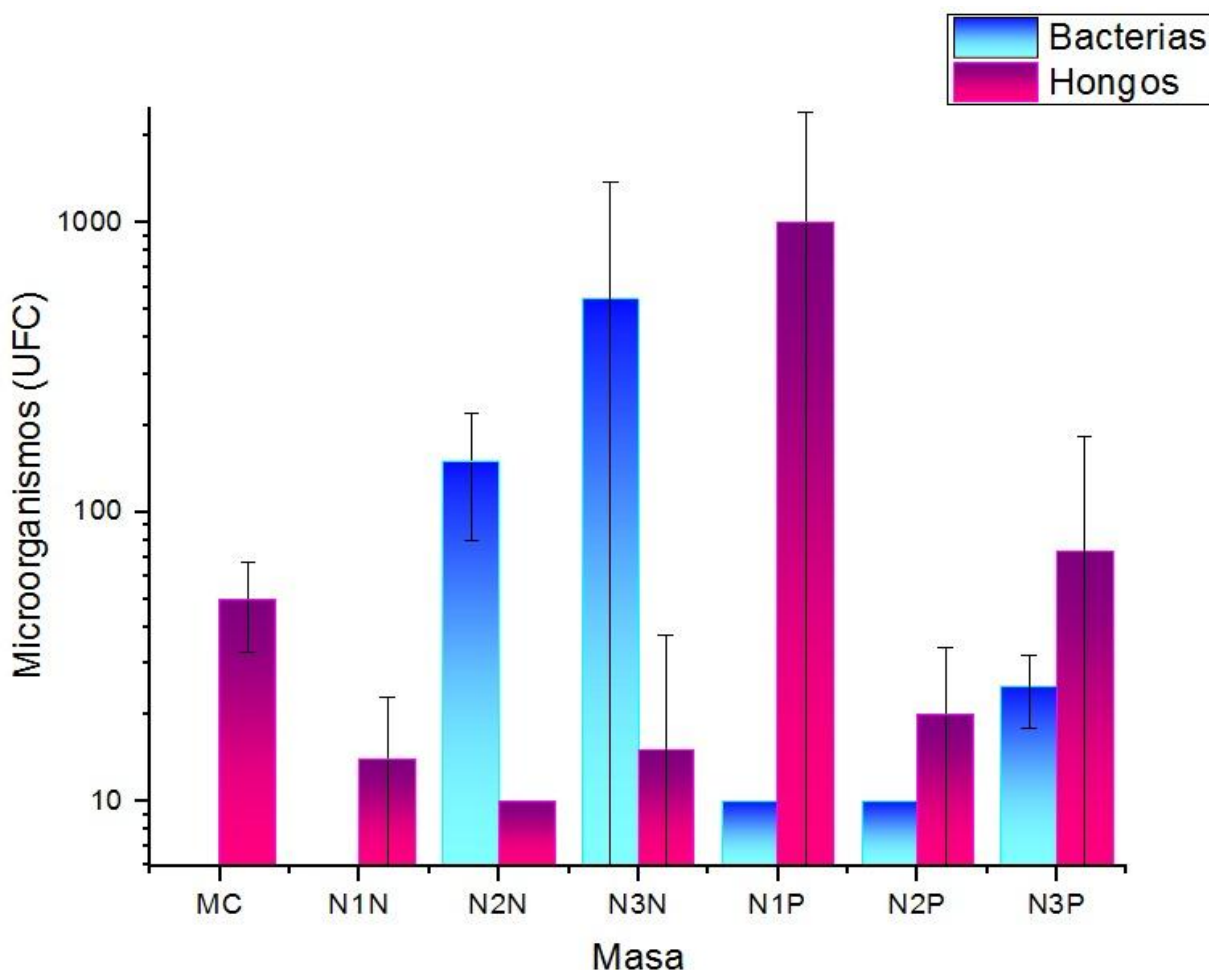


Figura 3.3 Valores medios de UFC de bacterias mesófilas y hongos en masa de maíz (MEA)

En la figura 3.3. se observa un mayor crecimiento de hongos en el medio de cultivo MEA en las masas nixtamalizadas a partir de una segunda recirculación (N1P, N2P y N3P) en comparación con el crecimiento de bacterias.

La masa para tortilla alberga una diversa cantidad de microorganismos que ocasionan una degradación del producto, ya que la masa contiene una numerosa cantidad de almidones, los hongos y levaduras los aprovechan como sustrato para poder llevar a cabo sus requerimientos metabólicos, ocasionando a la vez una degradación del producto (Jay, 2002).

La mayoría de las bacterias crecen en alimentos de pH neutro a alcalino. Por ello, cuando el alimento tiene un pH de 7 o mayor es muy susceptible a la contaminación bacteriana (Sistemas de Gestión de Calidad, 2012). Por ello en la MC y en N1N que contienen menor cantidad de hidróxido de calcio no hay crecimiento de bacterias.

En la figura 3.4. se muestran los valores medios de UFC de bacterias y hongos respecto a las diferentes tortillas en el medio de cultivo PDA.

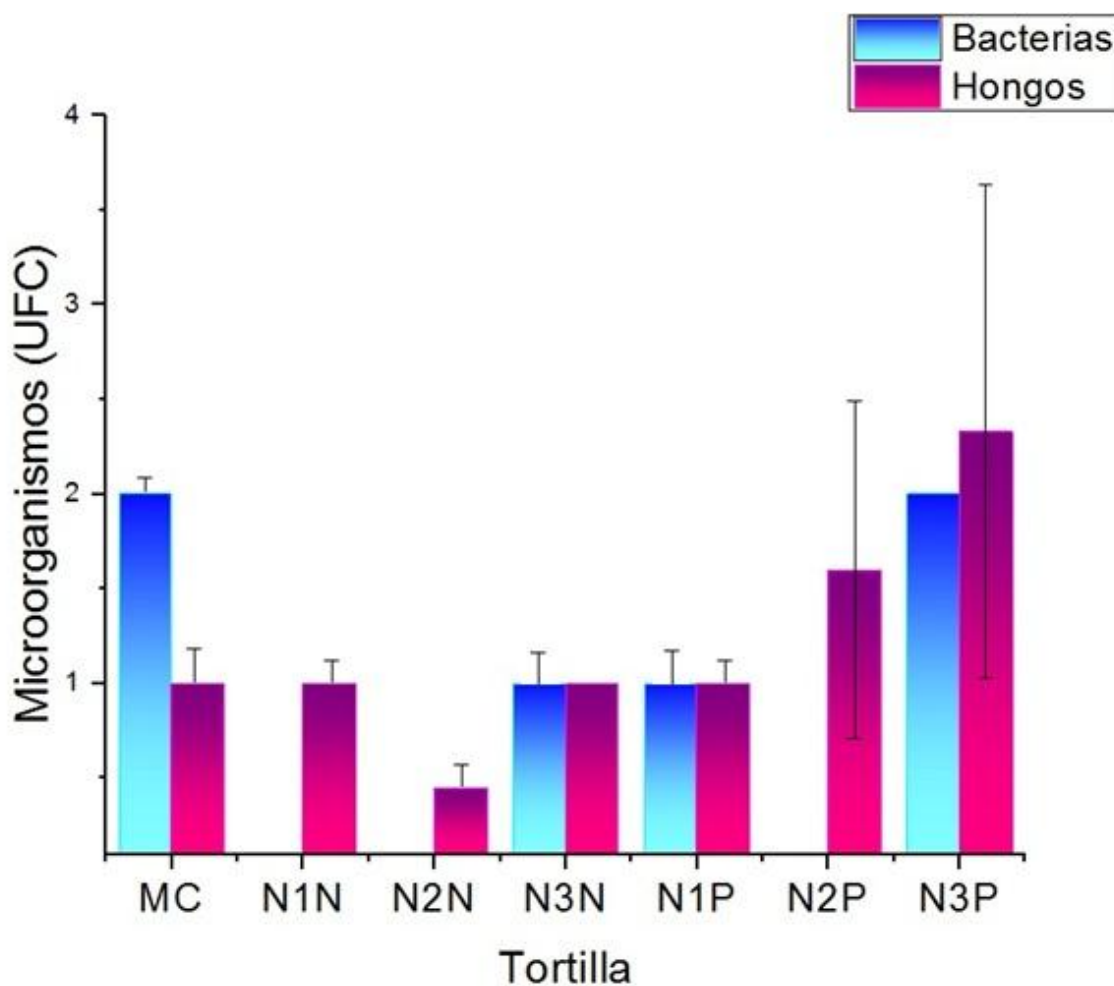


Figura 3.4 Valores medios de UFC en tortillas cultivadas en medio de cultivo PDA

En la figura 3.4. se observa que el crecimiento de hongos y bacterias en tortillas es menor que en las masas en un medio PDA, debido a que no sobrepasa el valor de 2.5 UFC, esta diferencia se debe a que las tortillas fueron sometidas a un tratamiento térmico, ya que las bacterias termófilas se eliminan al incrementar la temperatura a 118 °C. Para la dilución N1N, N2N y N2P no hay crecimiento de bacterias, debido al tratamiento térmico al que fueron sometidos y a las altas concentraciones de nejayote.

En la figura 3.5. se muestran valores medios de UFC de bacterias y hongos respecto a las diferentes tortillas en el medio de cultivo MEA.

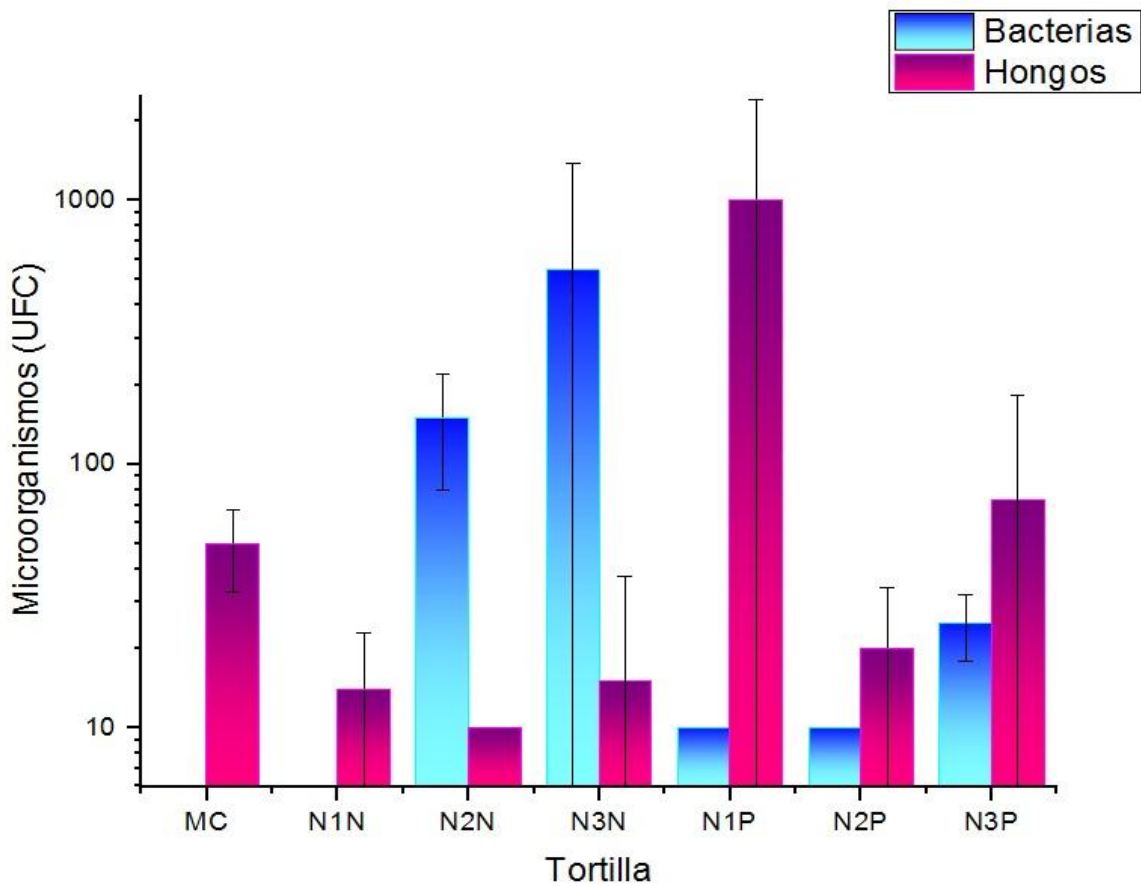


Figura 3.5 Valores medios de UFC en tortillas cultivadas en un medio de cultivo MEA

En la figura 3.5. en el medio de cultivo MEA no hay desarrollo de bacterias en MC y en N1N, sin embargo aumenta la cantidad de bacterias en N2N y en N3N (en la primera recirculación) debido a que las bacterias se desarrollan favorablemente en un medio con

pH neutro. Las diferentes concentraciones de calcio empleado para la primera y segunda recirculación son diferentes, acercándose a un pH más neutro en la primera recirculación generando la presencia de bacterias, tomando en cuenta que en la segunda recirculación existe una mayor adición de hidróxido de calcio se eleva el pH haciéndolo más básico, lo que permite la presencia de hongos; puesto que la acidificación celular conduce a la pérdida de nutrientes, los microorganismos no pueden generar más energía de mantenimiento, produciendo la muerte celular (Sistemas de Gestión de Calidad, 2012).

El riesgo toxicológico de los contaminantes biológicos tiene un significado especial para la salud pública y puede aparecer en cualquiera de las fases de la preparación de alimentos: materia prima, producto y, sobre todo, durante la manipulación y conservación del producto final. Es por eso que se debe controlar la calidad microbiológica de los alimentos y comprobar la eficacia de las buenas prácticas de manufactura. La presencia de microorganismos ha sido estudiada en alimentos cocinados. Sin embargo, su análisis en muestras crudas (masas de maíz nixtamalizado) es poco significativo ya que en el proceso de digestión los ácidos suelen inhibir su crecimiento. Por esta razón la contaminación puede ser por una mala manipulación de los alimentos siendo introducidas por contaminación después de calentar el alimento.

