



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**Maíz expuesto a campos electromagnéticos, nixtamalizado con nejayote, y su efecto en el comportamiento reológico y microbiológico de masas y análisis sensorial de tortilla.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A:**

**TANIA ROJAS GONZÁLEZ**

**ASESORAS :**

**DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO**

**DRA. GABRIELA SÁNCHEZ HERNÁNDEZ**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2016**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

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

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DEPARTAMENTO DE

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

ATN: M. EN A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO  
Jefe del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.

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

**Maíz expuesto a campos electromagnéticos, nixtamalizado con nejayote, y su efecto en el comportamiento reológico y microbiológico de masas y análisis sensorial de tortilla.**

Que presenta la pasante: **Tania Rojas González**

Con número de cuenta: **404033152** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería en Alimentos**

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 22 de Abril de 2016.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	
VOCAL	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	
SECRETARIO	Dr. Enrique Martínez Manrique	
1er. SUPLENTE	I.A. Miriam Edith Fuentes Romero	
2do. SUPLENTE	Dra. Guicela Ramírez Bernal	

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

IHM/cga\*

El presente trabajo se realizó en la Unidad de Investigación en Granos y Semillas (UNIGRAS) y el Laboratorio Experimental Multidisciplinario I de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM con apoyo del Proyecto de Investigación PIAPIC25 “Modelos matemáticos aplicados a productos y desechos de la nixtamalización”

## DEDICATORIAS

A mi mamá que siempre ha sido un ejemplo para mí, acompañada de sueños y metas que me han inspirado, agradezco por escucharme y ponerme en mi lugar cuando lo necesito, gracias por tus palabras, te amo mami, gracias por acompañarme en mis tropiezos y alegrías.

A mi padre que, aunque siempre ha sido muy estricto y a veces no entiendo su forma de ser, lo amo y le agradezco que me ayudo a solventar mi carrera, a veces quisiera que no te enojaras con tanta facilidad, aunque me sorprende la alegría que emites al estar con mi pequeña, gracias por todo el amor que le brindas, gracias por jugar con ella mientras yo escribía este trabajo.

A mi esposo que desde el día que lo conocí supe que estaríamos juntos, desafiando momentos muy difíciles, siempre compartiendo sueños, gracias por creer y confiar en mí. Te amo amorcito.

A mi Vale, mi pequeña que cada mañana me regala una sonrisa, amo cuando juegas y cuando gritas, hasta cuando los demás dicen que haces travesuras, lo que pretendo es que seas feliz, con lo que a ti te haga feliz, porque mientras así sea yo también estaré feliz.

Hermanito te amo, me has dado muchas enseñanzas, y eres un hombre muy trabajador, te admiro, gracias por darme a ese sobrinito que es como otro hijo para mí y al cual amo tanto, mi pequeño Abner.

A mis abuelos, a mis tías Zeida, Elvia por supuesto a Ericka y Brenda, que siempre en cada momento hemos estado juntos. Gracias. Así mismo a Yoalli, Leticia, Mariana, Humberto, Eréndira, Alberto y a Magy quienes son mis mejores amigos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la UNAM, y por supuesto a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán que desde el primer día que entré a sus instalaciones me sentí orgullosa de estar aquí.

A la Dra. Carmen Valderrama Bravo por darme la oportunidad de cerrar ciclos y concluir esta etapa, compartió sus conocimientos conmigo, la admiro y respeto. Gracias por darme la oportunidad de ser parte de su investigación, fue un placer trabajar con usted.

A la Dra. Gabriela Sánchez Hernández por todas sus asesorías, y por compartir parte de sus conocimientos, gracias por acompañarme desde el principio en este trabajo, agradezco sus enseñanzas y su paciencia para poder concluir este trabajo.

A la M. en C. María Cristina Pérez Reyes por el apoyo técnico e interpretación de los análisis microbiológicos.

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

A la M. en C. Alicia del Real López por el análisis e interpretación de micrografías.

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

Al Sr Raymundo Pérez anteriormente jefe de la hemeroteca por el apoyo para la facilidad de los artículos científicos.

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

## RESUMEN

El maíz es uno de los cereales más consumidos en nuestro país a través de su principal producto, las tortillas, que son ingeridas diariamente por la población en general; sin embargo, su proceso genera grandes cantidades de desecho llamado nejayote. Aplicar campos electromagnéticos al maíz mejora la calidad de algunas semillas en pre cosecha y post cosecha, existiendo la posibilidad de mejorar la calidad de la tortilla. El presente trabajo reusó el nejayote y aplicó campos electromagnéticos para mejorar la calidad de la masa. Se llevó a cabo una caracterización de maíz para evaluar su calidad partiendo de un contenido de humedad de 12.89%, y un peso hectolítrico de 75.75 kg/hL los cuales se encontraron dentro de los parámetros de referencia, para poder manipularlo y procesarlo. La aplicación de campos electromagnéticos demostró ser una técnica benéfica para la calidad inicial y subsecuentemente la calidad de la masa, observándose cambios físicos, químicos y nutricionales, teniendo a disposición un mayor contenido de proteína, almidón y algunos aminoácidos. Al exponer al maíz a un tiempo de 12 min los valores de  $G'$  (módulo elástico) y  $G''$  (módulo viscoso) fueron más altos, lo que se traduce en masas más rígidas mientras que al usar nejayote se obtuvieron masas con menor rigidez por lo tanto más suaves. En cuanto a los cambios microbiológicos la utilización de nejayote fue favorable para disminuir el crecimiento del género *Fusarium*.

El análisis sensorial condujo a que la combinación de campos electromagnéticos y uso de nejayote mejoran su perfil sensorial, y de color con respecto a la masa control.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO TEÓRICO .....	3
1.1 Generalidades del Maíz.....	3
1.1 Proceso de nixtamalización.....	6
1.2.1 Cambios físicos y químicos durante el proceso de nixtamalización .....	8
1.2.2 Beneficios del proceso de nixtamalización.....	9
1.3. Nejayote .....	10
1.3.2 Composición Físicoquímica .....	11
1.3.3 Uso en procesos alimentarios .....	13
1.4. Campos electromagnéticos.....	15
1.4.1 Principio .....	15
1.4.2. Aplicación en alimentos.....	16
1.5 Reología de masas.....	17
1.5.1 Fundamentos de reología .....	17
1.5.2 Aplicaciones de reología .....	24
1.6 Microbiología de maíz y productos de maíz.....	25
1.7. Evaluación sensorial .....	32
1.7.1 Preparación y codificación .....	32
1.7.2 Tipos de prueba.....	33
1.7.2.1 Prueba sensorial discriminativa .....	33
1.7.2.3 Prueba triangular.....	33
1.7.2.4 Prueba Dúo-Trio.....	34
1.7.2.5 Prueba de ordenación (Ranking Test).....	34



1.7.2.6 Pruebas afectivas o hedónicas .....	35
2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	36
OBJETIVO GENERAL.....	36
OBJETIVOS PARTICULARES.....	36
2.1. Caracterización de maíz.....	37
2.1.2. Propiedades físicas de maíz.....	37
2.3. Radiación de maíz por campos electromagnéticos.....	39
2.5 Extracción de almidón.....	40
2.5. Microscopía electrónica de barrido .....	41
2.7. Preparación de masas y tortillas .....	42
Tabla 2.1 Diseño de experimentos.....	42
2.7. Análisis microbiológicos.....	45
2.7.1 Maíz .....	45
2.7.2 Masas .....	45
2.8. Propiedades viscoelásticas de la masa .....	46
2.8.1 Modelos de la potencia.....	47
2.9. Análisis sensorial .....	47
2.10. Análisis estadísticos.....	48
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
3.1 Caracterización de la materia prima .....	49
3.2. Composición química del maíz.....	50
3.3. Microscopia electrónica de barrido .....	52
3.3.1 Granos de maíz .....	52
3.3.2 Almidón irradiado.....	52
3.4 Análisis microbiológicos.....	54
3.4.1 Maíz .....	54

3.4.2 Masas .....	55
3.5 Módulos viscoelásticos .....	60
3.6 Análisis sensorial .....	64
CONCLUSIONES .....	68
BIBLIOGRAFÍA.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Imagen de microscopia Electrónica de barrido 14x de la estructura del grano de maíz (Elaboración propia).....	6
Figura 1.2 Diagrama de proceso para la elaboración de tortillas (Elaboración propia, modificado de Badui, 2013).....	7
Figura 1.3 Representación de los campos eléctricos y magnéticos como funciones de x correspondientes a una onda electromagnética sinusoidal (Young y Freedman, 2009).....	16
Figura 1.4 Comportamiento de un material sólido que obedece la ley de Hooke (Goodwin y Hughes, 2000, Tadros, 2010).....	19
Figura 1.5 Comportamiento de un material líquido que obedece la ley de Newton (Goodwin y Hughes, 2000, Tadros, 2010).....	19
Figura 1.6 Geometría y perfil de tiempo de una deformación de material aplicando pruebas oscilatorias (Ferry, 1980).....	21
Figura 1.7 Esfuerzo contra deformación. Respuesta de un líquido Newtoniano y un sólido elástico perfecto en pruebas dinámicas (Rao, 1992).....	23
Figura 1.8 Rutas de entrada de <i>Fusarium verticillioides</i> (De la Torre-Hernández <i>et al.</i> , 2014).....	30
Figura 2.1 Maíz M55 x M54.....	37
Figura 2.2 Balanza de peso específico marca OHAUS.....	38
Figura 2.3 Determinación de humedad de acuerdo a la metodología de secado.....	39
Figura 2.4 Diagrama esquemático del solenoide (Domínguez <i>et al.</i> , 2010).....	40
Figura 2.5 Extracción de almidón.....	41
Figura 2.6 Microscopía a) Evaporador b) Montaje en el equipo.....	
c) Microscopio electrónico de barrido.....	42
Figura 2.7 Diagrama de proceso.....	44
Figura 2.8 Reómetro RT 20 Haake.....	46
Figura 2.9 Análisis Sensorial.....	47
Figura 3.1 Imagen de SEM a 2000x del grano de maíz genotipo M55 X M54.....	
a) endospermo harinoso b) Endospermo vítreo .....	52
Figura 3.2 Imagen de SEM a 10000x de almidón de maíz genotipo M55x M54.....	

a) Sin irradiar b)Irradiado 7min c) Irradiado 12 min.....	53
Figura 3.3 Conteo de microorganismos de maíz M55XM54 sin irradiar e irradiado a 7 y 12 minutos para los medios de cultivo PDA y MEA.....	54
Figura 3.4 Conteo de microorganismos de masa proveniente de maíz M55XM54 sin irradiar para los medios de cultivo PDA y MEA.....	57
Figura 3.5 Conteo de microorganismos de masa proveniente de maíz M55XM54 irradiado a 7 minutos para los medios de cultivo PDA y MEA.....	58
Figura 3.6 Conteo de microorganismos de masa proveniente de maíz M55XM54 irradiado a 12 minutos para los medios de cultivo PDA y MEA.....	59
Figura 3.7 Módulos elástico ( $G'$ ) y viscoso ( $G''$ ) de masas provenientes de maíz nixtamalizado con nejayote e irradiado con campos electromagnéticos.....	60
Figura 3.8 Gráfico radial correspondiente a la evaluación de olor en tortillas a partir de maíz nixtamalizado con nejayote e irradiado con campos electromagnéticos.....	65
Figura 3.9 Gráfico radial correspondiente a la evaluación de sabor en tortillas a partir de maíz nixtamalizado con nejayote e irradiado con campos electromagnéticos.....	65
Figura 3.10 Gráfico radial correspondiente a la evaluación de color en tortillas a partir de maíz nixtamalizado con nejayote e irradiado con campos electromagnéticos.....	66
Figura 3.11 Gráfico radial correspondiente a la evaluación de textura en tortillas a partir de maíz nixtamalizado con nejayote e irradiado con campos electromagnéticos.....	67
Figura 3.12 Gráfico radial correspondiente a la evaluación de resistencia a la ruptura en tortillas a partir de maíz nixtamalizado con nejayote e irradiado con campos electromagnéticos.....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Composición fisicoquímica de nejayote.....	12
Tabla 1.2 Principales hongos toxígenos que contaminan al maíz.....	26
Tabla 1.3 Actividad de agua mínima y contenido de humedad aproximado para el crecimiento de algunos hongos en cereales almacenados.....	27
Tabla 1.4 Micotoxinas y enfermedades ocasionadas.....	29
Tabla 1.5 Ocurrencia natural de micotoxinas en alimentos procesados y productos de animales y algunos frutos.....	31
Tabla 2.1 Diseño de experimentos.....	42
Tabla 2.2 Formato otorgado a los participantes para evaluar las muestras.....	48
Tabla 3.1 Caracterización física de maíz M55 x M54.....	49
Tabla 3.2 Tiempo de cocción correspondiente con base a los granos flotantes y su dureza.....	50
Tabla 3.3 Composición química de almidón de maíz irradiado con campos electromagnéticos .....	51
Tabla 3.4 Parámetros del comportamiento elástico de las masas.....	63
Tabla 3.5 Claves de las tortillas analizadas sensorialmente.....	64

## INTRODUCCIÓN

El maíz es un alimento básico para millones de personas alrededor del mundo. Este cereal es muy importante en Centro América, México y algunos países de África y Asia, en donde es una fuente de energía y proteína entre la población general; se consume en formas muy variadas: como tortillas, tamales, atole, pinole, entre otros (Badui, 2013). La evolución de este cereal no se puede entender sin integrar en su historia el proceso de nixtamalización (Vargas, 2007), gracias a este proceso se hace disponible la niacina (Vargas, 2014). La nixtamalización es un proceso en el que los granos de maíz son cocidos en una solución saturada de hidróxido de calcio dejando reposar de 1-15 h. Durante el proceso de nixtamalización se mejoran las características nutricionales del maíz e incrementa el contenido de calcio y diferentes componentes, así como las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de sus productos como harina, masa y tortillas (Rojas-Molina *et al.*, 2009). Este proceso usa grandes cantidades de agua, misma que genera un agua de desecho llamada nejayote, que es altamente alcalina. Valderrama-Bravo *et al.* (2012) demostraron que el nejayote contiene 2.28% de sólidos, en base húmeda, de los cuales 25.48% es fibra en base seca; mientras que Velasco-Martinez *et al.* (1997) reportaron 13.1% de calcio. Gutiérrez Uribe *et al.*, (2010) reportan 80% de compuestos fenólicos principalmente unidos a la hemicelulosa y en pared celular del pericarpio, capa de aleurona y germen. Así mismo el ácido ferúlico actúa como inhibidor del crecimiento de algunas bacterias y de la actividad de enzimas fúngicas (Gañan *et al.*, 2009). Otros compuestos presentes en el pericarpio y en el nejayote son arabinoxilanos, los cuales son polisacáridos no almidonosos que pueden ser usados como adhesivos, espesantes, estabilizantes y formadores de películas (Hernández-Espinoza *et al.*, 2012). Dada la composición del nejayote, Valderrama-Bravo *et al.* (2015) reutilizaron este desecho y reportan un incremento en carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en masa nixtamalizada con nejayote, así como un aumento en la elasticidad y cohesividad. Por otra parte, en años recientes, la utilización de campos electromagnéticos en varias aplicaciones ha ido en aumento, ya que

pueden ser usadas en diversas industrias, por ejemplo, secado, pasteurizado, esterilización y procesos de calor (Keangin *et al.*, 2013). En el proceso de alimentos es de interés evaluar cómo la energía electromagnética puede influir en la actividad de enzimas y microorganismos. Una alternativa para incrementar fisiológicamente la calidad de la semilla en un tratamiento pre siembra, es la aplicación de irradiación electromagnética donde puede tener efecto positivo en el porcentaje de germinación y proporción de crecimiento (Pietruszewski, 2007). En semillas de amaranto, incrementa el contenido de materia seca, proteína cruda y fibra, pero fue observada una disminución en el contenido de aceite y carbohidratos (Sujak *et al.*, 2009). Zepeda, *et al.* (2011), evaluaron el efecto de la irradiación electromagnética en la calidad física de granos, nixtamal y tortilla en diferentes variedades de maíz. Los autores determinaron que a 15 minutos de exposición a campos electromagnéticos se incrementa la fuerza y elongación de la tortilla, que es un parámetro relacionado a la roabilidad de la tortilla. El efecto de la radiación depende de las propiedades dieléctricas de los alimentos, que son influidos por su contenido de agua, temperatura y frecuencia (Heldman, 2011). En otro aspecto, la aplicación de pruebas sensoriales ha sido utilizada para el desarrollo de nuevos productos, siendo este un parámetro de calidad importante en la industria de alimentos. Las pruebas sensoriales son usadas para determinar la preferencia del consumidor de productos finales (Serna-Saldívar, 2012).

En México no hay una regulación, principalmente en los pequeños molineros, para el manejo del agua residual conocida como nejayote, el cual diariamente se desecha al drenaje y contamina el ambiente. Por consiguiente, en el presente proyecto se propone utilizar el nejayote a diferentes concentraciones para nixtamalizar maíz irradiado con campos electromagnéticos en un tiempo 0, 7 y 12 min, a fin de dar un manejo sustentable al nejayote y mejorar la calidad del grano de maíz, verificando el comportamiento reológico, microbiológico y sensorial.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Generalidades del Maíz

Actualmente los cereales cuentan con atención debido a la perspectiva nutricional de sus potenciales beneficios para la salud (Adom y Liu, 2002).

Tal es el caso de maíz, este es el cereal básico para millones de personas alrededor del mundo. Este alimento es muy importante en Centro América, México y algunos países de África y Asia, en donde es una fuente de energía y proteína entre la población general; se consume en formas muy variadas: como tortillas, tamales, atole, pinole, entre otros, y es una de las bases del reconocimiento de la cocina mexicana como patrimonio intangible de la humanidad (Badui, 2013), es un regalo de Mesoamérica al mundo, a partir de datos arqueológicos y de biología molecular, algunos autores proponen que su domesticación parece haber ocurrido en algún lugar de Guatemala o del sur de México hacia 8700 años antes de nuestra era y se propone de manera concreta la cuenca del río Balsas (Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2010). El maíz es en nuestros días un alimento muy difundido en el mundo gracias a la plasticidad de sus características naturales y la posibilidad de ser consumidos de distintas maneras. La inventiva culinaria de los pueblos mesoamericanos encontró en la masa nixtamalizada la materia prima para crear numerosos platillos, entre ellos destacan a) usar la masa nixtamalizada para hacer espesos caldos, sopas y salsas, b) cocinar la masa nixtamalizada sola y también mezclada o rellena con otros productos, con la forma de tamales, pequeñas esferas para añadir a sus guisos caldosos y platillos semejantes, c) asar la masa adelgazada a mano sobre superficies planas y lograr así tortillas y sus derivados. Se puede suponer que el maíz era usado de otras maneras para alimentación diaria incorporando en múltiples platillos entre los que destacan tamales, elotes, esquites, atoles, sopas, cervezas o incorporados en otros guisos (Vargas, 2014).



Así mismo la utilización del tallo y del grano se emplea para fermentar y fabricar bebidas alcohólicas (Smalley y Blake, 2003). Hoy en día el maíz es el segundo cultivo del mundo por su producción después del trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar, siendo de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales (Paliwal *et al.*, 2001).

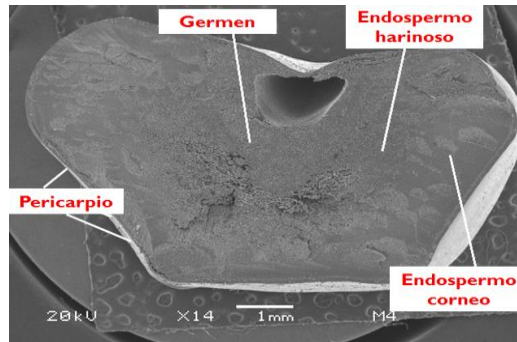
Siendo esta gramínea uno de los cereales más importantes en la nutrición de grandes grupos poblacionales en América Latina, México ocupa el sexto lugar (2.5%) como mayor productor de maíz en el mundo, después de Estados Unidos (41%), China (19.4%), Unión Europea (7.0%), Brasil (6.9%) y Argentina (2.8%) (U. S. Grains Council, 2012). Pese a ser uno de los principales productores de maíz del mundo, en el 2011 México importó 1.4 millones de toneladas métricas (TM) de maíz blanco y en el 2012 alrededor de 1.1 millones de TM del grano para abastecer el mercado local.

México siembra en promedio 8 millones de hectáreas de maíz al año en dos ciclos: primavera- verano y otoño-invierno; la mayoría de las hectáreas sembradas (más de 80%) corresponden al primer ciclo. Alrededor de 90% de la producción de maíz en México es blanco, destinado al consumo humano y a la elaboración de tortilla, el resto del maíz es amarillo (Reuters, 2011).

Otros procesos de maíz incluyen molienda húmeda para la producción de almidón y molienda seca para polvos y harinas, usados en la elaboración de diferentes productos como cerveza, hojuelas, botanas. La industria alimentaria ha llegado a ser consciente de establecer parámetros de calidad directamente relacionada con cada uso. Para algunos productos populares el color es un factor determinante, por ejemplo, en México el maíz blanco ha sido tradicionalmente preferido para hacer tortillas, pero la producción de este es insuficiente, y el uso de maíz amarillo ha sido aceptado (Pinho, 2014).

Entre las características fisiológicas de la planta de maíz tropical destaca que tienden a ser altas, con abundantes hojas y un sistema radical fibroso, normalmente con un solo tallo que tiene hasta 30 hojas. Algunas veces se desarrollan una o dos yemas laterales en la axila de las hojas en la mitad superior de la planta; estas terminan en una inflorescencia femenina la cual se desarrolla en una mazorca cubierta por hojas que la envuelven; esta es la parte de la planta que almacena reservas. La parte superior de la planta termina en una inflorescencia masculina o panoja; esta tiene una espiga central prominente y varias ramificaciones laterales con flores masculinas, todas las que producen abundantes granos de polen, teniendo una gran variabilidad en el color del grano, la textura, la composición y la apariencia, por lo cual puede ser clasificado en distintos tipos según: a) la constitución del endospermo y del grano; b) el color del grano; c) el ambiente en que es cultivado; d) la madurez y e) su uso. Los tipos de maíz más importantes son duro, dentado, reventón, dulce, harinoso, ceroso y tunicado (Paliwal *et al.*, 2001).

En los tipos de maíces comunes el endospermo comprende cerca del 84% del peso seco del grano, el embrión abarca el 10% y el pericarpio y el escutelo el 6% restante. El endospermo del grano de maíz es la zona más importante de almacenamiento de los carbohidratos y las proteínas sintetizados, está en su mayor parte compuesto por almidón con algunas proteínas y trazas de aceite (Paliwal *et al.*, 2001). La Figura 1.1 muestra la estructura del grano de maíz tomada con microscopía electrónica, en la cual se observan sus tres partes principales: pericarpio, endospermo y germen.