Por lo que es recomendable manipular lo menos posible los alimentos cocinados (Soriano, 2002).

La mayoría de los cultivos agrícolas son invadidos por diversos hongos durante su desarrollo en el campo, como en el almacén. Algunos de estos hongos producen sustancias tóxicas. La nixtamalización con nejayote disminuye estos microorganismos debido al aumento de la alcalinidad del medio (Soriano 2002).

3.4.2 Determinación de aflatoxinas

En la tabla 3.2 Se analizaron muestras representativas de maíz, masas y tortillas de maíz nixtamalizado para determinar presencia de aflatoxinas.

Tabla 3.2 Determinación de aflatoxinas en muestras de maíz y diferentes productos de la nixtamalización.

Muestra	Aflatoxinas µg/kg	%
Maíz sin nixtamalizar	17	100
Maíz nixtamalizado	14.5	85.29
MC	5	29.41
Masa N1N	1.5	8.82
Masa N2N	3	17.64
Masa N3N	1.2	7.05
Masa N1P	1.3	7.64
Masa N2P	2	11.76
Masa N3P	1	5.8
Tortilla Control	7.5	44.11
Tortilla N1N	2	11.76
Tortilla N2N	3.5	20.58
Tortilla N3N	2.5	14.70
Tortilla N1P	1.7	10
Tortilla N2P	2.3	13.52
Tortilla N3P	1.4	8.23
Nejayote	1.5	8.82

Según la NOM-187-SSA1/SCFI-2002 los límites máximos permitidos son de 12 (µg/kg) para masas y tortillas de maíz nixtamalizado por lo que en la tabla 3.2 se puede observar una disminución de la presencia de aflatoxinas en el maíz nixtamalizado que en el maíz sin nixtamalizar y se observa una disminución aun mayor al nixtamalizar con nejayote, ya que la nixtamalización (proceso alcalino a altas temperaturas) reduce significativamente la concentración de aflatoxinas. Gran parte de la cantidad de aflatoxinas se sintetizan cuando se acidifica el producto (Magan, 2004). Los anillos de lactona de la aflatoxina que se abren durante el tratamiento alcalino, en la nixtamalización, podrían cerrarse cuando la tortilla se acidifica en el estómago (Méndez, 2004).

3.4.3 Determinación de Fumonisin

En la tabla 3.3 se analizaron muestras representativas de maíz, masas y tortillas de maíz nixtamalizado para determinar presencia de fumonisin.

Tabla 3.3 Determinación de Fumonisin en muestras de maíz y diferentes productos de la nixtamalización.

Muestra	Fumonisin µg/kg	%
Maíz sin nixtamalizar	12	100
Maíz nixtamalizado	7.2	60
MC	8	66.66
Masa N1N	6.1	50.83
Masa N2N	6.7	55.83
Masa N3N	5.6	46.66
Masa N1P	5.9	49.16
Masa N2P	6.6	55
Masa N3P	5.1	42.5
Tortilla Control	4.3	35.83
Tortilla N1N	4.2	35
Tortilla N2N	4.5	37.5
Tortilla N3N	4.1	34.16
Tortilla N1P	3.8	31.66
Tortilla N2P	4.0	33.33
Tortilla N3P	3.5	29.16
Nejayote	1.0	8.33

Un producto químico que ayuda a descontaminar las micotoxinas producidas por *Fusarium* es el hidróxido de calcio (Cortez, 2005).

La Comisión Europea, ha establecido el nivel máximo de fumonisin de 10 µ/kg en alimentos a base de maíz para consumo humano directo y para los alimentos infantiles a base de maíz para lactantes y niños pequeños, cuyo nivel debe ser inferior a 2 µ/kg (Comisión Europea 2006, 2007), por lo que en la tabla 3.3 se puede observar una

disminución de la presencia de fumonisinas en el maíz nixtamalizado que en el maíz sin nixtamalizar, el cual sobrepasa los límites permitidos en alimentos elaborados a base de maíz, sin embargo, se observa una disminución aun mayor al nixtamalizar con nejayote y diferentes concentraciones de hidróxido de calcio.

Las fumonisinas son producidas por *Fusarium verticillioides* especie comúnmente patógena de mazorcas de maíz, generalmente en zonas secas y cálidas, se encuentran en todas las especies de maíz del mundo. Desde 1993 se encuentran catalogadas como posibles carcinógenos humanos. Existen 15 tipos de fumonisinas siendo la FB1 la más tóxica y representa aproximadamente 70% de las fumonisinas totales. Los métodos usados para el procesamiento del maíz también influyen en la concentración final de fumonisinas. La nixtamalización reduce la concentración de la FB1 en aproximadamente 90% y la cantidad restante permanece en su forma hidrolizada la cual la hace menos potente (Cortez, 2005).

El consumo de comida contaminada con *F. verticillioides* y fumonisinas ha sido vinculado epidemiológicamente a alta incidencia de cáncer y otros problemas de salud en algunas zonas del mundo donde el maíz es un alimento básico de la dieta (Magan 2004.)

En México sólo existe un estudio que evaluó el consumo de tortilla como fuente de exposición a fumonisinas en humanos (Gong, 2008) y se trata de un estudio transversal llevado a cabo con 75 mujeres en edad reproductiva (15-36 años), residentes en cuatro municipios del estado de Morelos donde el consumo de maíz fue clasificado como alto, medio o bajo con base al número y frecuencia de consumo de tortillas. Se determinó FB1 por medio de muestras de orinas mediante cromatografía de líquidos. La ingestión diaria promedio de fumonisinas estimada para esta población fue mucho menor a la ingestión máxima tolerable establecida por la OMS (0.4 vs. 2 µg/kg de peso corporal). No obstante, algunos sujetos tuvieron una ingestión estimada de FB1 de hasta 23µg/kg, lo cual es mayor a lo informado en Estados Unidos pero menos a la ingesta estimada para Sudáfrica.

A concentraciones superiores de 1 ppm de FB1, una mujer de 60 kg de peso que consume 120 g de tortilla o productos derivados de la masa de maíz nixtamalizado podría rebasar la ingestión diaria tolerable (Dvorak, 2008).

3.5 Análisis de textura en masas

En la tabla 3.5 se muestran los valores promedio y la desviación estándar de las propiedades texturales con 25% de deformación para cada una de las masas nixtamalizadas con diferentes diluciones de nejayote.

Tabla 3.3. Propiedades texturales de masa nixtamalizada con diferentes diluciones de nejayote bajo la prueba de análisis de textura al 25% de deformación.

Muestra	Dureza	Cohesividad	Resiliencia	Índice Elástico	
				Instantáneo	Total
MC	1.366 ^c ± 0.062	0.4682 ^a ± 0.0525	0.5525 ^a ± 0.1939	0.1421 ^c ± 0.1016	0.4159 ^d ± 0.0204
N1N	2.227 ^b ± 0.263	0.248 ^{bc} ± 0.005	0.196 ^c ± 0.022	0.208 ^a ± 0.01	0.301 ^{bc} ± 0.014
N2N	1.486 ^c ± 0.131	0.2357 ^{bc} ± 0.0244	0.2022 ^c ± 0.003	0.1789 ^{ab} ± 0.0164	0.3207 ^{bc} ± 0.0182
N3N	1.495 ^c ± 0.186	0.2764 ^{bc} ± 0.045	0.2682 ^b ± 0.1108	0.1615 ^{bc} ± 0.0488	0.3016 ^{bc} ± 0.0125
N1P	2.688 ^a ± 0.069	0.2118 ^c ± 0.014	0.2282 ^{bc} ± 0.0326	0.1582 ^{ab} ± 0.0083	0.2779 ^a ± 0.0167
N2P	2.597 ^a ± 0.149	0.274 ^b ± 0.054	0.294 ^{bc} ± 0.06	0.161 ^{ab} ± 0.031	0.421 ^b ± 0.225
N3P	2.618 ^a ± 0.133	0.2601 ^{bc} ± 0.0139	0.2415 ^{bc} ± 0.012	0.194 ^{ab} ± 0.0134	0.331 ^c ± 0.0163

Valores promedio ± desviación estándar. Los valores con el mismo superíndice para una misma columna resultaron significativamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con un valor de $\alpha=0.05$, $n=3$ repeticiones.

Como se puede observar en la tabla 3.5 los parámetros texturales de dureza de las masas nixtamalizadas a las diferentes diluciones de nejayote con respecto a la de la masa control no presentan diferencias significativas entre N2N y N3N respectivamente, sin

embargo, existe una diferencia significativa de estas dos muestras respecto a N1N en la primera recirculación. En la segunda recirculación no hay diferencias significativas entre las tres diluciones (N1P, N2P, N3P).

En los parámetros de cohesividad de ambas recirculaciones disminuyen respecto a la masa control. No existiendo diferencias significativas entre las tres diluciones (N1N, N2N, N3N) de la primera recirculación. Por el contrario en la segunda recirculación se puede observar que las tres diluciones (N1P, N2P, N3P) son significativamente diferentes.

De igual manera en el parámetro de resiliencia para ambas recirculaciones disminuye respecto a la masa control. En la primera recirculación no existe diferencia significativa entre las diluciones N1N y N2N, sin embargo, existe diferencia significativa de ambas con N3N. A diferencia de la primera recirculación, en la segunda recirculación no existen diferencias significativas entre las tres diluciones (N1P, N2P, N3P).

Dentro del parámetro de elasticidad instantánea se observa un aumento de las diluciones en ambas recirculaciones con respecto a la masa control. En la primera recirculación las tres diluciones (N1N, N2N, N3N) tienen diferencias significativas. No obstante, en la segunda recirculación no existen diferencias significativas entre las tres diluciones (N1P, N2P, N3P).

Por último en el parámetro de elasticidad total se puede observar una disminución en las diluciones de la primera y segunda recirculación con respecto a la masa control exceptuando la dilución N2P que al contrario de las demás diluciones aumenta. En la primera recirculación no existe diferencia significativa en las tres diluciones (N1N, N2N, N3N). Por otro lado en la segunda recirculación existe diferencia significativa entre las tres diluciones (N1P, N2P, N3P).

En la tabla 3.6 se muestran los valores promedio y la desviación estándar en las propiedades texturales con 50% de deformación para cada una de las masas nixtamalizadas con diferentes diluciones de nejayote.

Tabla 3.4. Propiedades texturales de masa nixtamalizada con diferentes diluciones de nejayote bajo la prueba de análisis de textura al 50% de deformación.

Muestra	Dureza (N)	Cohesividad	Resilencia	Índice Elástico	
				Instantáneo	Total
MC	1.921 ^b ±	0.1168 ^a ±	0.0892 ^{ab} ±	0.0532 ^{bc} ±	0.1649 ^{ab} ±
	0.265	0.0066	0.0088	0.007	0.0077
N1N	3.856 ^a ±	0.124 ^{ab} ±	0.0987 ^{ab} ±	0.0704 ^{ab} ±	0.1957 ^a ±
	0.435	0.0178	0.0245	0.0027	0.0123
N2N	2.323 ^b ±	0.1123 ^a ±	0.1116 ^a ±	0.0481 ^c ±	0.1801 ^a ±
	0.035	0.0038	0.0148	0.0089	0.02
N3N	2.406 ^b ±	0.1036 ^b ±	0.0851 ^b ±	0.0636 ^{ab} ±	0.1582 ^b ±
	0.213	81	0.0164	0.0112	0.0024
N1P	4.572 ^a ±	0.0929 ^{ab} ±	0.0951 ^{ab} ±	0.0614 ^a ±	0.1551 ^a ±
	0.209	0.02	.0056	0.0165	0.0363
N2P	4.378 ^a ±	0.1016 ^a ±	0.1351 ^{ab} ±	0.0555 ^a ±	0.161 ^a ±
	0.519	0.0178	0.0749	0.0317	0.035
N3P	3.963 ^a ±	0.097 ^b ±	0.098 ^{ab} ±	0.063 ^{abc} ±	0.202 ^b ±
	0.101	0.013	0.001	0.001	0.11

Valores promedio ± desviación estándar. Los valores con el mismo superíndice para una misma columna resultaron significativamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con un valor de $\alpha=0.05$, $n=3$ repeticiones.

Dentro de los parámetros texturales se puede observar un aumento en la dureza de las masas nixtamalizadas a las diferentes diluciones de nejayote con respecto a la de la masa control, en la primera recirculación no existen diferencias significativas entre N2N y N3N respectivamente; sin embargo, existe una diferencia significativa de estas dos diluciones respecto a N1N. En la segunda recirculación no hay diferencias significativas entre las tres diluciones (N1P, N2P, N3P).

Los resultados de cohesividad en ambas recirculaciones disminuyen respecto a la masa control, excepto la dilución N1N donde se observó un aumento. Dentro de la primera recirculación existen diferencias significativas en las tres diluciones (N1N, N2N, N3N).

De igual forma en la segunda recirculación se puede observar que las tres diluciones (N1P, N2P, N3P) son significativamente diferentes.

De igual manera en el parámetro de resiliencia para ambas recirculaciones aumenta respecto a la masa control, a excepción de la dilución N3N que disminuye. Como se puede observar existen diferencias significativas en las tres diluciones (N1N, N2N, N3N) de la primera recirculación. Por el contrario en la segunda recirculación no existen diferencias significativas entre las tres diluciones (N1P, N2P, N3P).

Para ambas recirculaciones el parámetro de elasticidad instantánea presenta un aumento de las diluciones con respecto a la masa control, excluyendo la dilución N2N que disminuye respectivamente. En la primera recirculación no existen diferencias significativas entre N1N y N3N. No obstante, en la segunda recirculación no existen diferencias significativas entre las diluciones N1P y N2P.