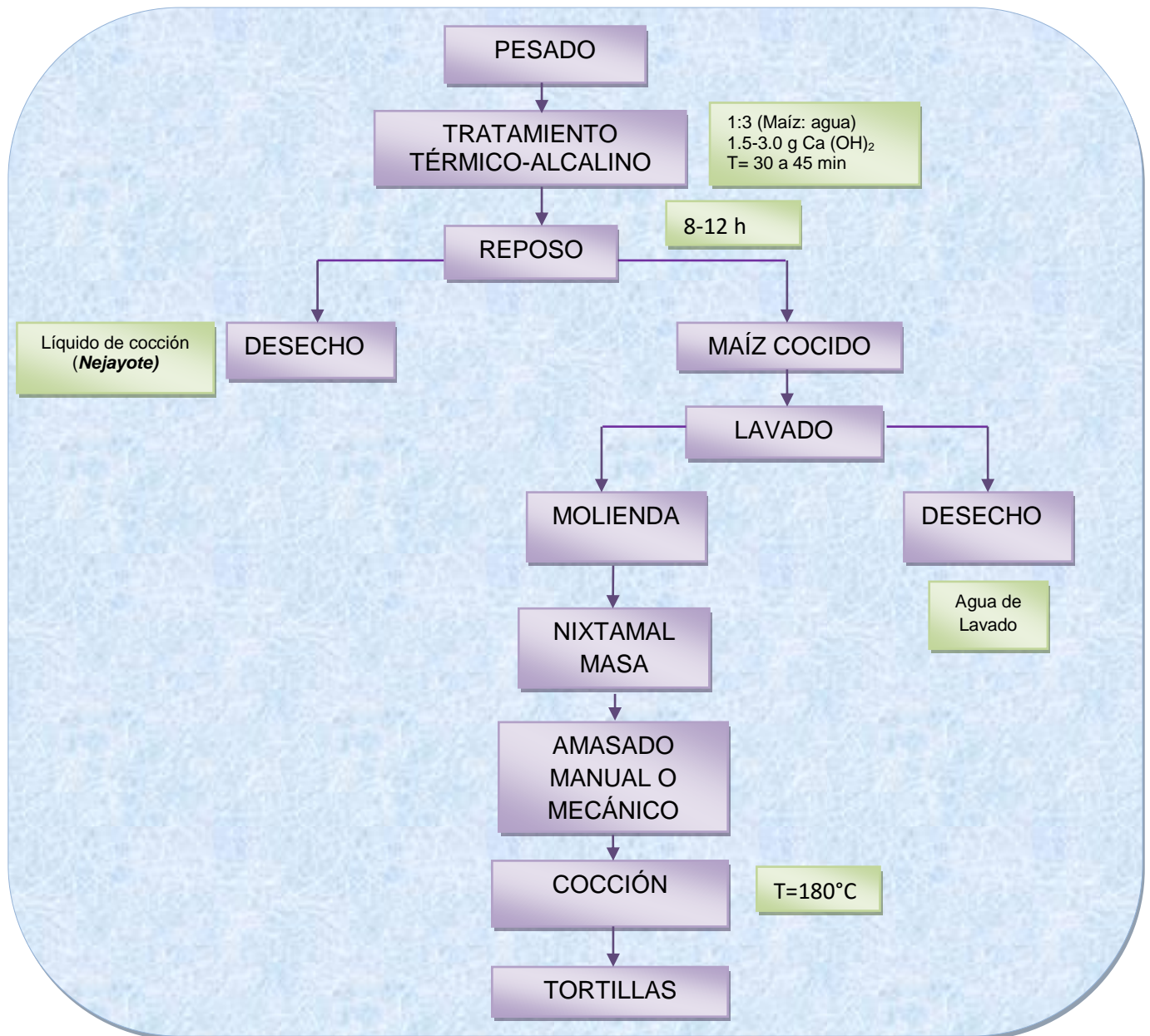


**Figura 1.1 Imagen de Microscopía Electrónica de Barrido 14x de la estructura del grano de maíz ( Elaboración propia)**

## **1.1 Proceso de nixtamalización**

En México el maíz se somete a un proceso térmico-alcalino conocido como nixtamalización (del náhuatl *nextli*, cenizas o cenizas de cal, y *tamalli*, masa de maíz) (Badui, 2013). La nixtamalización es un proceso importante porque es el resultado del incremento de calcio en los productos alimenticios (Valderrama *et al.*, 2015). El diagrama de proceso para la elaboración de tortilla se muestra en la Figura 1.2, el cual consta de tres pasos para producir el nixtamal (Valderrama-Bravo *et al.*, 2012). En su forma tradicional, primero el maíz se somete a cocción en agua a temperaturas de 90-94°C, en una proporción de 1:3 (peso: volumen) a la que se ha añadido 1-3% de cal, con lo cual se alcanza un pH que oscila de 11-13. El tiempo de cocimiento, que fluctúa entre 20 y 40 min, depende de las variedades del maíz, porque las de endospermo suave requieren menos tiempo que las del endospermo duro, se deja reposar la mezcla de maíz con cal de 10 a 14 h. El agua de cocción, se llama nejayote, y es muy contaminante por su alta demanda biológica de oxígeno y su pH es aproximadamente 8.5; después el maíz se lava con agua para eliminar el exceso de álcali, con el propósito de mejorar el sabor de la tortilla, que de otra forma sería alcalino, y entonces se obtiene el nixtamal. El maíz lavado se muele en un molino de piedras que, por la fricción, genera una gran cantidad de calor que incrementa considerablemente la temperatura de la masa obtenida. Esta masa sirve para preparar una gran cantidad de alimentos, entre los que destaca la tortilla; para cuya fabricación se

requiere un cocimiento a 170-190°C durante 4-5 minutos en planchas metálicas o de barro (Badui, 2013).



**Figura 1.2 Diagrama de proceso para la elaboración de tortillas (Elaboración propia, modificado de Badui, 2013)**

El maíz se somete a tratamientos muy drásticos, poco comunes en la industria alimentaria primero el térmico-alkalino, seguido del calentamiento en el molino y, por último, el de la cocción final en la plancha (Badui, 2013). Las tortillas de maíz

son consideradas el alimento para la población popular mexicana y representa el 47% de promedio calórico, y a nivel nacional el consumo de tortilla corresponde al 1% del total de alimentos consumidos (Gargallo, 2001). El consumo per cápita de tortilla en México: para 2008 era de 192 g/ día.

La tortilla debe reunir ciertas características de aroma y sabor, debe contar con buena flexibilidad y una textura adecuada que permita doblarla y enrollarla para comerla sin que se rompa. Sus propiedades sensoriales y mecánico – plásticas dependen de muchos factores, entre los que destacan la variedad del maíz, la temperatura, el tiempo de cocción y el pH (Badui, 2013).

### **1.2.1 Cambios físicos y químicos durante el proceso de nixtamalización**

Algunos de los cambios que suceden durante el proceso de nixtamalización son gelatinización del almidón, se hidroliza la hemicelulosa del pericarpio y se modifican algunos aminoácidos y vitaminas (Badui, 2013). Durante el cocimiento alcalino hay un gradiente de concentración de calcio dentro de la estructura del pericarpio en los granos de maíz (Gutiérrez-Urbe *et al.*, 2010). Mejora las características nutricionales del maíz con el incremento en el contenido de calcio en los productos finales. La interacción entre el calcio y diferentes compuestos del grano determina las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de los productos como masa, tortillas y harinas instantáneas. Durante la nixtamalización la pared celular del grano se solubiliza y en consecuencia algunas fracciones del pericarpio son removidas. Subsecuentemente una porción de remanente de calcio es depositada en el sobrenadante llamado nejayote (Rojas-Molina *et al.*, 2009).

Durante este proceso, la solución alcalina tiene efectos variantes en el almidón como son crecimiento del gránulo, aumento de la viscosidad y gelatinización, estados que dependerán de la concentración de iones calcio (Rodríguez *et al.*, 1996).

De la nixtamalización se derivan reacciones químicas internas que modifican al maíz y a sus componentes principales y algunos estudios han demostrado cambios importantes que modifican su estructura y cambian su comportamiento reológico.

El cocimiento con cal modifica la cristalinidad del almidón y re-asocia las moléculas de este durante el remojo, siendo importante para desarrollar las propiedades reológicas de la masa nixtamalizada (Guzmán *et al.*, 2011).

Guzmán *et al.* (2009) comprobaron que la nixtamalización modifica la forma de los gránulos de almidón y el cuerpo de la proteína. Los gránulos de almidón de muestras nixtamalizadas fueron de forma redonda, mientras que las muestras de masa control revelaron forma poligonal. Las proteínas de muestras nixtamalizadas exhibieron dos transiciones endotérmicas mientras que la muestra control solo mostró una transición.

### **1.2.2 Beneficios del proceso de nixtamalización**

La nixtamalización mejora propiedades fisicoquímicas y sensoriales de los productos como masa, tortillas y harina (Rojas-Molina *et al.*, 2009).

Durante el proceso de nixtamalización el calcio se dirige hacia el grano de maíz, modificando las propiedades físicas, estructurales, ópticas, químicas, reológicas, sensoriales y nutrimentales (Rodríguez *et al.*, 1996; Fernández-Muñoz *et al.*, 2004; Gutiérrez-Cortéz *et al.*, 2007; Méndez-Montalvo *et al.*, 2007; Rojas Molina *et al.*, 2009).

La gelatinización del almidón propicia que este sea utilizado por el organismo humano. Gracias al proceso de nixtamalización un amplio sector de la población mexicana satisface sus necesidades diarias de calcio. A pesar de ser un

tratamiento severo, la nixtamalización mejora la calidad nutritiva, como la biodisponibilidad de la lisina y de la glutelina se incrementa considerablemente, así como la del triptófano; lo mismo ocurre con la niacina que en principio se encuentra en forma no disponible biológicamente; la modificación de la leucina hace que la relación de este aminoácido con la isoleucina mejore considerablemente y se incremente el aprovechamiento de ambos (Badui, 2013).

### **1.3. Nejayote**

El proceso tradicional de nixtamalización requiere una gran cantidad de agua, en consecuencia, este proceso genera grandes cantidades de nejayote. Esta agua de desecho contiene grandes cantidades de sólidos solubles e insolubles, orgánicos e inorgánicos (Pflugfelder *et al.*, 1988). Durante la nixtamalización aproximadamente 75 L de agua son usados para procesar 50 kg de granos de maíz. Esta cantidad de agua es similar al agua alcalina que se produce y se desecha (Niño-Medina *et al.*, 2009). Salmerón-Alcocer *et al.* (2003) calcularon que para una planta de una capacidad de 600 T de maíz/día, genera entre 1500 y 2000 m<sup>3</sup> de nejayote. En México es importante proponer alternativas de uso (Valderrama-Bravo *et al.*, 2012).

Durante la nixtamalización, el pericarpio es parcial o totalmente removido, y comprende el 7% del peso total del grano (Pflugfelder *et al.*, 1988). Entonces en el agua alcalina está presente el pericarpio del maíz rico en polisacáridos de la pared celular no almidonosos, en su mayoría arabinoxilanos, los cuales son importantes para las propiedades funcionales de alimentos como estabilizadores, emulsificantes y formadores de película (Niño-Medina *et al.*, 2009). Los arabinoxilanos están principalmente localizados en las paredes celulares del endospermo, capa aleurona y el pericarpio, estos han sido investigados por sus propiedades nutricionales como su fibra soluble para el control de la diabetes mellitus, desórdenes cardiovasculares, mejora la absorción de calcio y magnesio,

mejorador de la función del colon y depresor del riesgo de cáncer del mismo (Saeed *et al.*, 2011). El pericarpio está integrado principalmente de fibra y compuestos fenólicos (Liu, 2007). Dado que en la nixtamalización se generan altas cantidades de desecho orgánico, Valderrama-Bravo *et al.* (2015) usaron el nejayote y demostraron que las cenizas y el  $\text{CaCO}_3$  aumentan significativamente en masa nixtamalizada con nejayote.

### **1.3.2 Composición Fisicoquímica**

El nejayote es altamente alcalino, rico en cal, sólidos solubles, tejido de pericarpio que está integrado por fibra y compuestos fenólicos (Acosta-Estrada *et al.*, 2014). Valderrama-Bravo *et al.* (2012) reportan altas concentraciones de demanda de oxígeno biológico (DBO) ( $14,219 \pm 309$  mg/L) con un total de sólidos suspendidos ( $8342 \pm 25$  mg/L) y oxígeno químico (DQO)  $40,058 \pm 82$  mgO<sub>2</sub>/L), como se puede ver en la Tabla 1.1, el nejayote filtrado muestra cambios en la composición fisicoquímica, reduciendo materia orgánica en comparación a líquido sin filtrar. Los valores de turbidez del nejayote filtrado están debajo de lo permitido por la FDA para agua de consumo, la turbidez del nejayote fue de  $963.3 \pm 6.6$  NTU, y para el nejayote filtrado fue de  $5.8 \pm 0.2$  NTU.

Previas investigaciones demuestran que los sólidos de nejayote tienen 125 veces más de ácido ferúlico libre y 15 veces más del ligado comparado con otros granos (Gutiérrez-Uribe *et al.*, 2010). Acosta-Estrada *et al.* (2014) reportan un contenido de ácido ferúlico de 219 mg/100g. La presencia de ácido ferúlico provee capacidad antioxidante, inhibiendo radicales libres, evitando estrés oxidativo, daño de tejido o fibrosis, daño para el DNA, lípidos y proteínas (Cukelj *et al.*, 2010).



**Tabla 1 .1 Composicion fisicoquímica de nejayote**

<b>Contenido</b>	<b>Nejayote</b>	<b>Nejayote filtrado</b>
Sólidos totales (%)	2.28 ±0.18	1.12±0.11
Humedad (%)	97.72±0.26	98.90±0.21
pH	11.39±0.49	10.53±0.32
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1003.54±2.45	991.01±1.91
Viscosidad (Pas)	0.0023101±4.3E-05	0.002097±5.2E-05
Grasa (%)	0.008±0.002	0.007±0.003
Ceniza (%)	0.767±0.014	0.334±0.0182
Proteína cruda (%)	0.113±.007	0.112±0.027
Fibra (%)	0.581±0.013	0.271±0.014
Carbohidratos (%)	0.862±0.016	0.379±0.031
Calcio mg/L	1526.21±26.53	712.40±11.53
Conductividad eléctrica (µS/mn)	4510.12±14.14	4030.23±11.10
DBO(mg/L)	14218.75±309.36	6212.25±123.74
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	40058.14±82.22	21783.68±115.35
Dureza(mg/L)	5768.67±0.46	3847.48±15.20
Sedimentos sólidos (µL/L)	>100,000	<100
Total sólidos suspendidos (mg/L)	8342.5±25.3	140.6±8.7
Turbidez (NTU)	963.3±6.6	5.8±0.2

DBO (Demanda bioquímica de oxígeno)

DQO (Demanda química de oxígeno)

(Valderrama-Bravo *et al.*, 2012)

La salud del ser humano es beneficiada por las propiedades de los compuestos fenólicos teniendo relación para aumentar antioxidantes (AOX) y actividades anti radicales pero también otros mecanismos como anti mutagénicos, inhibidor de enzimas y desintoxicación de enzimas, tal es el caso de las antocianinas, flavonoides, ácidos fenólicos y otros polifenoles que son fitoquímicos, los cuales son sintetizados en las plantas por metabolismo primario o secundario; previos

resultados demuestran que el consumo de estos disminuye la incidencia de varias enfermedades crónicas degenerativas incluyendo enfermedades cardiovasculares, desórdenes del tracto urinario y varias clases de cáncer (Del Pozo-Insfran *et al.*, 2006).