En el parámetro de elasticidad total se puede observar un aumento y disminución en ambas recirculaciones con respecto a la masa control. Como se puede observar no hay diferencias significativas en las diluciones N1N y N2N en la primera recirculación. De igual manera, no existe diferencia significativa en las diluciones N1P y N2P.

Es importante observar en las tablas 3.5 y 3.6 que independientemente del tipo de formulación que se tiene, los índices de recuperación elástico, resiliencia y cohesividad disminuyen al incrementarse el porcentaje de deformación, lo cual concuerda con lo reportado por Pons y Fiszman (1996). Esta información se puede visualizar en las gráficas siguientes.

En la figura 3.6 se muestra la comparación de dureza con 25% y 50% de deformación en masas de maíz nixtamalizadas con diferentes diluciones de nejayote en una y doble recirculación.

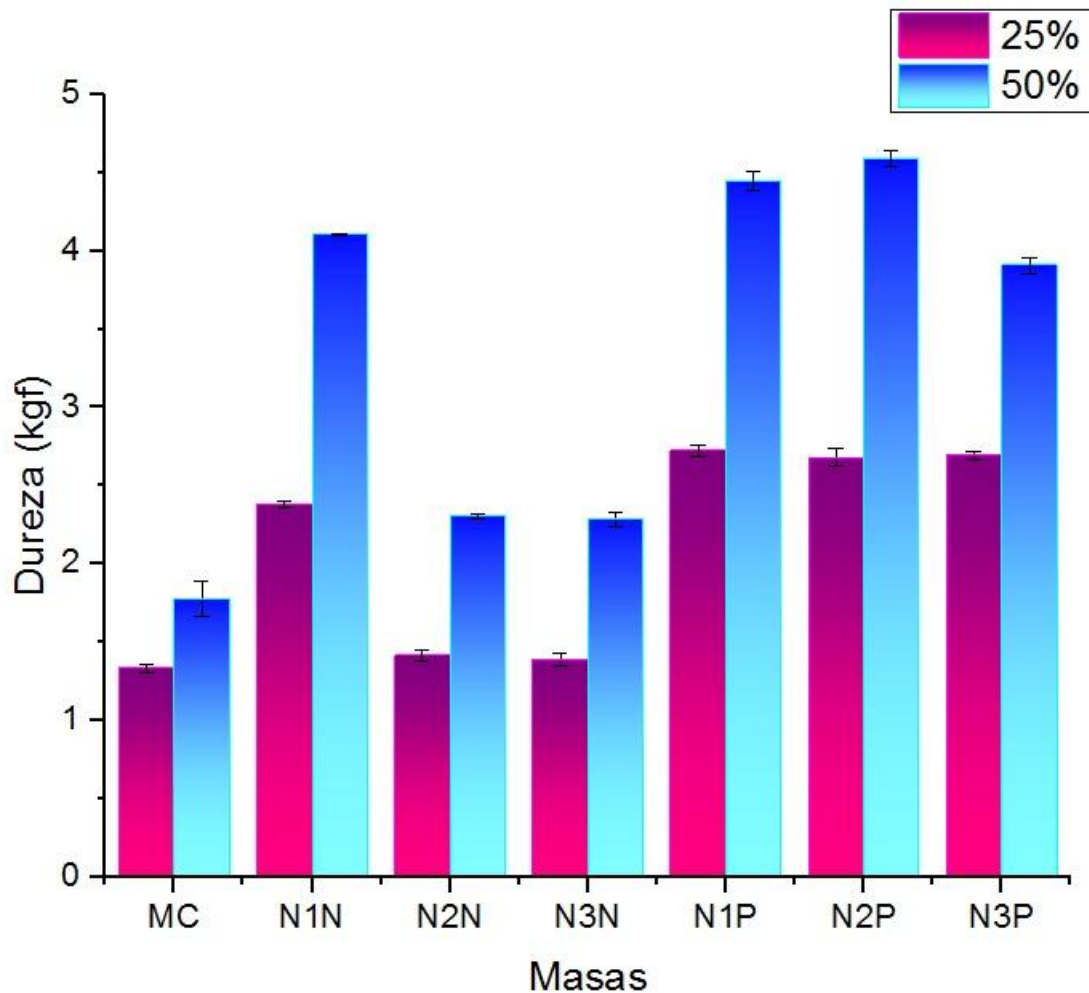


Figura 3.6 Análisis de Dureza en masas a diferentes diluciones.

En las propiedades de textura la dureza aumenta y la cohesividad y resiliencia disminuyen respecto a la masa control. El grano empleado en esta investigación es un grano clasificado como muy duro (tabla 3.1), por lo que la dureza del grano está relacionada con la capacidad de absorción de agua. En los granos con endospermo duro, los gránulos de almidón se agrupan en una red proteínica que restringe la absorción de agua, mientras que en los granos con endospermo suave, tienen una mayor capacidad de absorción de agua (Mauricio *et al*,2004). De ahí que al tener una mayor cantidad de sólidos presentes en el agua que se nixtamaliza (nejayote) podría originar un aumento en la rigidez del sólido formado, al ser parte de la matriz viscoelástica que impide la absorción de agua o bien compitiendo por el agua con el almidón.

En la figura 3.7 se muestra la comparación de cohesividad con 25% y 50% de deformación en masas de maíz nixtamalizadas con diferentes diluciones de nejayote en una y doble recirculación.

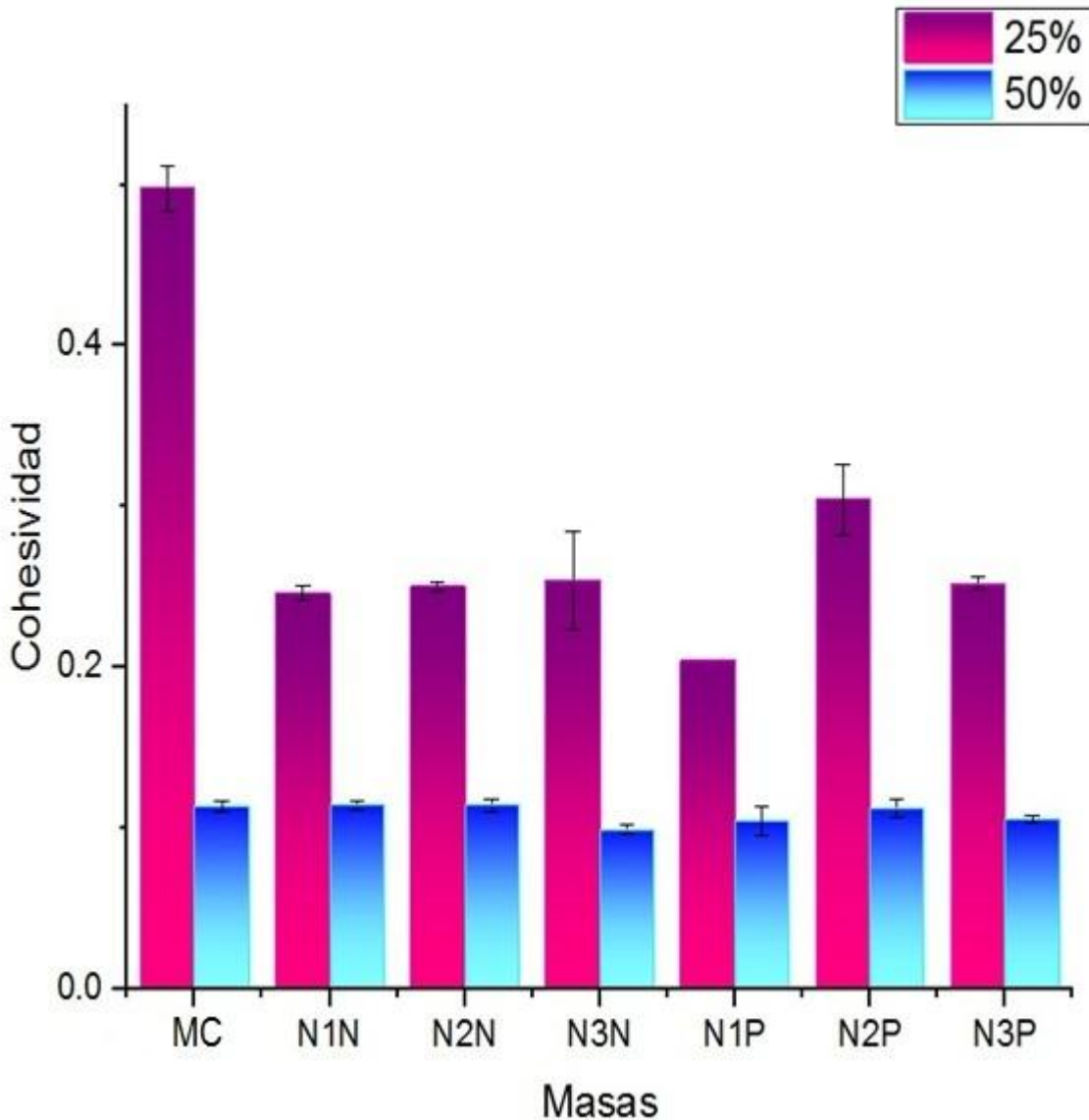


Figura 3.7 Análisis de Cohesividad en masas a diferentes diluciones.

En la masa de maíz nixtamalizado se requiere cierta fuerza de cohesividad para que la masa se pueda moldear, ya que sin ella carecería de la consistencia necesaria; una masa demasiado cohesiva, no permite que se pueda formar la tortilla de forma adecuada (Antuna *et al*, 2008).

En la figura 3.7 se observa que la cohesividad de las masas disminuye cuando se nixtamalizan con nejayote; sin embargo Gasca-Mancera y Casas- Alencaster (2007) estudiaron la adición de harina de maíz nixtamalizado a masa fresca de maíz nixtamalizado y a 25% de deformación obtuvieron valores de cohesividad de 0.203-0.266. Los datos de cohesividad reportados en la tabla 3.4 a 25% de deformación, indican que la cohesividad en masas nixtamalizadas con nejayote en primera y segunda recirculación es de 0.2118-0.2764, por lo que la cohesividad de las masas nixtamalizadas con nejayote podría ser adecuada.

En la figura 3.8 se muestra la comparación de elasticidad instantánea y total con 25% y 50% de deformación en masas de maíz nixtamalizadas con diferentes diluciones de nejayote en una y doble recirculación.

La calidad de la tortilla es influenciada por las características del grano y por las condiciones de su elaboración (Salinas Moreno *et al.* 2011). Para producir tortillas de calidad se requiere de un grano que produzca masa con alta humedad, buena cohesividad y elasticidad (Arámbula Villa *et al.*, 2004). Como se observa en la figura 3.8a, hay un aumento en la elasticidad instantánea a 25 y 50% de la MC con respecto a las demás masas; sin embargo, en la elasticidad total (figura 3.8 b) se observa una disminución de la elasticidad total en 25% de deformación de las masas nixtamalizadas con nejayote respecto a la MC.

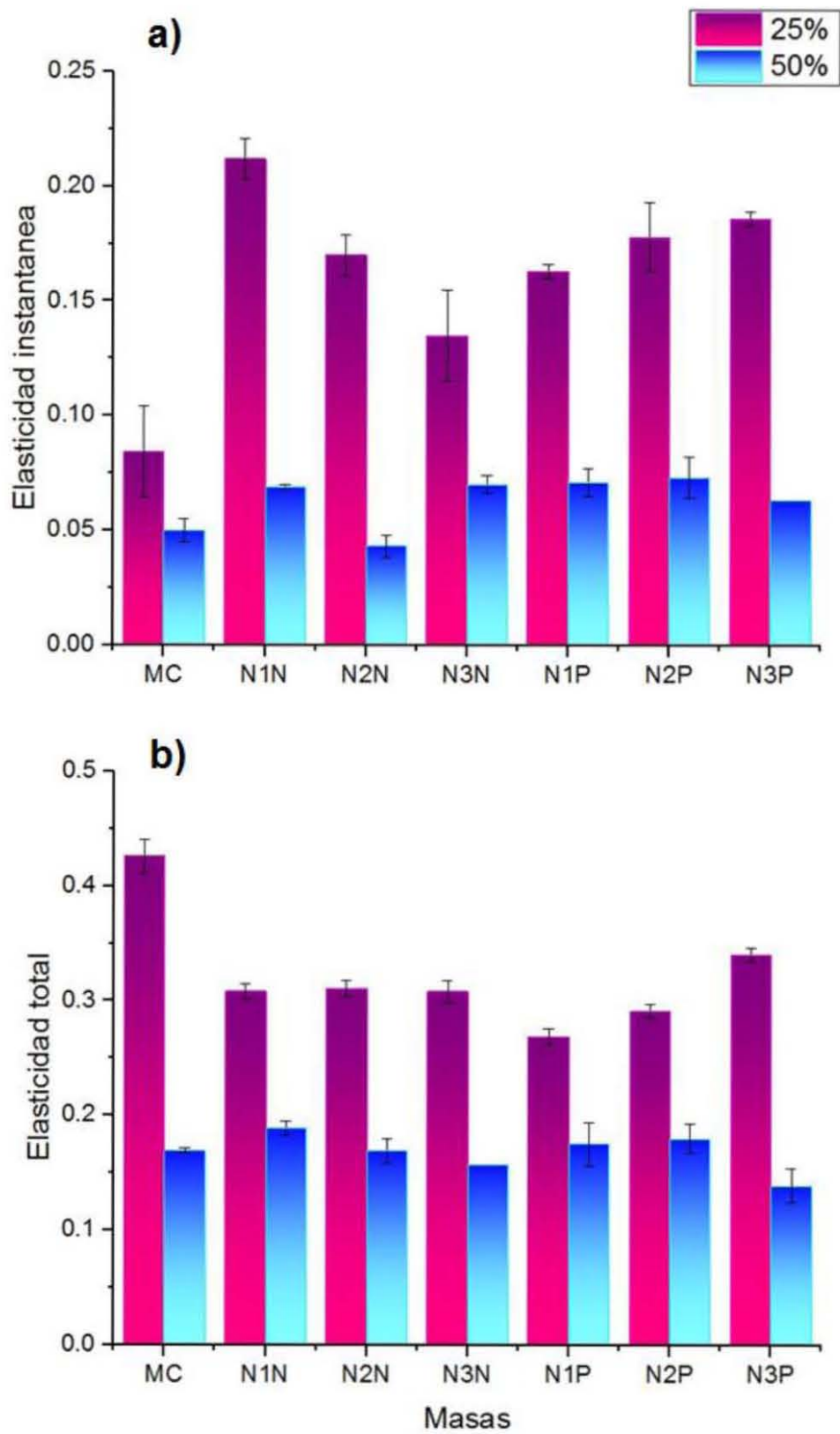


Figura 3.8 Análisis de elasticidad en masas a diferentes diluciones.
 a) Instantánea b) total

En la figura 3.9 se muestra la comparación de resiliencia con 25% y 50% de deformación en masas de maíz nixtamalizadas con diferentes diluciones de nejayote en una y doble recirculación.