Los arabinosilanos (AXOS), son candidatos prebióticos (Broekaert *et al.*, 2011; Damen *et al.*, 2012). Un prebiótico es definido como un ingrediente selectivo que es fermentado y permite cambios en la composición y /o actividad de la microbiota gastrointestinal (Veenashri y Muralikrishna, 2011).

Algunos de los beneficios asociados con el uso de prebióticos son: la reducción en infección en el intestino, mejora la absorción de minerales, la inhibición del crecimiento de bacterias potencialmente dañinas, reducción de niveles de colesterol en la sangre y reduce el riesgo de cáncer de colon (Broekaert *et al.*, 2011). El nejayote presenta una caracterización nutricional en antioxidantes, por lo que resulta importante impulsar su uso para dejar de ser considerado un desecho industrial.

### **1.3.3 Uso en procesos alimentarios**

De acuerdo a las investigaciones previas acerca de la composición fisicoquímica de los sólidos de nejayote, se podría considerar como un aditivo en la formulación de productos de maíz y lograr un alimento funcional con características nutricionales. Del Pozo–Insfran *et al.* (2006) plantean que los sólidos de nejayote pueden ser usados como aditivos por su composición en fitoquímicos, estos han sido probados por efectos positivos en la salud humana.

Los resultados epidemiológicos *in vitro* e *in vivo* sugieren una pequeña relación directa al consumo de fenólicos y antioxidantes hacia la salud. Desechos de lignocelulosa de las industrias de procesos de alimentos típicamente contiene de

40-50% celulosa, 18-40% de hemicelulosa y 15-25% de lignina y podría ser empleada como materia prima para la manufactura como un valor añadido en los productos (Parajó *et al.*, 2004). La hemicelulosa es un polímero heterogéneo de pentosa (xilosa, arabinosa), hexosas (manosa, glucosa, galactosa) y ácidos azucarados. En los granos de cereal la hemicelulosa aparece como una estructura ramificada de heteropolisacaridos (arabinoxilanos), compuestos de una columna de unidades de xilosa sustituidas con arabinosa, galactosa, ácido glucurónico, ácido acético y fenólicoesterificados (incluyendo ferúlico, p- cumárico, ácido sinápico), estos compuestos son antioxidantes activos (Damen *et al.*, 2012, Veenashri y Muralikrishna, 2011; Vitaglione *et al.*, 2008).

Grandes cantidades de maíz son procesadas anualmente para la producción de harina de maíz nixtamalizada, generando cantidades significativas de derivados incluyendo pericarpio de maíz (Rojas-García *et al.*, 2012). El cereal de maíz es rico en fibra dietética y antioxidantes fenólicos (Parra *et al.*, 2007; Vitaglione *et al.*, 2008), la nixtamalización cambia la composición química del pericarpio de maíz, causando la remoción de hemicelulosa y lignina (Martínez- Bustos *et al.*, 2001). Rose e Inglett (2010) reportan datos de xilosa del 84% de peso total en el pericarpio de maíz natural. La nixtamalización remueve una parte importante de fibra y se deposita en el nejayote, este se convierte en un líquido no solamente de fibra, si no también rico en nutrientes, en los últimos años se ha hecho investigación y se han dado uso a este líquido convirtiéndolo así en parte de algún proceso.

Parecida es la investigación de Acosta-Estrada *et al.* (2014) quienes propusieron enriquecer el pan con sólidos de nejayote, mostrando resultados de incremento en las propiedades nutricionales de este, ya que los sólidos de nejayote son una buena fuente de fibra dietética, ácido ferúlico y calcio. Se ha encontrado que el ácido ferúlico aumenta proporcionalmente con un aumento en el nivel de sólidos de nejayote, utilizando nejayote con 9% de sólidos, el pan mostró 745 veces más de ácido ferúlico comparada con la masa control.

## 1.4. Campos electromagnéticos

### 1.4.1 Principio

La energía radiante es de la misma naturaleza que la luz visible ordinaria. Se considera, de acuerdo con la teoría electromagnética de Maxwell, como consistente de un campo eléctrico oscilante acompañado por un campo magnético también oscilante en fase con él, la variación de la intensidad con el tiempo del campo eléctrico pasando por un punto dado puede ser representada por una onda sinusoidal que tiene longitud finita de cresta a cresta que es la longitud de onda. Siendo la frecuencia de la radiación el número de ondas que pasan por un punto dado en la unidad de tiempo, y el producto de la frecuencia por la longitud de onda es la velocidad de la onda.

Las ecuaciones de Maxwell combinan el campo eléctrico y el campo magnético para formar un solo campo electromagnético, estos se relacionan de forma simétrica de tal manera que cualesquiera de ellos pueden crear al otro, en las condiciones adecuadas, según esta teoría, al acelerar las cargas eléctricas –como un electrón en oscilación- se producen ondas electromagnéticas. Una onda electromagnética porta energía, en consecuencia, puede efectuar trabajo y ejercer una fuerza sobre algún material con el que choque (Wilson *et al.*, 2007).

Las ondas periódicas con movimiento armónico simple se pueden llamar ondas sinusoidales. Cuando una onda sinusoidal pasa por un medio, todas las partículas del medio sufren movimiento armónico simple, con la misma frecuencia.

La frecuencia es una propiedad de toda la onda periódica, porque todos los puntos de la cuerda oscilan con la misma frecuencia (Young y Freedman, 2009). En la Figura 1.3 se observa la propagación de las ondas electromagnéticas.

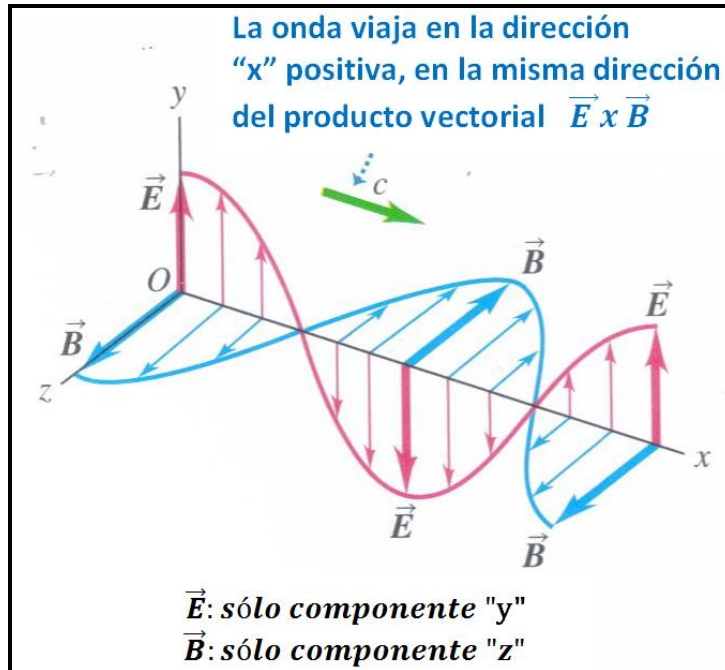


Figura 1.3 Representación de los campos eléctricos y magnéticos como funciones de x correspondientes a una onda electromagnética sinusoidal (Young y Freedman, 2009)

#### 1.4.2. Aplicación en alimentos

La aplicación de campos electromagnéticos y radiación puede ser una buena herramienta en el crecimiento de plantas y en el campo en la producción agrícola. En la remolacha el contenido de azúcar aumenta como tratamiento en la semilla en la pre siembra (Koper *et al.*, 1996). En semilla de amaranto en la pre siembra con aplicación de campos electromagnéticos se observa un incremento en materia seca, la proteína y la fibra (Sujak *et al.*, 2009). Zepeda-Bautista *et al.* (2010) mencionan que la radiación es un entorno amigable que puede modificar la calidad física del grano y consecuentemente la calidad de la tortilla de maíz con la combinación de intensidad y tiempo. Así mismo se aplican los campos electromagnéticos para incrementar la productividad de maíz por medio de la calidad de la semilla mejorando variedades nativas con una garantía y establecimiento en la cosecha teniendo calidad y cantidad de maíz.

Los campos electromagnéticos han sido ocupados como una técnica que ha demostrado mejorar la calidad de las semillas, sin dañar sus propiedades debido a que la cantidad de calor que se genera es insignificante comparada al calor natural que viene de las células del cuerpo (Pietruszewski, 2007), se ocuparán en maíz para mejorar las propiedades reológicas y microbiológicas de la masa y posteriormente en tortillas. Esta técnica ha sido utilizada para mejorar la calidad física del grano y consecuentemente en la tortilla (Zepeda *et al.*, 2011). Así mismo Zepeda *et al.* (2010) señalaron diferencias significativas de color, retención de pericarpio, pérdida de sólidos y firmeza de la tortilla a diferentes tiempos de exposición con campos electromagnéticos.

Los efectos electromagnéticos en las plantas se explican por la transferencia de energía sobre la materia que contiene radicales libres, que son atraídos o repelidos en función de su carga. La transferencia de energía ocurre cuando estos radicales aumentan la carga y así se activan, lo que origina una bioestimulación cuya magnitud depende de los parámetros adecuados de la energía que se transfiere de acuerdo al modelo par radical que tiene un papel esencial en la magneto-recepción (Galland y Pazur, 2005).

La exposición de campos magnéticos cambia algunos procesos fisiológicos, “biológicos” del grano de maíz modificando la calidad de éste, en estructura y composición química. La respuesta de cada variedad de maíz puede ser diferente de acuerdo a las características genéticas particulares (Zepeda- Bautista *et al.*, 2010).

## **1.5 Reología de masas**

### **1.5.1 Fundamentos de reología**

La reología es la ciencia de la deformación y flujo de la materia, es el estudio de cómo responden ante la aplicación de esfuerzo y deformación los materiales (Steffe, 1992). Esta ciencia creció considerablemente debido al trabajo de

investigación hecha con polímeros (plásticos), día a día en la aplicación de la industria, es esencial para el diseño de los procesos y la evaluación de la calidad de los productos (Rao y Steffe, 1992).

Diversos principios establecen la clasificación de los materiales con base en su comportamiento reológico, siendo dividido en tres categorías (García-Rejón, 1981):

- a) Sólido ideal de Hooke, materiales que obedecen la Ley de Hooke.
- b) Fluido ideal newtoniano, materiales que obedecen la Ley de Newton.
- c) Materiales viscoelásticos.

Los materiales sólidos ideales que obedecen la ley de elasticidad (ley de Hooke), consideran que la deformación ( $\gamma$ ), es directamente proporcional al esfuerzo aplicado ( $\tau$ ), (Ferry, 1980).

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

$$\sigma = G\gamma \quad \text{Ec. 1}$$

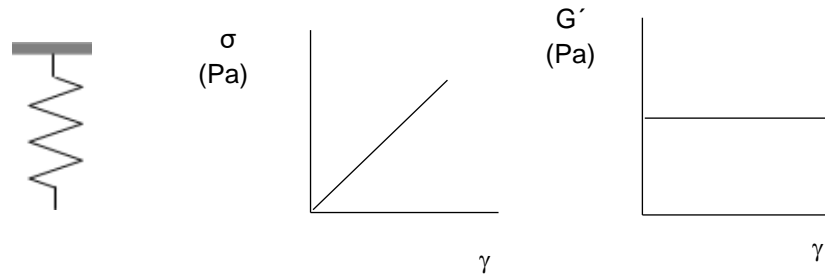
Donde:

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

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

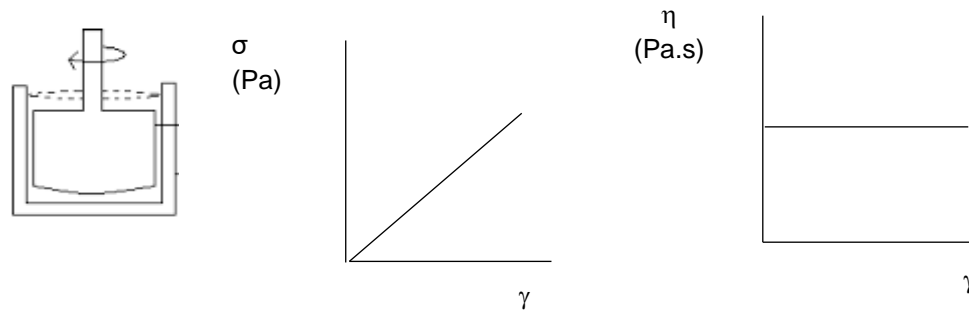
$$\gamma = \text{Deformación (adimensional)}$$

La ley de Hooke es representada por un resorte que describe el modulo elástico y expresa un gráfico de esfuerzo vs deformación donde se obtendrá una línea recta, con una pendiente igual al módulo  $G'$  (Figura 1.4) y es independiente del esfuerzo (Goodwin y Hughes, 2000, Tadros, 2010).