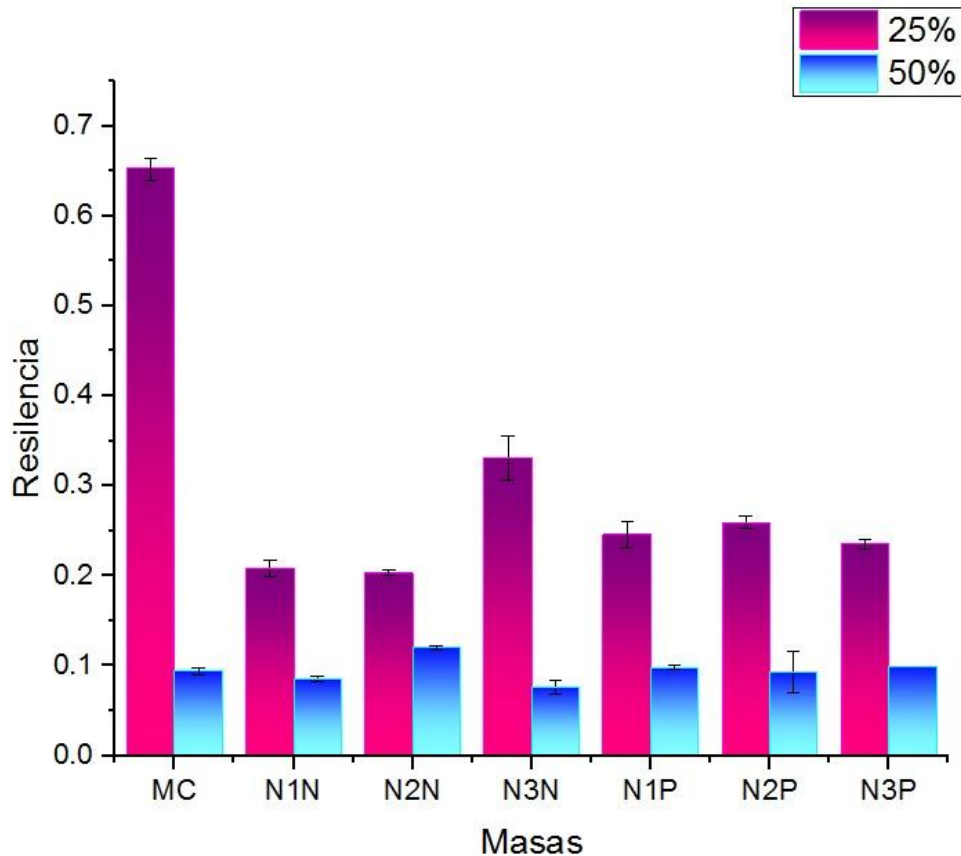


Figura 3.9 Análisis de resiliencia en masas a diferentes diluciones

La resiliencia es un parámetro textural que informa sobre la capacidad de energía que el cuerpo almacena para que el producto regrese a su posición original. En la figura 3.9 se observa que a 25% de deformación de las masas la resiliencia disminuye significativamente en las masas nixtamalizadas con nejayote respecto a la MC. Sin embargo a 50% de deformación no hay cambios significativos. Este efecto de la disminución de resiliencia puede originarse por la presencia de las fibras presentes en el nejayote, que causan una reducción significativa en la capacidad de recuperación de las masas después de que se aplica una fuerza. Resultados similares obtuvieron Collar y Bollain (2005), quienes trabajaron los efectos en propiedades texturales de materiales con fibras.

3.6 Análisis de extensibilidad

En la figura 3.10 se muestra la comparación de extensibilidad en tortillas de maíz nixtamalizado con diferentes diluciones de nejayote en una y doble recirculación.

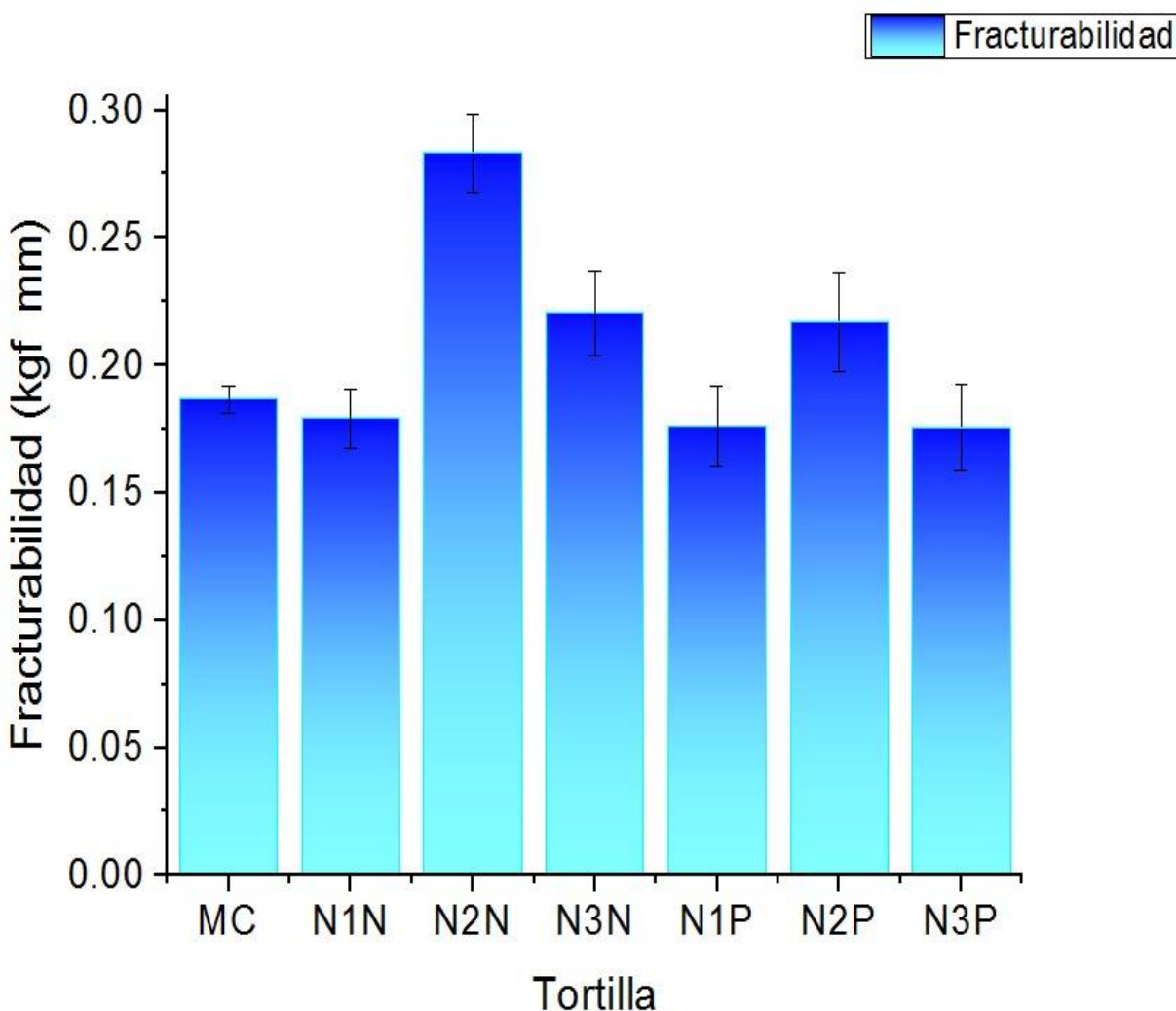


Figura 3.9 Análisis de extensibilidad en tortillas a diferentes diluciones.

Se evaluó la extensibilidad de la tortilla y la fuerza de tensión necesaria para fracturarla. Las tortillas elaboradas con mayor porcentaje de nejayote (N2N y N2P) tienen un mayor promedio de fracturabilidad siendo N1N, N1P y N3P las más parecidas a la masa control.

3.7 Análisis del perfil reológico

Los resultados preliminares indicaron que a 45 Pa de esfuerzo se tiene un comportamiento lineal constante en los módulos G' y G'' , por lo que los barridos de frecuencia para todas las masas se realizaron a este esfuerzo máximo.

En la figura 3.11 se muestra la gráfica de G' y G'' , en función de la frecuencia.

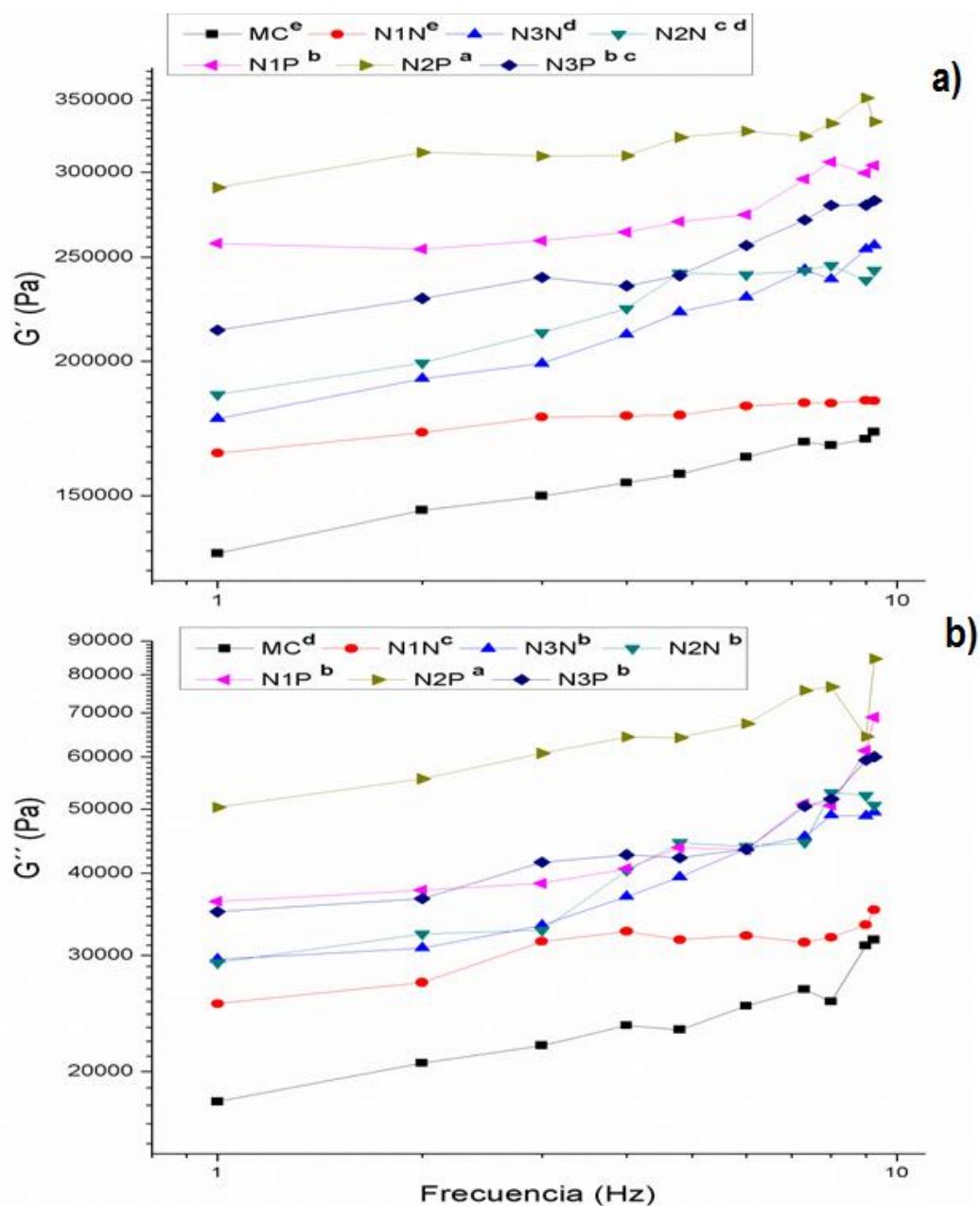


Figura 3.11 Perfil reológico de G' y G'' en función de la frecuencia

Los valores con el mismo superíndice resultaron significativamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con un valor de $\alpha=0.05$, $n=3$ repeticiones.

En la figura 3.11 se observa que $G' > G''$ para todas las muestras lo cual indica que el carácter elástico predomina en las masas. Los datos estadísticos indicaron diferencia significativa ($p < 0.05$) para G' y G'' al modificar el tipo de dilución de nejayote y las condiciones de recirculación. El análisis de medias indica que en G' , no hay diferencia significativa entre MC y N1N, sin embargo existe diferencia significativa entre MC y N2N, N1P, N2P y N3P. Respecto a G'' , el análisis de medias mostró diferencia significativa entre MC y N1N, N2N, N3N, N1P, N2P y N3P, no siendo así entre N2N, N3N, N1P y N3P porque entre estas masas no hay diferencia significativa.

Así mismo en esta figura se observa que los valores de G' y G'' para $N2P > N1P > N3P > N2N > N3N > N1N > MC$, lo cual nos indica que los valores más altos de módulos G' y G'' es para N2P, que corresponde a la formulación de segunda recirculación con 70% de nejayote y 30% de agua. Es claro que al nixtamalizar con nejayote en mayor porcentaje y en doble recirculación da a la masa una mayor rigidez y por consiguiente aumento en G' .

Niño-Medina *et al.* (2009), recuperaron arabinosilanos de nejayote, que son polisacáridos con propiedades gelificantes, los que al interactuar con la amilosa podrían haber formado una red con más compuestos aglomerados ocasionando una menor movilidad molecular que se manifiesta en una mayor rigidez. Un comportamiento similar fue obtenido por Aguirre-Cruz *et al.* (2005), cuando adicionaron 0.2% de goma CMC y Xhantana a masas secas nixtamalizadas. Otro hecho importante que pudiera manifestarse en el aumento de G' y G'' puede originarse por las posibles interacciones que ocurren entre el almidón y componentes del nejayote, tal como proteínas, lípidos, carbonato de calcio y gomas, que pueden originar mayor rigidez en las masas.

El aumento de los módulos viscoelásticos también podría deberse a la competencia en la absorción de agua entre los arabinosilanos y los componentes del grano de maíz almidón y proteína, principalmente. Bonnand - Duscasse *et al.* (2010), también sugieren que el aumento en G' y G'' es porque la fibra puede ser sólo un relleno de la matriz viscoelástica.

Quintanar *et al.* (2009), mencionan que la $\tan \delta$, podría ser un indicativo de los cambios que ocurren en las masas. Los valores de $\tan \delta$ de las masas obtenidas en N2P oscilan entre 0.19-0.25, mientras que en la MC van de 0.13-0.18. Ferry (1980), determinó que valores de $\tan \delta$, entre 0.1-0.3 son clasificados como geles débiles entre los cuales se encuentra la masa nixtamalizada, la cual tiene una estructura de un polímero amorfo.

En la tabla 3.7 se muestran los parámetros de los modelos de la potencia para G' y G'' de la primera y segunda recirculación durante la nixtamalización con nejayote.

Tabla 3.7 Parámetros de los modelos de la potencia para G' y G'' de masas nixtamalizadas en primera y segunda recirculación con nejayote

Muestra	Parámetros de G'			Parámetros de G''		
	a (Pa)	b	R ²	a (Pa)	b	R ²
MC	132870	0.1128	0.9906	17367	0.2259	0.8839
N1N	165873	0.0487	0.9653	25981	0.2040	0.8925
N2N	186644	0.1288	0.9220	27287	0.2797	0.9094
N3N	171352	0.1707	0.9695	26972	0.2615	0.9314
N1P	243373	0.0880	0.7422	31795	0.2490	0.7097
N2P	291016	0.0660	0.8360	49402	0.1998	0.8360
N3P	207863	0.1269	0.8969	32093	0.2335	0.8291

En la tabla 3.7 se observa que los parámetros “a” de G' y G'' más altos lo presentan las masas nixtamalizadas con nejayote en la segunda recirculación (N1P N2P y N3P). Este hecho puede ser debido a que el agua de nejayote que se emplea en la doble recirculación ya ha sido utilizada para nixtamalizar en una reutilización, la cual contiene mayor concentración de sólidos que impiden disponibilidad de agua para hidratar los gránulos de almidón. Estos resultados hacen suponer que los sólidos que contiene el nejayote, que en su mayoría son fibra, minerales y carbohidratos (Valderrama-Bravo *et al.*, 2012) sólo dan rigidez a la estructura formada en el gel.

El exponente “b” indica la dependencia que hay entre G' y G'' con la frecuencia y en la tabla 3.7 se observa que, en G' son bajos los valores, por lo que no hay dependencia con

la frecuencia. Esto indica la estabilidad de las estructuras de los geles para todas las masas nixtamalizadas. Respecto a G'' , el parámetro “b” aumenta, lo que indica mayor dependencia de este módulo con la frecuencia, porque las masas están conformadas por una estructura sólida-elástica y no viscosa. Similares resultados encontraron Lu *et al.* (2007) y Abebe y Ronda (2014), quienes trabajaron con geles de harinas de diferentes granos.

En la tabla 3.8 se muestra los porcentajes de variación relativa de G' y G'' respecto a la masa control.

Tabla 3.8. Variación relativa de G' y G'' de masas nixtamalizadas en primera y segunda recirculación con MC

Muestra	Variación de G' (%)	Variación de G'' (%)
N1N	19.88	33.15
N2N	28.81	36.35
N3N	22.45	35.61
N1P	45.40	45.37
N2P	54.34	64.84
N3P	36.07	45.89

En la tabla 3.8, se observa que el mayor porcentaje de variación en los módulos G' y G'' se da en N2P (70-30 nejayote/agua), que como ya se había mencionado es la formulación de masa que tiene más porcentaje de nejayote y es recirculado dos veces. Así mismo se observa que existe menos variación en los módulos G' y G'' de N1N (50-50 nejayote/agua) respecto a N3N (30-70 nejayote/agua). Los resultados obtenidos hacen suponer que el porcentaje de nejayote empleado para nixtamalizar es un punto crítico en los parámetros reológicos, ya que se podría pensar que nixtamalizar con nejayote N3 que tiene menor porcentaje de nejayote es lo recomendable, pero los análisis realizados indican que los parámetros reológicos con menor variación respecto a la MC es el N1.

4. CONCLUSIONES

La tortilla es uno de los principales alimentos consumidos diariamente en la dieta mexicana, elaborada a partir de un proceso de nixtamalización, el cual proporciona un aporte de calcio al consumir sus productos. Sin embargo, este proceso genera grandes cantidades de desecho orgánico conocido como nejayote.

Nixtamalizar con nejayote permite el desarrollo de algunas propiedades reológicas, texturales y organolépticas en los productos finales, además de incrementar su aporte de calcio, esto es lo que la hace diferente de una nixtamalización elaborada de forma tradicional.

Las tortillas nixtamalizadas a partir de diluciones con la misma cantidad de nejayote y agua lograron un producto con mayor contenido de carbonato de calcio (50 % nejayote-50% agua). La presencia de hidróxido de calcio ayudó a disminuir el crecimiento de microorganismos que ocasionan la degradación del producto, permitiendo desarrollar una tortilla con mayor vida de anaquel y menor riesgo de contaminación con aflatoxinas y fumonisinas.

En los parámetros de textura al nixtamalizar con nejayote respecto a la masa control, la dureza aumenta y la cohesividad y resiliencia disminuyen. Por lo que al modificar este proceso se generan tortillas menos resistentes a la fracturabilidad debido al aumento de dureza, sin embargo la disminución de cohesividad permite una formación adecuada de la tortilla obteniendo así un producto de calidad y apto para el consumo humano.

Nixtamalizar con nejayote en mayor porcentaje y en doble recirculación permite obtener una masa con mayor rigidez y por consiguiente aumento en G' .

Para todas las muestras, G' es mayor que G'' , lo cual indica que el carácter elástico predomina en las masas.

Consumir tortillas con altos valores de CaCO_3 puede sustituir el aporte de calcio contenido en otros alimentos, además, modificar el proceso de nixtamalización adicionando nejayote ahorra una cantidad considerable de agua. Por lo que se obtiene una gran cantidad de beneficios en un sólo producto.

ANEXO 1. PREPARACIÓN DE REACTIVOS

- Preparación de reactivos para determinación de carbonatos de calcio

$$1.1 \text{ HCl } 1N \left(\frac{1 \text{ eq HCl}}{1L 1NHCl} \right) \left(\frac{1 \text{ mol HCl}}{1 \text{ eq}} \right) \left(\frac{36.47 \text{ g HCl}}{1 \text{ mol}} \right) \left(\frac{100 \text{ g RLRA}}{38 \text{ HClRA}} \right) \left(\frac{1 \text{ mlRA}}{1.19 \text{ mlRA}} \right) = \underline{\underline{80.65 \text{ ml HCl}}}$$

Por lo tanto:

$$\begin{array}{l} 1000 \text{ ml} \longrightarrow 80.65 \text{ ml HCl} \\ 200 \text{ ml} \longrightarrow 16.13 \text{ ml HCl} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1000 \text{ ml} \\ 200 \text{ ml} \end{array}} \right\} 1N$$

$$1.2 \text{ NaOH } 1N \left(\frac{1 \text{ eq NaOH}}{1L 1N NaOH} \right) \left(\frac{1 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ eq}} \right) \left(\frac{36.47 \text{ g NaOH}}{1 \text{ mol}} \right) \left(\frac{100 \text{ g RLRA}}{98.3 \text{ HClRA}} \right) \left(\frac{1 \text{ mlRA}}{2.13 \text{ g mlRA}} \right) = \underline{\underline{19.10 \text{ ml NaOH}}}$$

Por lo tanto:

$$1000 \text{ ml} \left. \vphantom{1000 \text{ ml}} \right\} 19.10 \text{ ml NaOH } 1N$$

- Preparación de reactivos para Aflatoxinas

1.3 Metanol al 80%

80 ml de metanol grado reactivo

20 ml de agua destilada.

4.1 1.4 Revelador diluido:

1 ml. de revelador original

9 ml. de agua destilada

- Preparación de reactivos para Fumonisin

1.5 Solución de lavado

Mezclar 100 ml. de solución concentrada de PBS 0.1% Tween-20 con 900 ml. de agua destilada (esta solución preparada dura 1 mes).

1.6 Mezcla de Revelador A y B:

20 µL de revelador B más 15 ml. de Revelador.

ANEXO 2. IDENTIFICACIÓN DE HONGOS A NIVEL DE GÉNERO Y/O ESPECIE

Aspergillus flavus

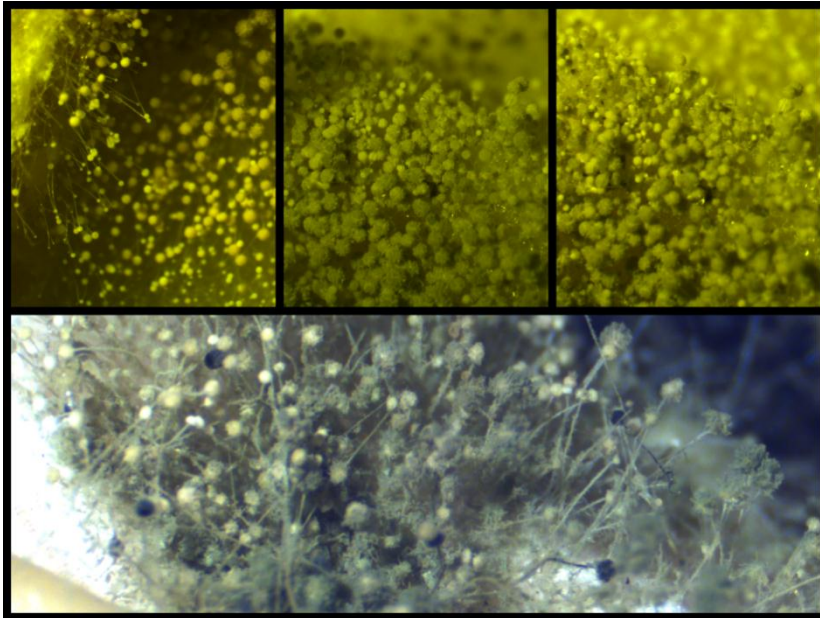


Fig. 4.1 Desarrollo de *A. flavus* sobre grano de maíz o masa dependiendo de que se trata la imagen.

Comúnmente causa pudrición de la mazorca del maíz.

Distribución

Cosmopolita desde regiones Árticas hasta el Ecuador.

Importancia

Principal causa de deterioro del maíz almacenado con un contenido de humedad superior al 16%. La sequía y las altas temperaturas favorecen la producción de aflatoxinas que son tóxicas para el ser humano y los animales y afectan el buen sabor del grano. La infección de la semilla puede reducir la germinación.

Enfermedad

Causa la mancha foliar en maíz y la mancha gris de la hoja.

La mayoría de las especies existen como saprófitas y a menudo se reproducen en tejidos vegetales enfermos, maduro o muerto, especialmente durante periodos de alta humedad. Algunas especies son productoras de micotoxinas.

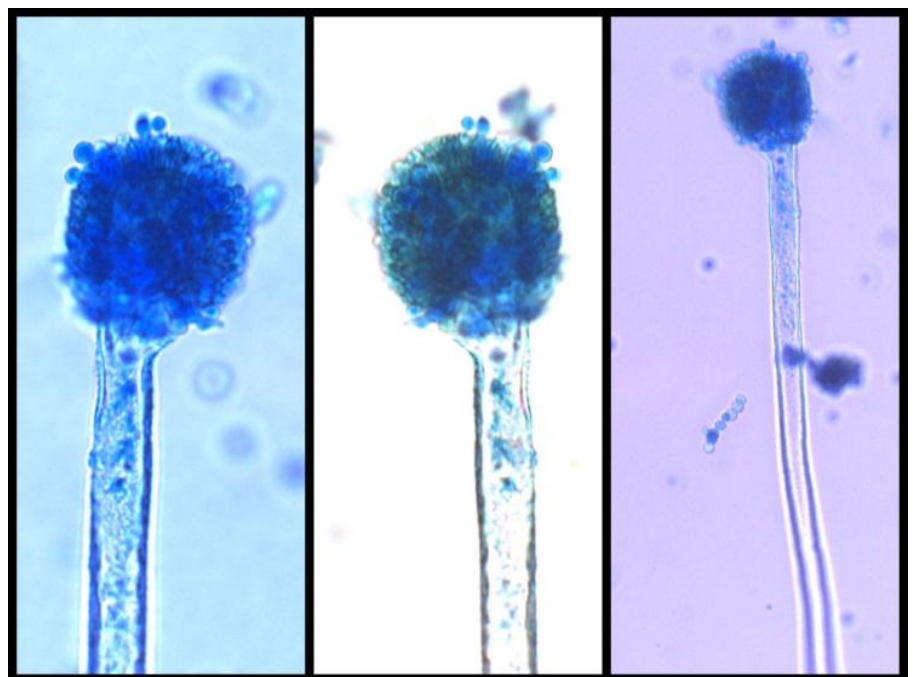


Figura 4.2. Conidióforos de *A. flavus* con cabezas conidiales mono y biseriadas.