**Figura 1.4 Comportamiento de un material sólido que obedece la ley de Hooke (Goodwin y Hughes, 2000, Tadros, 2010)**

La ley de Newton trata las propiedades de los líquidos viscosos ideales, Contemplando que el esfuerzo aplicado es independiente de la deformación (Ferry, 1980) y su representación es a partir de un pistón como lo muestra la Figura 1.5.



**Figura 1.5 Comportamiento de un material líquido que obedece la ley de Newton (Goodwin y Hughes, 2000, Tadros, 2010)**

Para un fluido completamente viscoso, la ley de Newton de la viscosidad es representada:

$$\sigma = \mu\gamma \quad \text{Ec. 2}$$

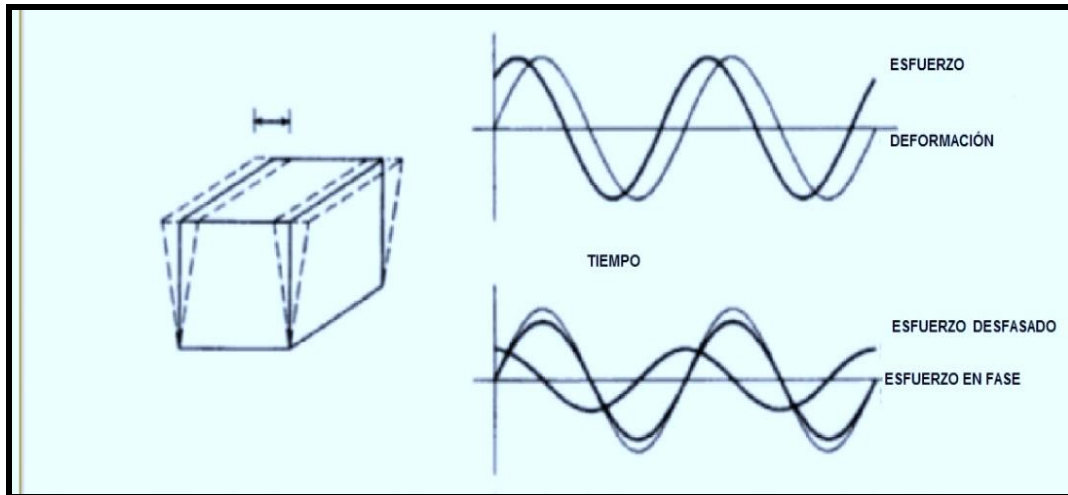
$\mu$  = Viscosidad Newtoniana (Pa. s)



Los materiales viscoelásticos exhiben un carácter sólido y líquido simultáneamente, además de ser dependientes del tiempo debido a que la respuesta del esfuerzo aplicado a la deformación no es instantánea y no asocia un cambio estructural en el material (Steffe, 1992).

Se exhiben dos pruebas para determinar el comportamiento de materiales viscoelásticos: 1) estático y 2) dinámico.

1. Estático: Un material es sujeto a un esfuerzo constante y la deformación correspondiente es medida como una función de tiempo (Steffe, 1992). Las pruebas estáticas implican la imposición de cambios graduales en esfuerzo o deformación subsecuente al desarrollo en tiempo de la deformación o esfuerzo (Barnes *et al.*, 1989). Este método comprende Creep (fluencia) y esfuerzo de relajación (Steffe, 1992).
2. Dinámico: Las pruebas dinámicas implican la aplicación de una deformación variante armónica (Barnes *et al.*, 1989), muestran como al aplicar una deformación oscilatoria continua a un esfuerzo constante y velocidad de deformación fija, aparece una onda sinusoidal de esfuerzo, como se muestra en la Figura 1.6 (Ferry, 1980). En el método dinámico es posible determinar las características viscoelásticas de los materiales dependientes de la frecuencia y los resultados son expresados como el módulo de almacenamiento ( $G'$ ), módulo de pérdida ( $G''$ ), y la tangente de pérdida ( $\tan \delta$ ) (Magaña *et al.*, 2009).  $G'$  y  $G''$  son determinados como una función de frecuencia (Rao, 1999).



**Figura 1.6 Geometría y perfil de tiempo de una deformación de material aplicando pruebas oscilatorias (Ferry, 1980)**

La información obtenida a partir de las pruebas dinámicas se realiza en función de la frecuencia (Rao, 1999). En las pruebas la muestra es sujeta a pequeñas deformaciones  $\gamma(t)$  en tiempo de acuerdo a la ecuación:

$$\gamma(t) = \gamma_0 \text{sen}(\omega t) \quad \text{Ec. 3}$$

Donde  $\gamma_0$  es la amplitud de la deformación y  $\omega$  es la frecuencia. La deformación aplicada genera dos componentes de esfuerzo en el material viscoelástico: un componente elástico en fase con la deformación a  $0^\circ$  y un componente viscoso desfasado  $90^\circ$ . Para evaluar el componente viscoso desfasado se aplica la ecuación:

$$\gamma(t) = \gamma_0 \omega \text{cos}(\omega t) \quad \text{Ec. 4}$$

Para deformaciones en el rango de viscoelasticidad lineal el esfuerzo ( $\sigma$ ) es expresado en términos de un módulo elástico o de almacenamiento de energía  $G'$  y un módulo viscoso o de disipación de energía.

$$\sigma(t) = G' \gamma_0 \sin(\omega t) + G'' \gamma_0 \cos(\omega t) \quad \text{Ec. 5}$$

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

$$G' = (\sigma^\circ / \gamma^\circ) \cos \delta \quad \text{Ec. 6}$$

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

$\gamma^\circ$  = Amplitud de la deformación (adimensional)

$\delta$  = Ángulo de desfase (rad)

$$G'' = (\sigma^\circ / \gamma^\circ) \sin \delta \quad \text{Ec. 7}$$

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

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad \text{Ec. 8}$$

Tan  $\delta$  es por lo tanto una manera para describir la razón de energía perdida y energía almacenada.

El módulo de almacenamiento  $G'$  expresa la magnitud de la energía que es almacenada en el material o recuperable por ciclo de deformación.  $G''$  es una

medida de energía que es perdida como disipación viscosa por ciclo de deformación. Por lo tanto, para un sólido elástico perfecto, el esfuerzo y la deformación estarán en la misma fase con un ángulo de  $0^\circ$ . Para un sistema viscoso ideal el esfuerzo y la deformación estarán desfasados  $90^\circ$ . Un sistema viscoelástico, por lo tanto, tendrá un ángulo de fase  $0^\circ$  y  $90^\circ$  (Rao, 1999). La Figura 1.7 muestra la respuesta de un líquido Newtoniano y un sólido elástico perfecto en pruebas dinámicas.

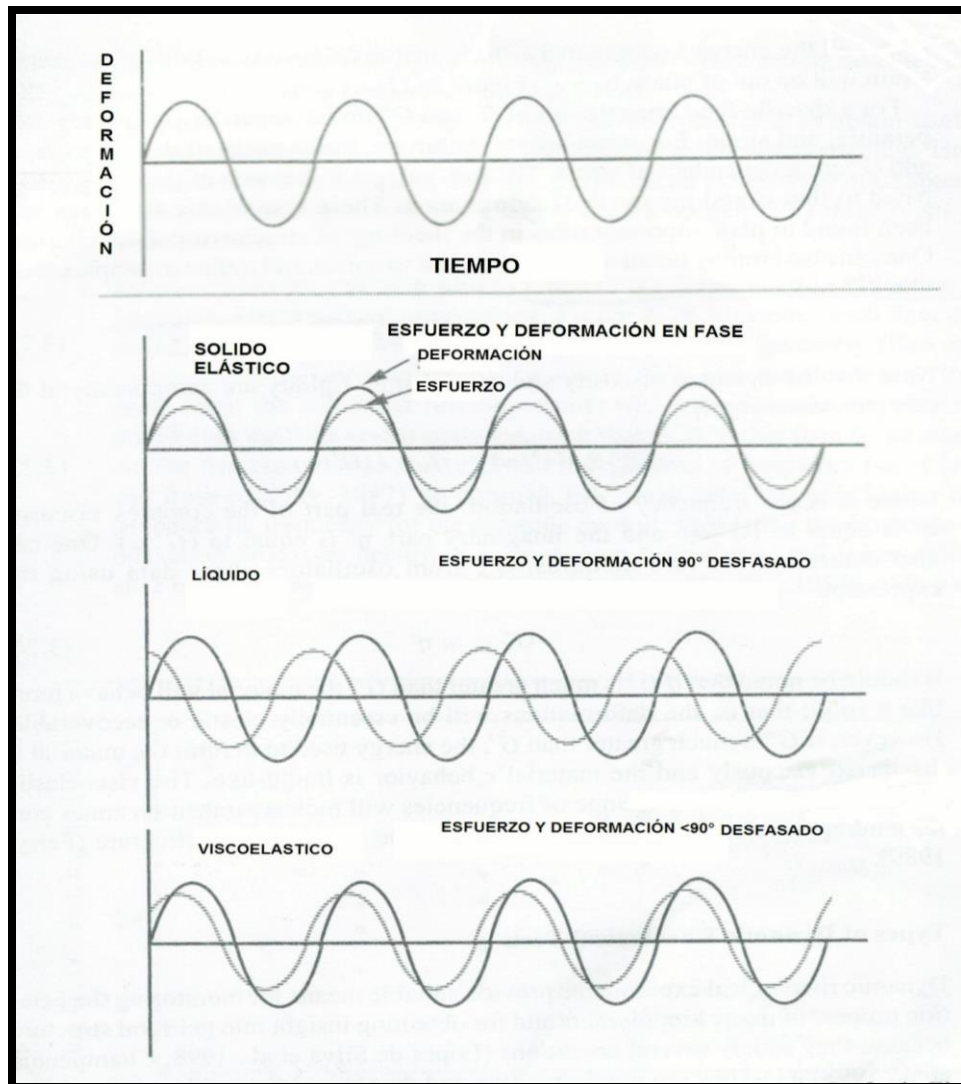


Figura 2.7 Esfuerzo contra deformación. Respuesta de un líquido Newtoniano y un sólido elástico perfecto en pruebas dinámicas (Rao, 1992).

### 1.5.2 Aplicaciones de reología

Los factores importantes que determinan el comportamiento reológico de macromoléculas son su tamaño, forma y flexibilidad. Los alimentos en general, presentan comportamiento viscoso y elástico a la vez, en términos reológicos se conoce como visco elasticidad. Los materiales que presentan esta propiedad, se caracterizan por la presencia de una estructura tridimensional incompleta, que se destruye por la aplicación de un esfuerzo y sólo se recupera el esfuerzo parcialmente removido (Borwankar *et al.*, 1992).

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 (Gómez *et al.*, 1987).

Mondragón *et al.* (2006), encuentran que el módulo de almacenamiento  $G'$  y el módulo de pérdida  $G''$  mostraron ser dependientes de la concentración de hidróxido de calcio, ya que para una concentración de 0.2%, ambos módulos arrojaron valores más altos y disminuyeron con el aumento de la concentración de hidróxido de calcio, este comportamiento fue atribuido a cambios de interacción del almidón y calcio afectando la solubilidad e hinchazón del almidón; por lo tanto esto sugirió que las propiedades reológicas del maíz nixtamalizado son influenciadas por el efecto de interacción entre calcio-almidón.

Guzmán *et al.* (2009) demuestran que la nixtamalización y el tiempo de cocción afecta el comportamiento reológico de la masa siendo modificados los valores de

los módulos elástico ( $G'$ ) y viscoso ( $G''$ ), alterando la estructura del almidón y proteína del maíz.

Valderrama-Bravo *et al.* (2015) evaluaron cambios reológicos en masas obtenidas de maíz nixtamalizado con nejayote y adicionada con sólidos de nejayote. Los autores determinaron diferencias significativas de los módulos elástico y viscoso entre masa control y MSND (Masa con sólidos de nejayote diluido) con una relación 1:1, 20 g /100 g de sólidos de nejayote adicionados. Los resultados demostraron valores más altos en la masa nixtamalizada con nejayote (MN), lo que indicó que cuando es usado el nejayote completamente durante la nixtamalización aumenta la rigidez en las masas. Este comportamiento se explica por el contenido de  $\text{CaCO}_3$ , lo cual causa una alta contribución en el módulo de elasticidad. Los autores recomiendan usar nejayote diluido (100 g agua: 100 g de nejayote) con 30 g/100 g de sólidos de nejayote adicionados durante la nixtamalización. Sin embargo, es necesario disminuir la dureza de la masa originada por la presencia de nejayote. Una alternativa podría ser tratar por métodos físicos, como la aplicación de campos electromagnéticos, al grano de maíz para mejorar las propiedades reológicas de la masa.