Alternaria sp.

Enfermedad

Es una especie común que produce masas pulverulentas negras de esporas que cubren los granos del maíz como el olote (raquis) conocido como “Moho negro” es común en granos o mazorcas infectados con alto contenido de humedad

Distribución

En todo el mundo.

Importancia

Producción: Principal causa de deterioro del maíz almacenado con un contenido de humedad superior al 15%. Reduce la germinación de las semillas.

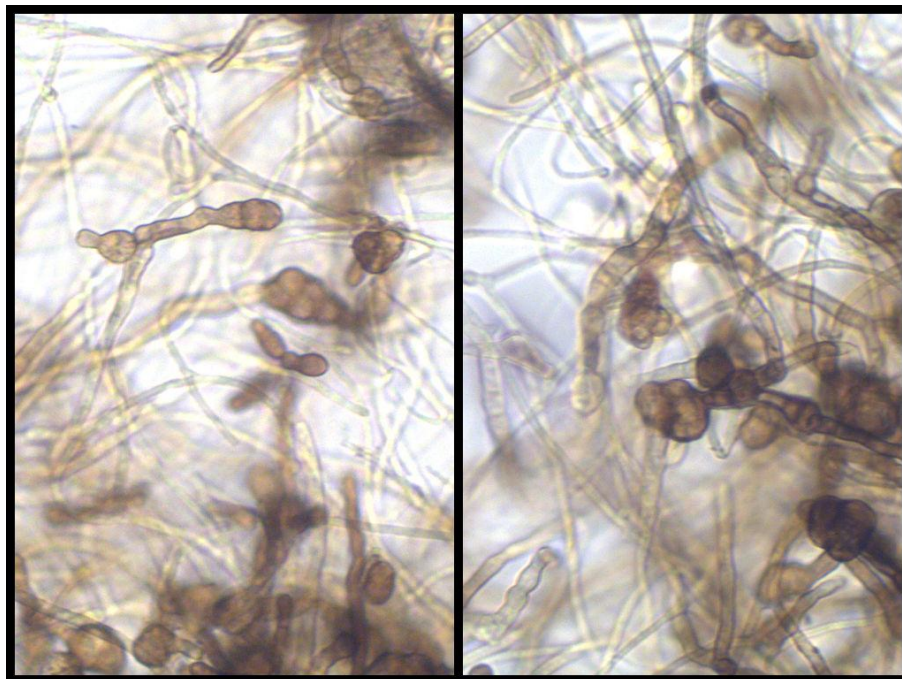


Figura 4.3 Conidios multicelulares de *Alternaria* formados en conidióforos.

Aspergillus niger

Enfermedad

Produce conidios pulverulentos de color azul muy evidentes desarrollándose entre los granos de la mazorca y sobre la superficie del olote. Los granos dañados por este hongo desarrollan coloraciones amarillas y rayas visibles en el pericarpio. Reducen el poder germinativo en semillas almacenadas.

Importancia

Es un saprófito común e invasor secundario, común en granos con avanzado estado de deterioro. Requiere contenidos de humedad en el grano superiores a 18-20% Muchas veces la infección por este género está asociada por daño en la mazorca causado por insectos. Es productor de Ocratoxinas.

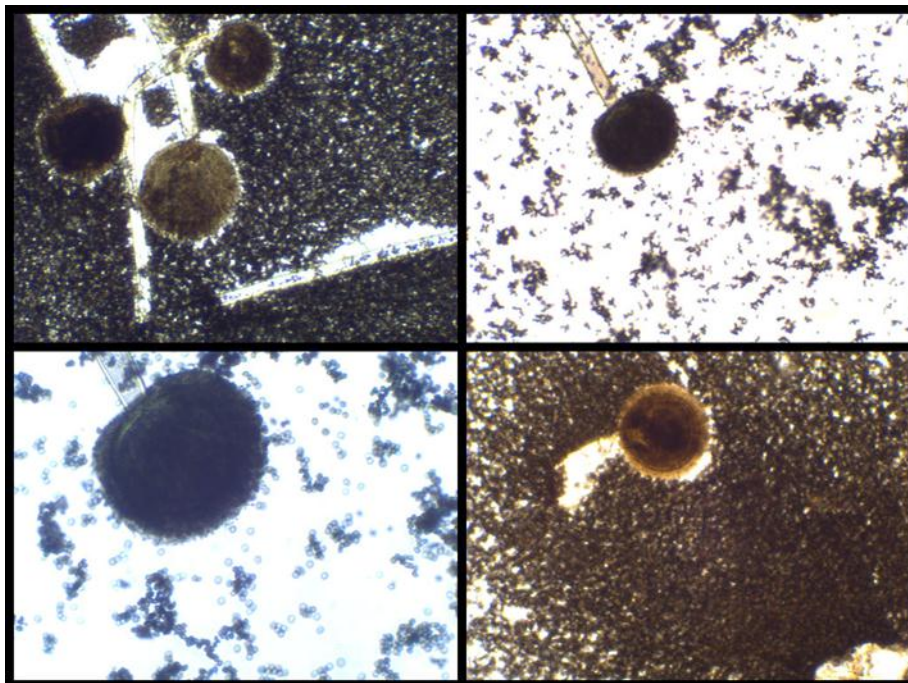


Figura 4. 4. Conidióforos de *Aspergillus niger* con vesículas biseriadas.

Penicillium

Especies aisladas e identificadas en masa de maíz

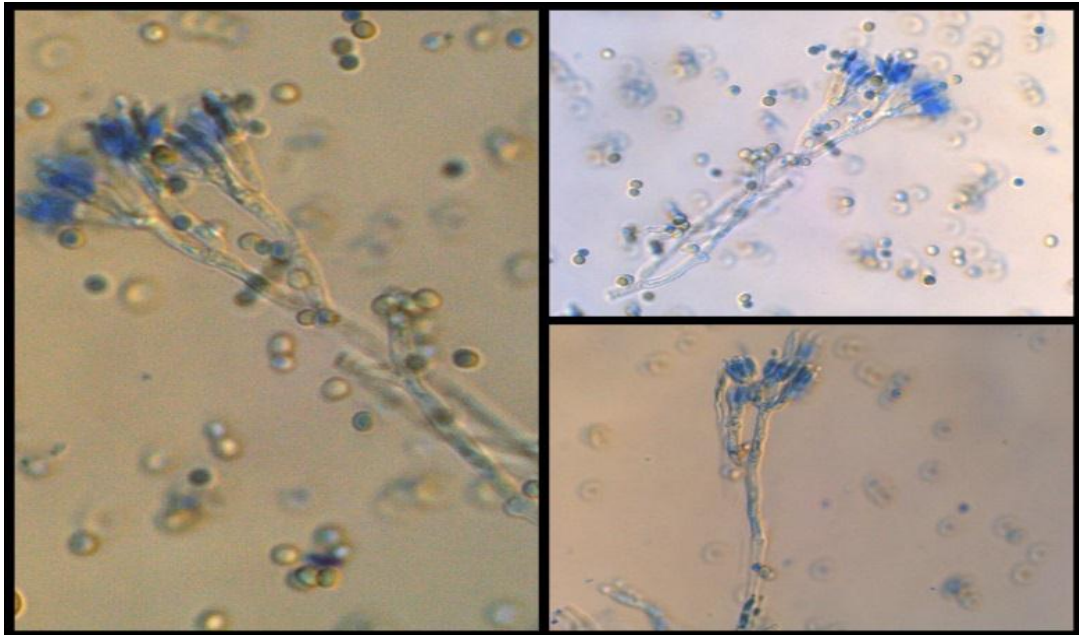


Figura 4.5. Conidióforos tertverticilado de *Penicillium griseoreosum*

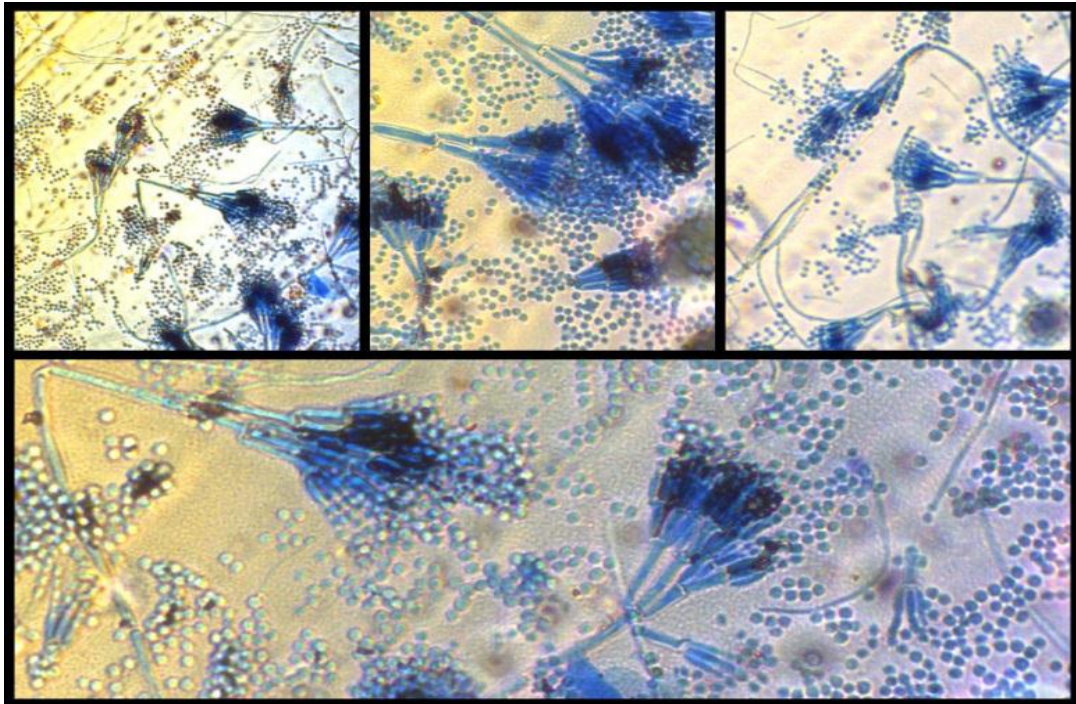
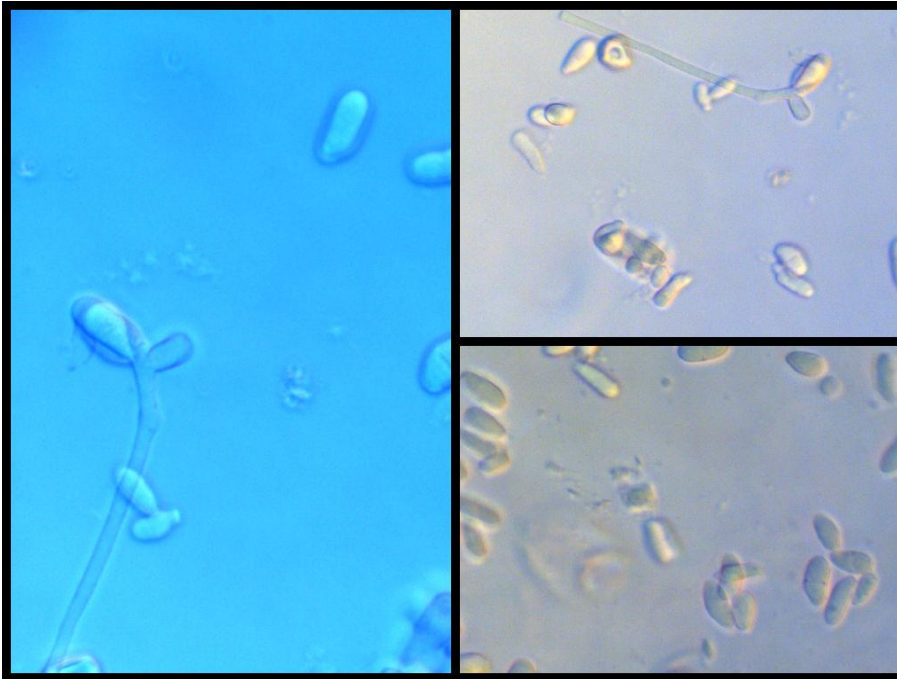


Figura 4.6. Conidióforos tertverticilado de *Penicillium olsonii*.

Trichothecium sp.



Saprófito común e invasor secundario.

Distribución
Cosmopolita.

Importancia
Se ha aislado de mazorcas de maíz han avanzado estado de deterioro.

Figura 4.7. Conidios sueltos y en conidióforo de *Trichothecium sp.*

Geotrichum sp.

Enfermedad
Geotricosis.

Distribución
En todo el mundo.

Importancia
Es uno de los hongos más comunes en la naturaleza, puede ser encontrado el suelo, ensilados y productos fermentados de maíz entre otros. La especie *G. candidum* bajo determinadas circunstancias es capaz de producir micosis, en bronquios, pulmones y aparato digestivo en los humanos.

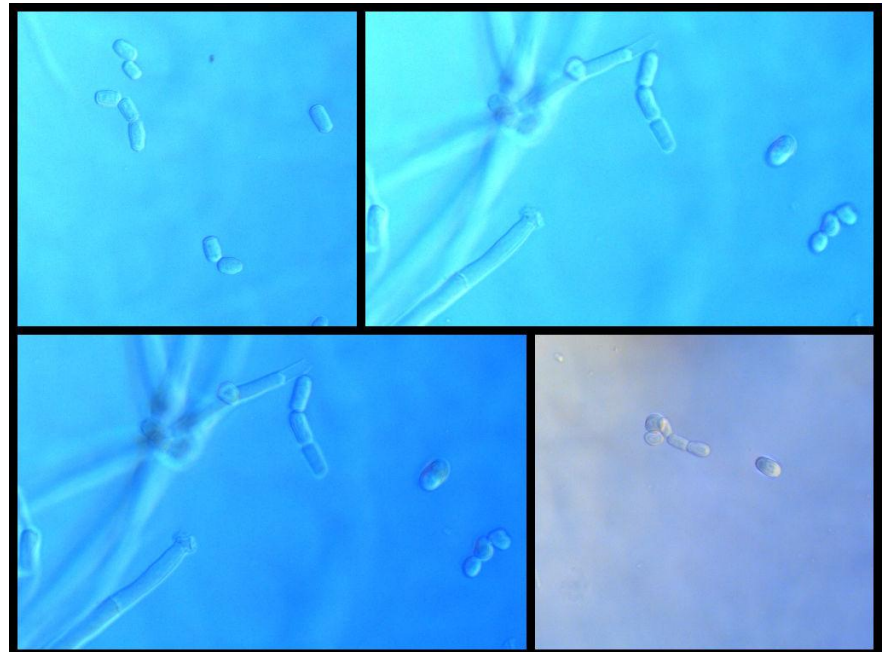


Figura 4.8. Arthroconidios de *Geotrichum sp.*

Torula sp.

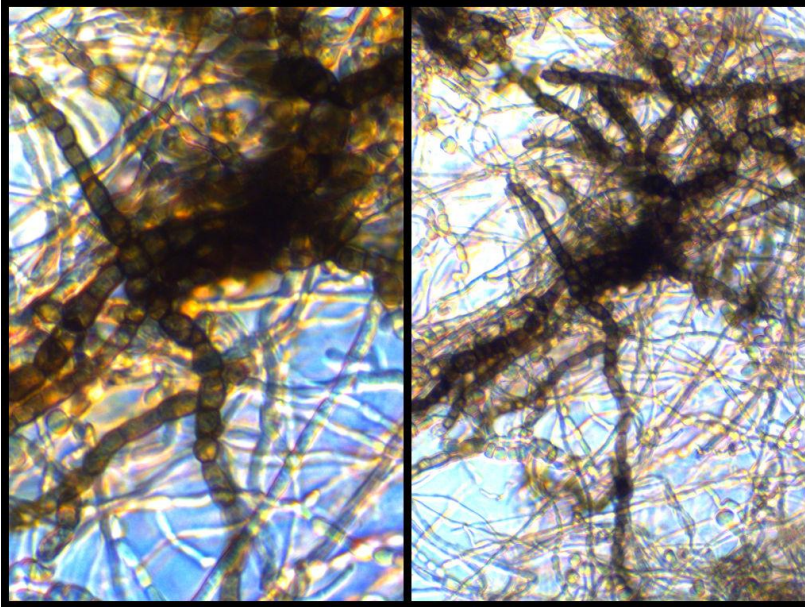


Figura 4.9. Conidios oscuros de paredes gruesas en cadenas de *Torula sp.*

Enfermedad

Invade hojas, tallos y espigas de cereales que han sufrido efectos de factores desfavorables o que se encuentran en etapas de maduración.

Importancia

Ninguna. Saprófito común e invasor secundario. Más abundante durante los períodos de cosecha húmedos.

Fusarium verticillioides

Enfermedad

Tizones de las plántulas de maíz. Pudrición de la mazorca y el tallo de maíz.

Distribución

Muy difundida en zonas templadas y en zonas tropicales y subtropicales.

Importancia

Es la pudrición de la mazorca de maíz más común y provoca pérdidas considerables en todo el mundo a causa del establecimiento deficiente de los cultivos

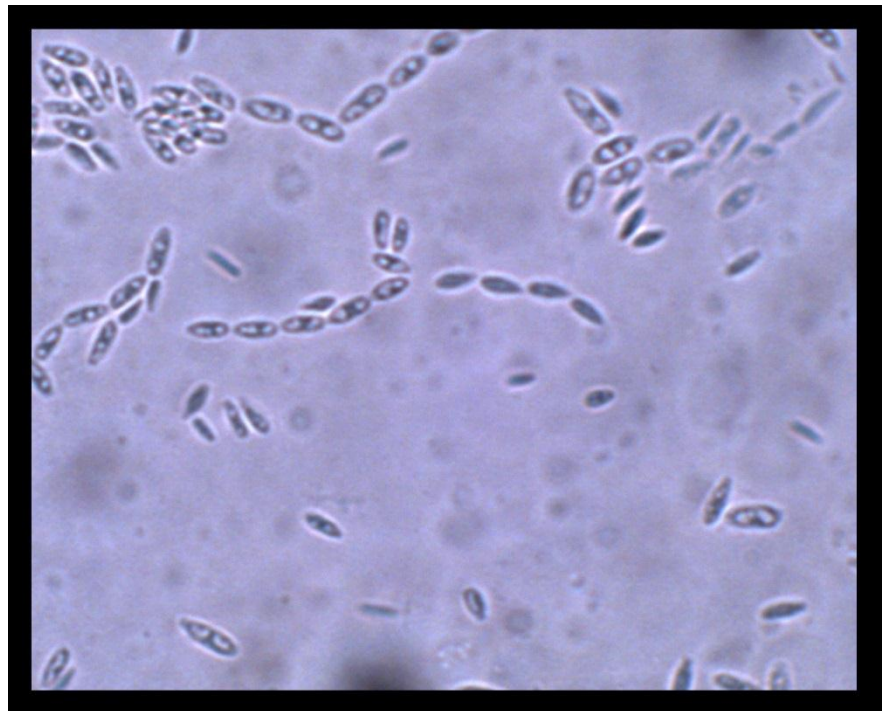


Figura 4.10. Conidios oscuros de paredes gruesas en cadenas de *Fusarium verticillioides*.

Fusarium graminearum



Figura 4.11. Macro conidios de *Fusarium graminearum*

Enfermedad

Tizón de la plántula, pudriciones del tallo y de la mazorca del maíz.

Importancia

Especialmente importante en las regiones húmedas.

Es la más destructiva de las pudriciones del tallo del maíz. Reducen la germinación en el maíz.

Las micotoxinas formadas por este hongo son la zeralenona, nivalenol y deoxinevalenol

Helminthosporium sp.



Figura 4.12. Conidios de *Helminthosporium sp.*

Enfermedad

Tizón foliar meridional del maíz.

Distribución

En todo el mundo, pero predominantemente en zonas tropicales y subtropicales.

Cladosporium sp.

Enfermedad

Produce la pudrición de la mazorca.

Importancia

Especies saprófitas que se encuentran comúnmente en las semillas de maíz. La pudrición de la mazorca por *Cladosporium* tiene poca importancia y por lo general se asocia con el daño causado por las heladas y el clima húmedo.

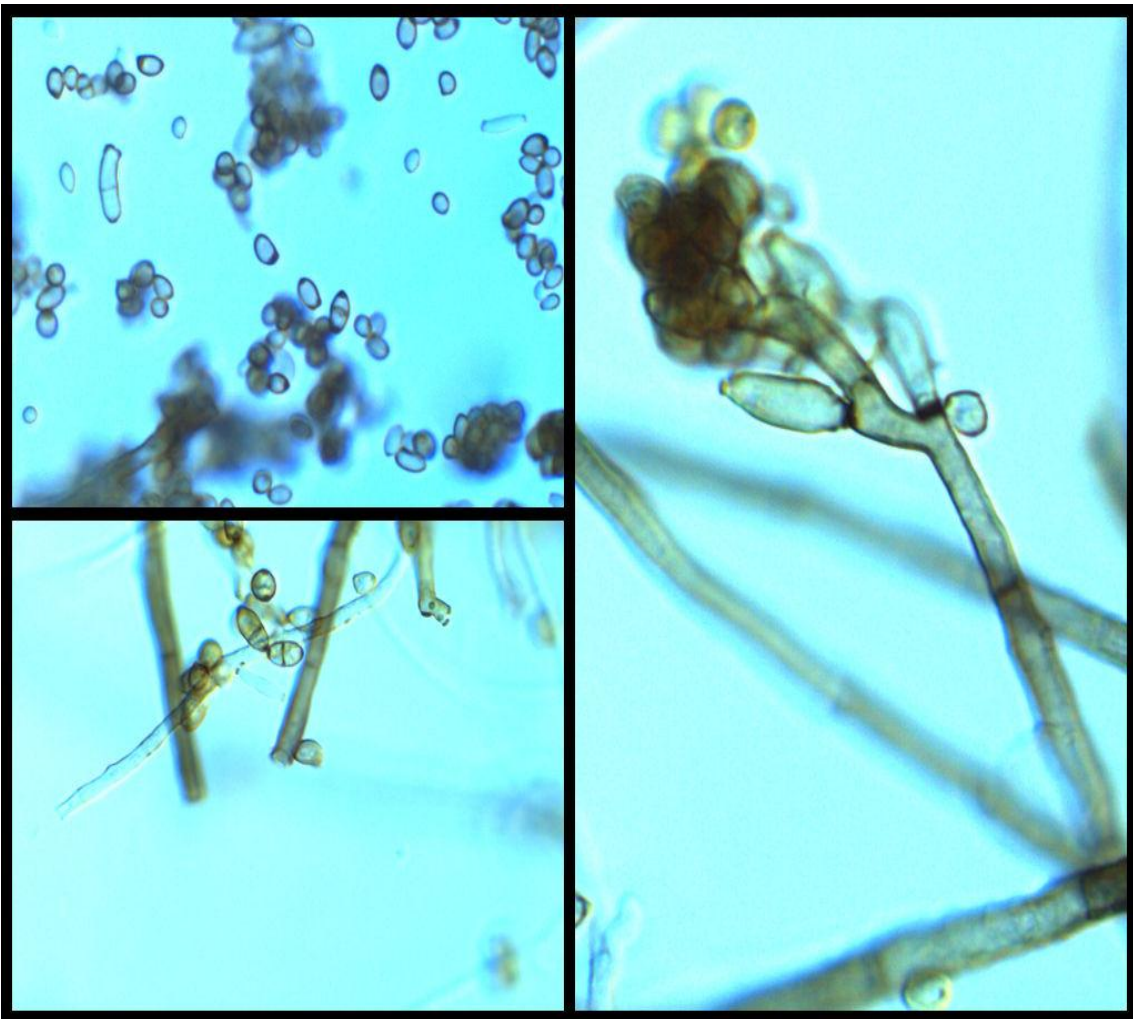


Figura 4.13. Conidios oscuros y conidióforo irregularmente ramificado en el ápice de *Cladosporium sp.*

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aguirre-Cruz, A., Méndez-Montealvo, G., Solorza-Feria, J. and Bello-Pérez, L.A. (2005). Effect of carboxymethylcellulose and xanthan gum on the thermal, functional and rheological properties of dried nixtamalized maize masa. *Carbohydr. Polym.*, pp.62:222–231.
- Almeida-Domínguez, H.D., Cepeda, M., Rooney, L.W. (1996). Properties of commercial nixtamalized corn flour. *Cereal FoodsWorld*, pp.624–630.
- Antuna G., O., Rodríguez H., S. A., Arámbula V., G., Palomo G., A, Gutiérrez A., E., Espinoza B., A., Navarro O. E. F. y Andrio E.E. (2008). Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31 (Núm. Especial 3), pp.23–27.
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. U.S.A.
- Arámbula Villa Gerónimo, Barrón Ávila laura, González Hernández Jesús, Moreno Martínez, E. y Luna Bárcenas G. (2001). Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano, masa y tortillas de maíz. *Archivos latinoamericanos de Nutrición*, pp. 187-194..
- Bartolo-Pérez, (1999). Estudio de la composición química de pericarpio de maíz con las técnicas XPS y EDAX. *Journal: Superficies y Vacío*, pp. 64-68.
- Belitz H. D. y Groch W., (1999). *Food Chemistry* (2nd Ed.). Berlín: Springer Verlage, pp. 527-578.
- Bello, P. O., (2002). Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masa y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, pp. 319-328.
- Bollain C, Angioloni A, Collar C. (2005). Bread staling assessment of enzyme supplemented breads by dynamic and static deformation measurements. *European food research and technology*, pp. 83-89.
- Bonnand-Duscasse, M., Valle, G.D., Lefebvre, J., Saulnier, L. (2010). Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties. *J. cereal Sci.*, pp. 200-206.