## **1.6 Microbiología de maíz y productos de maíz**

En los cereales y sus derivados, los principales microorganismos que hay que considerar son los hongos y las bacterias esporuladas de acuerdo a la siguiente clasificación (ICMSF, 1998).

- Hongos de campo, presentes en los granos al recolectarlos; algunos son patógenos para los granos y pueden provocar manchas, escoriaciones y decoloraciones o producir micotoxinas. Pocos de estos hongos son capaces de crecer por debajo de un valor  $a_w$  de 0,90.

- Hongos de almacén, que invaden los granos después de la recolección, produciendo pérdidas en la calidad, peso, capacidad germinativa y valor nutritivo. La mayoría son xerófilos y algunos producen micotoxinas.
- Hongos invasivos, que crecen en el interior de los granos y en consecuencia son importantes como causa de alteración. Se determinan después de desinfectar los granos superficialmente e incubarlos en medios de agar adecuados. En la Tabla 1.2 se muestran algunos hongos que afectan principalmente al maíz.
- Hongos contaminantes, que se encuentran en la superficie de los granos y son de escasa importancia a menos que los granos se muelan para hacer harinas o se utilicen como materia prima sin un proceso térmico apropiado. Se determinan por técnicas de dilución en placa.
- Bacterias esporuladas, son bacterias que sobreviven a la cocción, como *Bacillus cereus*. Puede haber bacterias no esporuladas, como las salmonelas o los estafilococos, contaminando los granos y harinas. Estas últimas especies pueden crecer en las pastas y masas durante la elaboración, en particular si la distribución de la humedad no es uniforme, produciéndose en zonas mojadas.

**Tabla 1.2 Principales hongos toxígenos que contaminan al maíz**

COSECHA	HONGO	MICOTOXINAS
Maíz	<i>Fusarium moniliforme</i> <i>Aspergillus flavus</i> <i>Fusarium graminearum</i>	Fumonisinias, fusarinas Aflatoxinas Dexinivalenol, nivalenol, zearalenona

(ICMSF, 1998)

Cuando los granos se almacenan con niveles de humedad por encima de los recomendados como seguros (para maíz, trigo y soja: 14 %; para girasol: 11 %) (<http://www.cosechaypostcosecha.org>, consultado en abril del 2015), existe alta probabilidad de que se desarrollen, además de los microorganismos aerobios estrictos, algunos anaerobios facultativos como bacterias y levaduras. Incluso algunas especies fúngicas, como *Fusarium oxysporum*, son capaces de cambiar su metabolismo y se adaptan a condiciones de ausencia de O<sub>2</sub> (Taniwaki *et al.*, 2010).

Los hongos son un problema serio en todas las partes del mundo, con una gran posibilidad de crecimiento, provocando alteraciones y en muchos casos micotoxinas, antes de la recolección, durante la desecación y como consecuencia de un almacenamiento inadecuado (ICMSF, 1998). En la Tabla 1.3 se observan diferentes tipos de hongos, actividad de agua requerida y humedad aproximada favorable para su crecimiento.

El grano de maíz contiene grandes cantidades de almidón y proteína, favorable para el crecimiento de microorganismos, pero su escasa humedad, hace que las bacterias sean incapaces de multiplicarse y que los hongos lo hagan de forma muy limitada (Pascual y Calderón, 1999).

**Tabla 1.3 Actividad de agua mínima y contenido de humedad aproximado para el crecimiento de algunos hongos en cereales almacenados**

Hongo	Aw mínima para crecimiento	Contenido de humedad (%)
<i>Eurotium halophilicum</i>	0.68	13.4-14.3
<i>Wallemia sebi</i>	0.69	14.5-15.0
<i>Eurotium rubrum</i>	0.70	15
<i>Aspergillus penicillioides</i>	0.73	15.0-15.5



<i>Aspergillus candidus</i>	0.75	16.5
<i>Aspergillus ochraceus</i>	0.77	17
<i>Aspergillus flavus</i>	0.80	18
<i>Penicillium verrucosum</i>	0.78	17.3

(Christensen y Kaufmann, 1974; 1977<sup>a</sup>; Pitt, 1975; Pitt y Hocking, 1997)

El grano de maíz posee una microbiota particular de bacterias, insectos y hongos que pueden causar daño, entre ellos, el género fúngico *Aspergillus* y sus especies *A. flavus* y *A. parasiticus* producen aflatoxinas que provocan una gran variedad de efectos tóxicos en seres vivos expuestos al grano contaminado. Las condiciones de producción de maíz en climas tropicales y subtropicales, favorecen las infecciones por hongos toxígenos (Martínez-Padrón *et al.*, 2013). Se considera que la principal causa de contaminación son los daños producidos por los insectos en las mazorcas (Lillehoj *et al.*, 1980; Hesseltine *et al.*, 1981).

Así mismo la infesta de plaga trae como consecuencia la pérdida de la calidad del grano tanto para consumo humano como para semilla. En el control de estos, ha sido necesario utilizar en forma intensiva plaguicidas sintéticos lo cual ha derivado inevitablemente en el surgimiento de la resistencia, acumulación en el ambiente e intoxicaciones, por lo tanto, se han desarrollado investigaciones que buscan, compuestos químicos con menos impacto ambiental y potencial para el control de plagas (Silva *et al.*, 2002, Rodríguez, 2000).

En el caso del maíz, la característica fisiológica de las mazorcas, permiten desarrollar protección bajo unas hojas, reduciendo sensiblemente la invasión por hongos presentes en el polvo y el aire. Las principales rutas de entrada de los hongos parecen ser la infección sistémica o los daños provocados por los insectos en las mazorcas durante el crecimiento (ICMSF, 1996).

La presencia de hongos patógenos representa un riesgo a la salud por la posible producción de metabolitos secundarios conocidos como micotoxinas, dañinas al humano y a los animales (Galvano *et al.*, 2005).

Estos metabolitos llegan a los consumidores generalmente por ingestión y algunas veces por inhalación y contacto, muchos de los productos agrícolas, productos animales y productos lácteos son susceptibles a la contaminación de micotoxinas (Mehrotra y Sumbali, 2009). En la tabla 1.4 se muestran algunas micotoxinas y las enfermedades o el daño que producen.

**Tabla 1.4 Micotoxinas y enfermedades ocasionadas**

MICOTOXINA	HONGO	ENFERMEDAD
Aflatoxinas	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> , <i>A. nonius</i>	Cáncer Daño al hígado
Zearalenona	<i>Fusarium graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. moniliforme</i> , <i>F. nivale</i> , <i>F. oxysporum</i> , <i>F. equiseti</i>	Efectos estrogénicos Aborto
Fumonisinias	<i>F. moniliforme</i> , <i>F. proliferatum</i>	Cáncer

(Mehrotra y Sumbali, 2009)

El género de hongo patógeno principal causante de la alteración del maíz es *Fusarium*, siendo las especies más frecuentemente encontradas *Fusarium moniliforme*, *Fusarium graminearum* y *Fusarium subglutinans* (ICMSF, 1998). *Fusarium* es uno de los géneros más importantes de los hongos patógenos de las plantas desde el punto de vista económico, la infección se puede dar desde las semillas que se están desarrollando, la posibilidad que se produzca la toxina en los alimentos es evidente (ICMSF, 1996).

*Fusarium verticillioides* es el principal hongo patógeno que afecta la productividad del maíz en el mundo. Este hongo penetra a la planta por distintas rutas e infecta raíces, tallo y mazorca. Las vías de entrada a la planta se observan en la Figura

1.8, las cuales son: 1. Infección sistémica de plántulas. El hongo sobrevive en la semilla o en el suelo de donde accede a la plántula e infecta las raíces. 2. Infección a través del estigma. Las conidias del hongo son depositadas en el estigma (E) y penetran a través de la parte inferior del canal estilar (CE). C: carpelo, SE: saco embrionario. 3. Infección a través de heridas. El hongo accede al tallo y/o a la mazorca a través de lesiones mecánicas causadas por insectos al alimentarse (De la Torre-Hernández *et al.*, 2014).

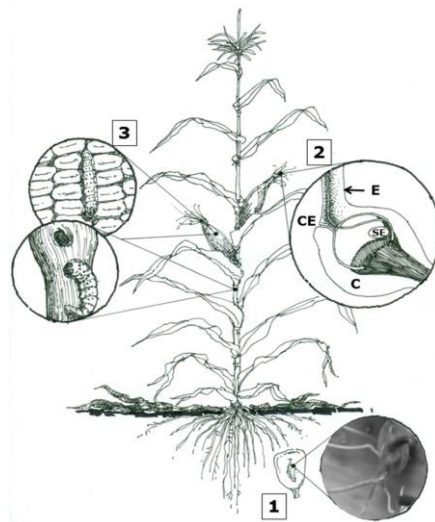


Figura 1.8 Rutas de entrada de *Fusarium verticillioides* (De la Torre-Hernández *et al.*, 2014)

Las fumonisinas son producidas por *Fusarium* spp. En maíz y otros granos, y ciertas enfermedades de humanos y animales son asociados con el consumo de granos y sus productos que contienen altos niveles de estos hongos, la prevalencia de *F. moniliforme* es significativamente frecuente en maíz en donde una alta población padece cáncer de esófago (Jay, 1978).

En la Tabla 1.5 se muestra la ocurrencia de algunas micotoxinas afectando alimentos y principalmente los productos de maíz. Entre las micotoxinas que sintetiza la especie *F. verticillioides*, se encuentran el ácido fusárico, la fusarina C, las naftoquinonas, la moniliformina y las fumonisinas. Estas últimas son las más abundantes (Rabie *et al.*, 1982, Desjardins, 2006).

**Tabla 1.5 Ocurrencia natural de micotoxinas en alimentos procesados, productos de animales y algunos frutos**

<b>Micotoxinas</b>	<b>Productos afectados</b>
Aflatoxinas	Productos de maíz, queso, leche, maíz, arroz, papas
Deoxynivalenol	Cereal, harina de maíz, maíz palomero, jarabe de maíz, almidón
Nivalenol	Harina de maíz, maíz palomero, harina de trigo
Zearalenona	Plátanos, frijoles, hojuelas de maíz, pimiento rojo, nueces

(Mehrotra y Sumbali, 2009)

El pericarpio de maíz está principalmente conformado de fibra y compuestos fenólicos. Entre estos compuestos están los ácidos fenólicos que pueden ser derivados de ácido cinámico, tal como el ácido ferúlico. Gañan *et al.* (2009), reportaron que el ácido ferúlico tiene propiedades inhibitoras en el crecimiento de algunas bacterias y Ferrochio *et al.* (2013) mostraron que a concentraciones mayores o iguales a 20 mM de ácido ferúlico podría ser una estrategia efectiva en post cosecha para el control de crecimiento de *F. verticillioides* y *F. proliferatum*, lo que podría reducir la producción de micotoxinas. Por tanto, los sólidos de nejayote al contener residuos de pericarpio, contienen compuestos fitoquímicos que podrían ser usados como antioxidantes en productos alimenticios y controlar el crecimiento de microorganismos.

El tratamiento alcalino del maíz lleva hacia ventajas nutricionales además de que las micotoxinas pueden ser reducidas si la muestra tuvo infección de hongo (Wrigley y Batey, 2010). El pH influye en la síntesis de fumonisina; hay una marcada producción de toxina en pH ácido (4.5), en contraste con el pH alcalino, mayor a 8 (De la Torre-Hernández *et al.*, 2014).

## **1.7. Evaluación sensorial**

La evaluación sensorial se ocupa de la medición y cuantificación de las características de un producto, ingrediente o modelo, las cuales son percibidas por los sentidos humanos (Pedrero *et al.*, 1989).

La evaluación sensorial de alimentos se ha conducido a lo largo de la historia, comenzando con lo bueno y lo malo de alimentos. Después de la segunda guerra mundial, los científicos desarrollaron pruebas sensoriales formales, estructuradas y metodología codificada, luego se desarrollan nuevos y mejores métodos. Las evaluaciones sensoriales son subjetivas. En la evaluación de un juez (experto o consumidor) intervienen factores subjetivos (hábitos, autosugestión, estímulos, apatía, expectativas) difíciles de controlar. Las pruebas de análisis deben ser convenientemente diseñadas para evitar conclusiones erróneas (Briz y García, 2004).

Las pruebas de evaluación sensorial son usadas para determinar la preferencia de productos finales y juega un papel importante en el desarrollo de nuevos productos. Las pruebas son usualmente realizadas en cabinas equipadas para la evaluación. Las pruebas más usadas son la triangular y la de preferencia.