- Bourne, M. (2002). Food Texture and Viscosity: concept and measurement. Food science and technology, London, International series, pp. 109-112.
- Boyer, C.D. y Shannon, J.C. (1987). Carbohydrates of the kernel. En S.A. Watson y P. E. Ramstad, eds. Corn: chemistry and technology, St Paul, Minn., EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem, pp. 253-272.
- Bressani, R. (1992). Nutritional Value of High-Lysine maize in humans in quality protein maize, Mertz, E. American Association of Cereal Chemist, St. Paul, pp. 205.
- Bressani, R. (1989). Contenido de fibra, ácido y neutrodetergente y de minerales menores en maíz y su tortilla. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, pp. 382-391
- Bressani, R. (1990). Changes in selected nutrient content and in protein quality of common and quality protein maize during tortilla preparation. Cereal Chemistry, pp. 515-518.
- Burge, R.M. y Duensing, W.J. (1989). Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. Cereal Foods World, pp. 535-538.
- Calderón, H. (1990). Obtención y evaluación biológica de biomasa microbiana con bajo contenido de calcio, a partir de un sistema de tratamiento aerobio de nejayote. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM.
- Canimolt (2014). Recuperado el 22 de Enero de 2014, de www.canimolt.org/cereales/que-son-los-cereales.
- Casas, A., y Ramírez, O. (1998). Evaluación de la textura de materiales con máquina universal de deformación. Curso de superación académica. Departamento de Ingeniería y Tecnología. Sección LEM. Alimentos. UNAM.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, (1997), International spillovers of research in Latin America and the Caribbean. Documento interno del programa de economía, Mexico, DF, CYMMYT.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2010), Resultados e información de la pobreza (2010). www.coneval.gob.mx
- Comissió Europea (CE), (2006). Reglament Oficial (CE) N° 1881/2006 of 19/12/2006. Journal of the European Union, L364 pp. 5-24.
- Comissió Europea (CE), (2007). Reglament Oficial (CE) N° 1126/2007 of 28/9/2007. Journal of the European Union, L255, pp. 14-17.

- Cornejo-Villegas, M., Acosta-Osorio, A., Rojas Molina, I., Gutiérrez-Cortéz, E., Quiroga, M., Gaytán, M., y otros. (2010). Study of the physicochemical and pasting properties of instant corn flour added with calcium and fibers from nopal powder. *Journal of Food Engineering* 96 (3), pp.401-409.
- Cortez-Rocha MO, Gil-León ME, Suárez-Jiménez GM, Rosas-Burgos EC, Sánchez-Mariñez RI, Burgos-Hernández A. (3005). Occurrence of fumonisin B1 and hydrolyzed fumonisin B1 in Mexican nixtamalized cornmeal. *Bull Environ Contam. Toxicol*, pp.74:73-77
- CRMT. (2011). Consejo Regulador de Masa y Tortilla. Recuperado el 23 de Enero de 2014, de www.crmt.com.mx.
- Domínguez , E., y Carrillo, P. (2003). Efluentes de la industrialización del maíz: ¿Contaminante o Recurso valioso?. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*, pp. 57-59.
- Duarte-Vogel, S., y Villamil-Jiménez, L. C. (2006). Micotoxinas en la Salud Pública. *Revista de Salud Pública*, pp. 129-135.
- Dvorak N. J., Riley R. T, Harris M., McGregor J. A. (2008). Fumonisin mycotoxin contamination of corn-based foods consumed by potentially pregnant women in southern California. *J Reprod Med* 53, pp.672-676.
- Echandi, E. (2011). *Manual de Laboratorio para Fitopatología general*. Lima, Peru, pp. 58
- FAO. (2013). *Agricultura mundial hacia el año 2013, estudio de Alexandratos, N.* Ediciones Mundiales Prensa, Madrid, España. Recuperado el 5 de Mayo del 2014, de: [ftp.fao.org/docrep/fao/004/y3557S/y3557s06.pdf](ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/004/y3557S/y3557s06.pdf)
- FAO. (1993). Effect of carboxymethylcellulose and xanthan gum on the thermal, El maíz en la Nutrición humana. Recuperado el 22 de Enero del 2014, de: www.fao.org/docrep/T0395S/T0395S00.htm
- Ferry, J. R. (1980). *Viscoelastic properties of polymers* (3rd ed.). New York: Wiley, pp. 55
- Figueroa, C.J. de D., Martínez, B.F., González, H.J., Sánchez, S.F. (1994). Modernización tecnológica del proceso de nixtamalización. *Industria Alimentaria*, pp. 23-27.

- Flores Chavez. D. (2012). Determinación y caracterización de microorganismos presentes en la masa para tortilla de maíz en tortillerías del Municipio de Saltillo, Coahuila, pp. 2-9.
- García-Rejón, A. (1981). Introducción a la reología de los polímeros. *Plastinoticias*, pp. 37-54.
- Gasca-Mancera, J. C. y Casas-Alencáster, N. B. (2007). Adición de harina de maíz nixtamalizado a masas frescas de maíz nixtamalizado. Efecto en las propiedades texturales de masa y totilla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, pp. 317-328.
- Gómez-Brenes, R.A., Elías, L.G. y Bressani, R. (1972). Improvement of the protein quality of diets of low nutritive value through the use of fortified maize and opaque-2 maize. In R. Bressani, J.E. Braham y M. Béhar, eds. *Nutritional improvement of maize*. INCAP Pub. L4, p. 256-272. Guatemala, INCAP.
- Gomez, M.H., Rooney, L. W. y Waniska, R.D. (1987). Dry corn masa flours for tortilla and snack food production. *Cereal Foods World* 32 (5), pp.372-377.
- Gong Y. Y., Torres-Sanchez L., Lopez-Carrillo L., Peng J. H., Sutcliffe A E., White K. L., (2008). Association between tortilla consumption and human urinary fumonisin B1 levels in a Mexican population. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 17, pp.688-694.
- 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, pp. 186–194.
- Gutiérrez-Cortéz, E., Rojas-Molina, I., Rojas, A., Arjona, J.L., Cornejo-Villegas, M.A., Zepeda-Benítez, Y. (2010). Microstructural changes in the maize kernel pericarp during cooking stage in nixtamalization process. *Journal: Cereal Science* 51, pp. 81-88.
- Hernández- Sámano, A. (2009). Establecimiento del tiempo de cocción de granos de maíz mediante variables cuantitativas durante el proceso de nixtamalización. México: Tesis de Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuatitlan, UNAM.
- IMSA. (2012). IMSA. Recuperado el 22 de Enero de 2014, de www.imsa.com.mx

- Jay, J. M. (2002). *Microbiología Moderna de los Alimentos*, editorial Acribia, España, pp. 615
- J. C. Gasca Mancera, N. B. Casas Alencáster (2007). Adición de harina de maíz nixtamalizado a masas frescas de maíz nixtamalizado. Efecto en las propiedades texturales de masa y tortilla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 6. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, Distrito Federal, México, pp.317-328.
- Landry, J. y Moureaux, T. (1970). Hétérogénéité des glutélines du grain de maïs: Extraction selective et composition en acides aminés des trois fractions isolées. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, pp. 52.
- Landry, J. y Moureaux, T. (1982). Distribution and amino acid composition of protein fractions in opaque-2 maize grain. *Phytochemistry*, pp. 1865 - 1869.
- Lu, Z., Yuan, M., Sasaki, T., Li, L., Kohyama, K. (2007). Rheological properties of fermented maize of gel. *Cereal Chemistry*. 84 (6), pp.620-625.
- Magan N., Sanchiz V., (2004). *Micotoxins in food detection and control*, Woodhead, Publishing Limited, Cambridge, Inglaterra, pp.174-189.
- Maíz. (1983), Anónimo, México : Trillas, pp. 312.
- Mauricio S. R. A., Figueroa J.D., Taba C. S., Reyes M. L., Rincón V. F.,S, Mendoza A. G. (2004). Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27, 213-222.
- Méndez-Albores J. A., Villa G. A., Del Rio-García J. C., Martínez E. M. (2004). Aflatoxin detoxification achieved with Mexican traditional nixtamalization process is reversible. *Scientific Food Agricultural*, pp. 1611-1614.
- Mendoza Martinez, E. y María de la Concepción Calvo Carrillo (2010). *Bromatología. Composición y propiedades de los alimentos*. México: Mc Graw Hil, pp. 43-51.
- *Microbiología clínica* (2008) Recuperado el 22 de Enero de 2014 de www.unavarra.es/genmic/micrfoclinica/tema02.pdf
- Moreno, M. (1988). *Manual para la identificación de Hongos en Granos y sus derivados*. México, DF., Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 209-220

- Nava Gómez, J. L. (2011). Tratamientos térmicos alcalinos. Centli, México. <http://www.centligastronomia.com.mx/index.php/saber/41-articulos/139-nixta-saber>.
- Niño-Medina, G., Carvajal-Millán, E., Lizardi, J., Rascon-Chu, A., Marquez-Escalante, J., Gardea, A., Martínez-López, A., Guerrero, V. (2009). Maize processing waste water arabinoxylans: Gelling capability and cross-linking content. *Food Chemistry*, pp. 1286-1290.
- NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Productos Alimenticios del maíz. Norma Mexicana. Secretaria de Fomento Industrial. Dirección de Normas.
- NOM-111-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.
- NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba.
- Paredes O., F. G. (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias de la UNAM*, pp. 60-70
- Paredes-López, O., Guevara-Lara, F. y Bello-Pérez, L.A. (2006). Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas. Fondo de cultura Económica, México, pp.197.
- Pflugfelder, R. R. (1988). Dry matter losses in commercial corn masa production. *Cereal Chemistry* 65, pp. 127-132.
- Pons M. y Fizman S. M. (1996), Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. *J. Text. Stud.* 27, pp. 697-624.
- Quintanar, G.A., Jaramillo, F.M.E., Escobedo, M.R., Chel, G.L., Solorza, F.J. (2009). Changes on the structure, consistency, physicochemical and viscoelastic properties of corn (*Zea mays*) under different nixtamalization conditions. *Carbohydrate Polymers* 78 (4), pp. 908-916.
- Ramírez-Romero, C.G., Ortega-Flores, J.L., Cornejo-Villegas, M.A., Reyes-Regalado, A., Ambriz-García, J.J. (2011). Eliminación de sólidos suspendidos de nejayote y manejo para su reutilización. *Memorias del Simposium Internacional sobre Tecnologías convencionales y Alternativas en el Procesamiento del Maíz*, Agosto, pp. 219-224.

- Ramírez, W. S. (1993). Development of two instrumental methods for corn masa texture evaluation. *American Association of Cereal Chemistry* 70, pp. 286-290.
- Rao, M., y Steffe, J. (1992). *Viscoelastic properties of foods*. Elsevier, USA. rice flour gel. *Cereal Chemistry*. 84, pp. 620-625.
- Rebufel, A. (1988). Mycotoxins from *Fusarium* in corn grown in Chile, pp 212
- Rodríguez, E., Fernández, A., y Ayala, A. (2005). Reología y textura de masas: aplicaciones en trigo y maíz. *Ingeniería e Investigación- Universidad Nacional de Colombia*, pp. 72-78.
- Rojas-Molina, I., Gutiérrez Cortéz, E., Palacios Fonseca, A., Baños, L., Pons-Hernández, J. L., Guzmán-Maldonado, S. H., et al. (2007). Study of structural changes in endosperm of quality protein maize during traditional nixtamalization process. *Cereal Chemistry* 84 (2), pp. 304-312.
- Rojas-Molina, I., Gutiérrez, E., Rojas, A., Cortés-Álvarez, M., Campos-Solís, L., Hernández-Urbiola, M., Arjona, J.L., Cornejo, A., Rodríguez-García, M. (2009). Effect of temperature and steeping time on calcium and phosphorus content in nixtamalized corn flours obtained by the traditional nixtamalization process. *Cereal Chemistry* 86 (5), pp. 516–521.
- Romero, J. (2010). *Recursos alimentarios*. Editorial SM, México, pp. 9.
- Rosenthal, A. (2001). *Textura de los alimentos: Medida y Percepción*. Zaragoza, España: Acribia, pp.129-138.
- SAGARPA. (2011), responsables: Hernández Guzmán Arahón y Carballo Carballo Aquiles,. *Almacenamiento y conservación de granos y semillas*, pp. 1-2.
- Salinas, M. Y., Martínez B. F., Gómez H. J. (1992). Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea mays* L.). *Arch. Latín. Nutr.* 42, pp. 59–63.
- Salinas-Moreno Y, EB Castillo-Linares, MG Vázquez-Carrillo MG, MO Buendía-González (2011) Mezclas de maíz normal con maíz ceroso y su efecto en la calidad de la tortilla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2, pp. 689-702.
- Salmeron-Alcocer, A., Rodriguez-Mendoza, N., Pineda-Santiago, S., Cristiani-Urbina, E., Juarez-Ramirez, C., Ruiz-Ordaz, N., Galindez-Mayer, J. (2003). Aerobic treatment of maize processing wastewater (nejayote) in a single stream multistage reactor. *Journal of Environmental Engineering and Science* 2, pp. 401-406.

- SIAP/SAGARPA. (2008). Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. Recuperado el 22 de Enero de 2014, de (SIAP): www.sagarpa.com.mx.
- 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, pp. 60-67.
- Trejo-González A., Feria-Morales A. y Wild-Altamirano C. (1982). The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla production. Modifications of proteins; food, nutritional and pharmacological aspects. *Advances in Chemistry* 24, pp. 245-263.
- Urizar H.A. y Bressani, R. (1997). Efecto de la nixtamalización del maíz sobre el contenido de ácido fólico, calcio y hierro total disponible. *Archivo latinoamericano de Nutrición* 47 (7), pp. 324-328.
- 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, pp. 126-132.
- 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), pp. 478-486.
- Velasco-Martinez, M., Angulo, O., Vazquez, D.C., Arroyo, A.L., Monroy, J.R., (1997). Effect of dried solids of nejayote on broiler growth. *Poultry Science* 76, pp. 1531-1534.
- Watson, S.A. y Ramstad, P. E. (1987). Structure and composition. In S.A. Watson y P. E. Ramstad, eds. *Corn: chemistry and technology*, St. Paul, Minn., USA, Am. Assoc. Cereal Chem., pp. 53-82.
- WorkinehAbebe, Felicidad Ronda. (2014). Rheological and textural properties of tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] grain flour gels. *Journal of Cereal Science* xxx, pp. 1-9.