Los principales usos de la evaluación sensorial de un producto, son control de calidad e investigación. Los atributos sensoriales más usados son apariencia, olor, consistencia y sabor (Serna-Saldívar, 2012).

### **1.7.1 Preparación y codificación**

Se decide la cantidad del producto para ser usada, y se mide por peso o volumen, la muestra debe ofrecerse a la misma temperatura y hay que definir un tiempo

máximo y mínimo para la prueba, posteriormente este producto puede ser usado para la prueba sensorial.

Tomar en cuenta el uso de algunos equipos y procedimientos para la presentación del producto durante la prueba (algunos vasos, platos y utensilios). Tener extremo cuidado en dar la cantidad precisa del producto para cada juez.

Después la muestra es distribuida sirviendo en un contenedor, y justo antes de la prueba, el producto debe ser inspeccionado para determinar si esta tiene la temperatura apropiada (Serna-Saldívar, 2012).

## **1.7.2 Tipos de prueba**

### **1.7.2.1 Prueba sensorial discriminativa**

Las pruebas discriminativas son usadas para determinar si dos muestras (el caso del desarrollo de un producto reciente contra el producto de mercado) son diferentemente perceptibles o suficientemente similares para ser usadas intercambiabilmente.

### **1.7.2.3 Prueba triangular**

La prueba triangular fue diseñada para determinar si existe diferencia perceptible entre dos productos. Este método es particularmente usado para comparar un nuevo producto con el de referencia del mercado o en situaciones en donde el tratamiento y efectos del proceso pueden tener cambios en el producto (sustitución de un aditivo). La prueba está basada en la evaluación de tres muestras codificadas. El panelista es instruido, tendrá dos muestras idénticas y la otra será diferente o impar. Generalmente 20 a 40 panelistas son usados para realizar la prueba triangular. Las tres muestras codificadas son preferiblemente

ofrecidas en áreas divididas, en donde cada panelista puede juzgar independientemente las muestras. El control de la luz puede ser necesario para reducir variables en color. Las tres muestras son usualmente ofrecidas de manera simultánea y los panelistas son cuestionados y examinan una o varias propiedades severas (gusto, color, aroma y textura) en el orden de izquierda a derecha con la opción de volver a atrás para repetir la evaluación. Los panelistas son cuestionados para llenar un formulario o evaluación (Serna-Saldívar, 2012).

#### **1.7.2.4 Prueba Dúo-Trio**

Esta prueba también es usada para comparar dos productos que son similares o tienen una pequeña o sutil diferencia (Serna-Saldívar, 2012).

El objetivo es determinar si existe diferencia sensorialmente perceptible entre dos muestras, comparando tres muestras a la vez, de las cuales dos son iguales entre si y la otra diferente (Pedrero *et al.*, 1989).

#### **1.7.2.5 Prueba de ordenación (Ranking Test)**

Su objetivo es colocar un par o una serie de muestras en orden de menor a mayor de acuerdo con un criterio específico. Este orden de las muestras representa una escala ordinal. El método de ordenación permite presentar al juez un mínimo de dos muestras y se limita por la naturaleza del estímulo, el órgano sensor y/o el nivel de entrenamiento de los jueces. Las muestras se presentan ordenadas codificadas al azar. La preparación de muestra y presentación de las muestras ante los jueces debe realizarse de tal manera que sólo el parámetro en estudio sea variable (Pedrero *et al.*, 1989). La prueba de ordenación compara tres o más muestras y los panelistas son cuestionados por medio de un listado usando un orden relativo. Este método es usado para comparar desde muestras severas hasta atributos sencillos.

### 1.7.2.6 Pruebas afectivas o hedónicas

Las pruebas afectivas de aceptación o hedónicas son la más comúnmente usadas y con más frecuencia para determinar las propiedades sensoriales de los alimentos. Este tipo de pruebas son usadas para desarrollos, mejorando productos, sobretodo optimización especial en términos de nuevos aditivos y evaluar el potencial de los nuevos productos en el mercado. Los cuestionarios de las pruebas afectivas deben ser pequeños, fáciles de entender y siguiendo un contenido claro y un puntaje para cada atributo. El cuestionario debe estar hecho a la medida destinado al número de productos para ser comparados y atributos que se requieran conocer como apariencia, sabor, textura, viscosidad, crujiente, color, dulzor, aroma, etc.

Hay muchas escalas hedónicas, la escala debe ser escogida de acuerdo al tipo de panelista y grado de exactitud. Los 9 puntos de la escala consisten como: me gusta extremadamente, me gusta mucho, me gusta moderadamente, me gusta poco, no me gusta ni me disgusta, me disgusta poco, me disgusta moderadamente, me disgusta mucho y me disgusta extremadamente (Serna-Saldívar, 2012). Su objetivo es localizar el nivel de agrado y desagrado que provoca una muestra específica, la cual debe contar con un indicador medio, a fin de facilitar al juez consumidor la localización de un punto de indiferencia a la muestra, es una prueba sencilla de aplicar y no requiere entrenamiento o experiencia por parte de los jueces consumidores (Pedrero *et al.*, 1989).



## **2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el comportamiento reológico y microbiológico en masas, en conjunto a una evaluación sensorial de tortillas elaboradas a partir de maíz expuesto a diferentes tiempos de irradiación con campos electromagnéticos y nixtamalizado con nejayote.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Analizar el comportamiento reológico de masas provenientes de maíz expuesto a diferentes tiempos de exposición con campos electromagnéticos, y nixtamalizado con nejayote, por medio de parámetros obtenidos de modelos matemáticos de la potencia.
2. Evaluar cambios microbiológicos en masas provenientes de maíz expuesto a diferentes tiempos de exposición de campos electromagnéticos y nixtamalizada con nejayote, mediante pruebas de cultivo.
3. Realizar el análisis sensorial a tortillas obtenidas con maíz expuesto a diferentes tiempos de exposición de campos electromagnéticos y nixtamalizadas con nejayote a partir de pruebas hedónicas.

## 2.1. Caracterización de maíz

El maíz empleado para la experimentación fue un maíz genotipo (M55 x M54), cruza de dos híbridos M54 y M55, el cual fue donado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Chapingo, en el Centro Experimental Valle de México, Estado de México, Cevamex. Las semillas de maíz fueron plantadas durante el ciclo Primavera-Verano de 2013 y cosechado en noviembre del mismo año. En la Figura 2.1 se muestra la mazorca y los granos de maíz.



Figura 3.1 Maíz M55xM54

### 2.1.2. Propiedades físicas de maíz

Las muestras de maíz fueron limpiadas manualmente, removiendo el material extraño, impurezas y granos rotos, pasándolo por cribas de 4.76 mm de diámetro y posteriormente 20 granos de maíz limpio fueron medidos (longitud, diámetro y

espesor) y el diámetro medio geométrico ( $D_g$ ) fue calculado por la Ec. 1, de acuerdo a Vilche *et al.*, (2003):

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

Ec. 1

$D_g$ = Diámetro medio geométrico (mm)       $l$ = Longitud (mm)  
 $d$ = Diámetro (mm)       $t$ = Espesor (mm)

Los granos limpios fueron caracterizados por peso hectolítrico (kg/hl), Figura 2.2 siendo este el contenido de masa en un volumen expresándolo en kilogramos por hectolitro de acuerdo al método 84-10 (AACC, 2000).

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



Figura 2.2 Balanza de peso específico marca OHAUS

El índice de flotación se considera como el número de granos que ascienden a la superficie, estos son contados y registrados. Este método se basa en el principio de que los granos duros son de mayor densidad y por lo tanto tales granos flotan en menor cantidad que los granos de menor densidad en la solución de nitrato de sodio (NMX-FF-034/2-SCF-2002).

La humedad se define como el agua que contiene el maíz, expresada en porcentaje de masa sobre base húmeda, se considera que el contenido de humedad adecuado para permitir el manejo, conservación y almacenamiento de maíz, de acuerdo a la NMX-FF-034/2-SCF-2002 debería ser 15%, y se calculó de acuerdo a la metodología 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 la referencia 925.10 del AOAC (1990).



**Figura 2.3 Determinación de humedad de acuerdo a la metodología de secado**

Se calculó el peso por 1000 g de acuerdo a la metodología reportada por Serna-Saldívar *et al.* (1992).

### **2.3. Radiación de maíz por campos electromagnéticos**

Lotes de 1.0 kg de granos de maíz genotipo M55xM54 fueron colocados en un contenedor y tratados con radiación automatizada, en un equipo solenoide diseñado y construido en IPN-ESIME Zacatenco, controlando el tiempo (0, 7 y 12 min) y la intensidad del campo electromagnético (489 mT).

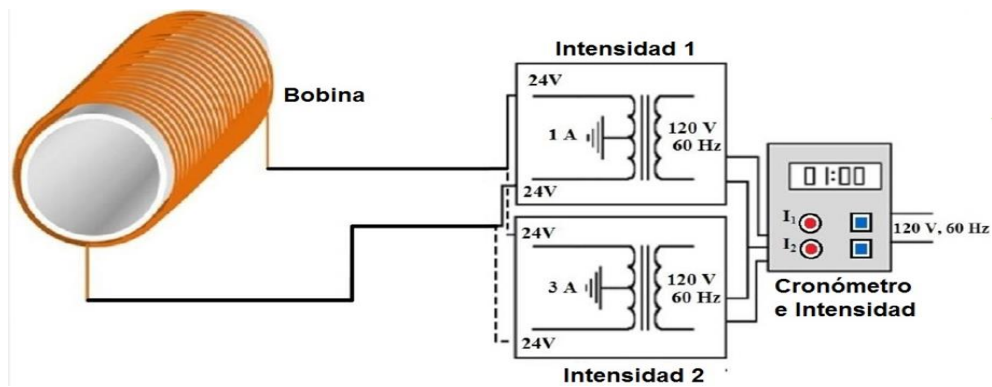


Figura 2.4 Diagrama esquemático del solenoide (Domínguez *et al.*, 2010)

## 2.4. Análisis químicos de maíz

Para determinar la composición de maíz y su efecto al aplicar campos electromagnéticos con tres diferentes niveles de tiempo de irradiación (0, 7 y 12), a las muestras se les realizaron mediciones de proteína, grasa, fibra, almidón, cenizas y aminoácidos en el espectrómetro NIRS Perten DA 7200 (Perten Instruments, Inc., Springfield, IL), basado en el método empleado por Agelet *et al.*, (2012).

## 2.5 Extracción de almidón

La extracción del almidón se realizó porque en estudios previos Han *et al.* (2009), observaron cambios morfológicos en la estructura del almidón cuando se aplicaron campos eléctricos a granos de maíz, lo que afectó el perfil de viscosidad de las suspensiones de almidón. En esta investigación se aplicaron campos electromagnéticos a granos de maíz, lo que modificaría la estructura del almidón, y por lo tanto cambios en las propiedades viscoelásticas de la masa.

La extracción de almidón se realizó por medio de la técnica de aislamiento de pared celular siguiendo el método de Goldberg (1985) con algunas modificaciones.

Veinte gramos de maíz se licuaron junto con 80 ml de solución de sacarosa fría 0.4 M a una velocidad alta de 20000 rpm por 12 min de molido en intervalos de tiempo de 30 s con 23 pausas. Durante cada pausa con duración de 5 min la muestra se enfrió con hielo por debajo de 4 °C, el material vegetal molido fue transferido a frascos de centrífuga de 200 mL y centrifugado por 15 min a 700 g y 0°. El sobrenadante se separó y el sedimento se re-suspendió con sacarosa 0.6 M y fue centrifugado nuevamente, la re-suspensión del sedimento y su centrifugación fue repetida con sacarosa a 1.0 M.

El sedimento se filtró con una pequeña cantidad de sacarosa al 1.0 M sobre una serie de tamices de nylon con un tamaño de malla de 405 y 250  $\mu\text{m}$ , y posteriormente se centrifugó, una vez terminada esta operación, la parte blanca se separó con una espátula. Y finalmente se vació en cajas Petri y se secó durante 24 h a 50 °C.



**Figura 2.5 Extracción de almidón**

La morfología de los granos de maíz y gránulos de almidón fueron analizados usando un microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM-6010LA), como se muestra en la Figura 2.6. Un grano de maíz partido por la parte central fue montado en un porta objetos de aluminio con cinta magnética de carbón. El almidón molido y tamizado fue dispersado en un porta muestra de bronce con tapa de carbón. Las muestras fueron cubiertas con oro usando un evaporador Dentun Vaccum Desk V. El análisis fue realizado usando el equipo a condiciones de 20 kV de voltaje. La morfología de los gránulos de almidón se realizó a las muestras de almidón control y a las muestras irradiadas a 7 y 12 min.

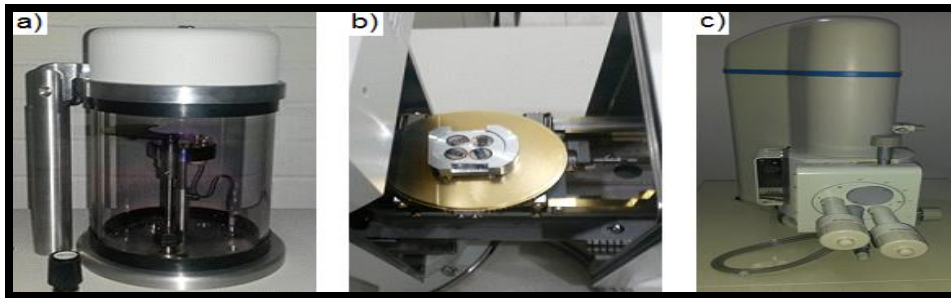


Figura 2.6 Microscopía a) Evaporador b) Montaje en el equipo  
d) Microscopio electrónico de barrido

## 2.7. Preparación de masas y tortillas

Un diseño de experimentos factorial de dos factores con tres niveles de variación (3 x 3) y tres réplicas fue aplicado, realizando 9 diferentes tratamientos con un total de 27 pruebas experimentales. El factor concentración de nejayote con tres niveles fueron, masa control (MC) de nixtamalización tradicional, masa obtenida de maíz nixtamalizado con nejayote diluido N1 (50 mL agua/50 mL nejayote) y masa obtenida de maíz nixtamalizado con nejayote diluido N2 (50 mL agua/30 mL nejayote). El factor tiempo de exposición de maíz con ondas electromagnéticas fue 0, 7 y 12 min. En la tabla 2.1 se muestra el diseño de experimentos realizados.

Tabla 2.1 Diseño de experimentos

Tiempo (min) / % Concentración en volumen	0	7	12
MC	MC-0	MC-7	MC-12
N1	N1-0	N1-7	N1-12
N2	N2-0	N2-7	N2-12

En la Figura 2.7 se muestra el diagrama de proceso de nixtamalización de los diferentes tratamientos. Los granos de maíz control (MC) fueron preparados por cocción de 500 g en una solución de 1500 mL de agua al 1% de hidróxido de calcio (Fermont, Monterrey N. L. México). Las muestras de maíz fueron cocidas a 90°C por 40 min y el tiempo de reposo fue de 12 h. El nejayote fue separado y las muestras nixtamalizadas (nixtamal) fueron lavadas con 750 mL de agua y molidas una vez en un molino manual de discos (Nixtamatic, Edo. Mex., México).

El nixtamal molido fue secado a 50 °C por 24 h y posteriormente molturado en un molino de martillos Pulvex 200 y tamizados en una malla de 0.8 mm. La harina de maíz obtenida fue envasada y almacenada a temperatura ambiente. Posteriormente, se hidrató la harina hasta alcanzar una humedad de 54 % y obtener la masa. Se formaron discos usando una máquina manual de tortillas de 20 g y fueron cocidos en un comal (220 °C) por 30 s de cada lado hasta completar otros 20 s en ambos lados.

Para nixtamalizar 500 g de maíz en los tratamientos N1 y N2, se utilizó el nejayote obtenido de la muestra control. En N1 se mezclaron 750 mL de nejayote con 750 mL de agua, mientras que para N2 se mezclaron 1050 mL de agua con 450 mL de nejayote. El procedimiento fue el mismo que para la masa control. Los maíces irradiados con 7 y 12 min se nixtamalizaron siguiendo el mismo proceso (ver Figura 2.7).



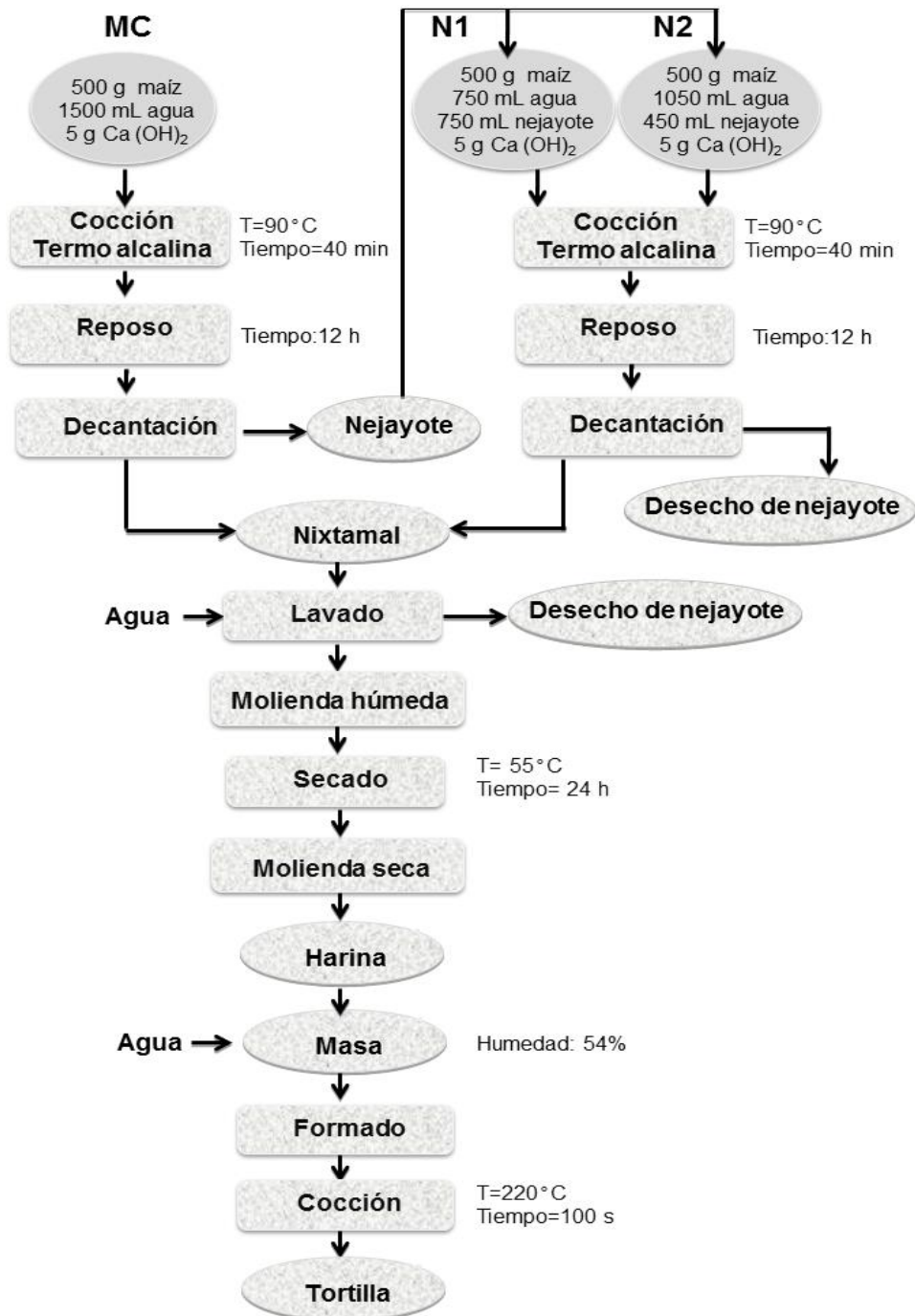


Figura 2.7 Diagrama de proceso para obtención de tortillas

## **2.7. Análisis microbiológicos**

### **2.7.1 Maíz**

El método empleado para identificar el número 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. Los granos se sembraron bajo condiciones de asepsia en una campana de flujo laminar (VECO ®) y se introdujeron a 25°C en una incubadora (Precision scientific Inc.) por 5 días. Posteriormente se cuantificó el número de colonias de hongos.

### **2.7.2 Masas**

Los análisis microbiológicos de las masas fueron realizados basados en la NOM-111-SSA1-1994, usando el método de dilución en series para identificar mohos, levaduras, bacterias coliformes y mesófilos totales. La dilución  $10^{-1}$  fue obtenida de la siguiente forma: 10 g de cada muestra de masa fue asépticamente mezclada en una licuadora (Waring ®) con 90 mL de 0.1 % de agua peptonada estéril, por 30 s. Posteriormente, 1 mL de esta mezcla fue transferida en un tubo de ensaye con agua peptonada estéril (0.1%) con la finalidad de obtener la dilución  $10^{-2}$ . El método fue aplicado hasta obtener la dilución  $10^{-4}$ . 1 mL de cada dilución fue transferida asépticamente a cajas de Petri en dos medios de cultivo: PDA y MEA, ambos adicionados con tergitol. Las cajas de Petri fueron incubadas a 25 °C por 48 h para bacterias y para mohos y levaduras 5 días. Las colonias fueron contadas y el número promedio de colonias por plato fue multiplicado por el factor de dilución para obtener el número de colonias por gramo en la muestra original.

## 2.8. Propiedades viscoelásticas de la masa

Los módulos viscoelásticos de las masas obtenidas con la harina fueron determinados por pruebas oscilatorias dinámicas en un equipo TA Instruments Rheometer, modelo RT 20 Haake (New Castle, USA) equipado con un sistema de placas paralelo. El dispositivo empleado para realizar la prueba fue una placa rugosa de 35 mm. Una porción de cada muestra fue colocada entre las dos placas y se aplicó una capa fina de aceite a las caras expuestas de la muestra para prevenir pérdida de humedad. La masa fue estabilizada por 15 min como lo propuso Magaña *et al.* (2009).

Las pruebas de barrido de esfuerzo dinámico fueron realizadas para determinar la región de viscoelasticidad lineal (LVR) (0 a 100 Pa a 25°C), con la finalidad de que todas las pruebas oscilatorias se realizaran dentro de esta región y no tener variaciones en los módulos viscoelásticos ( $G'$  y  $G''$ ). El módulo de almacenamiento o elástico ( $G'$ ) y módulo de pérdida o viscoso ( $G''$ ) fueron evaluados durante el barrido de frecuencia con incrementos de 0.1 a 10 Hz. Todas las mediciones se realizaron por triplicado.



Figura 2.8 Reómetro RT 20 Haake

### 2.8.1 Modelos de la potencia

Los datos de barridos de frecuencia del módulo de elasticidad fueron ajustados al modelo de la potencia, como lo describieron Ronda *et al.* (2011) y Valderrama-Bravo *et al.* (2016). Los ajustes fueron realizados en el rango de frecuencias de 0.1 a 10 Hz según el modelo de la ecuación 2.1.

$$G' = G_0' f^a \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde, el exponente “a” cuantifica el grado de dependencia del módulo  $G'$  (módulo elástico) con la frecuencia oscilatoria “f,” expresada en Hz.

### 2.9. Análisis sensorial

Se realizaron pruebas de evaluación sensorial hedónicas estructuradas de tortillas (ver Figura 2.9). La prueba fue conducida con una tortilla a base de una masa control y tortillas producidas a partir de maíz irradiado y adicionado con nejayote. Treinta panelistas estudiantes de la carrera de Ingeniería en Alimentos de la FES-Cuautitlán del cuarto semestre degustaron en el Laboratorio Experimental Multidisciplinario I (LEM I). El cuestionario que se aplicó se muestra en la Tabla 2.2. Los estudiantes fueron dando simultáneamente una respuesta de 9 muestras codificadas llenando un formato e indicando las preferencias en textura, sabor, color, entre otras, de un total de 6 puntos: me gusta extremadamente, me gusta mucho, me gusta moderadamente, me gusta poco, no me gusta ni me disgusta, me disgusta poco, me disgusta moderadamente, me disgusta mucho y me disgusta extremadamente (Serna-Saldívar, 2012).



Figura 2.9 Análisis Sensorial

Los resultados de las pruebas hedónicas fueron analizados obteniendo el promedio de los resultados y graficados radialmente, llevado acabo de acuerdo a la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2 Formato otorgado a los participantes para evaluar las muestras**  
**Calificación de cada atributo**

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

CÓDIGO								
	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA	ESPESOR	RESISTENCIA A LA RUPTURA	MASTICABILIDAD	ATRIBUTOS EN GENERAL
095								
326								
824								
415								
189								
545								
008								
161								
628								

### 2.10. Análisis estadísticos

El software Minitab® Statistical versión 16 (Minitab Inc., State College PA, USA) fue usado para analizar los datos. Se aplicó ANOVA a una probabilidad  $p < 0.05$  y análisis de medias de Tukey. En el análisis de composición química, el análisis

estadístico fue para un factor (tiempo de irradiación). Para el módulo elástico ( $G'$ ) y el exponente ( $a$ ), el análisis estadístico aplicado fue para dos factores (tiempo de irradiación y concentración de nejayote) con la finalidad de determinar la diferencia significativa de los efectos principales y la interacción de factores.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Caracterización de la materia prima

La caracterización del maíz se realizó para determinar que los parámetros de calidad cumplan con la norma NMX-FF-034/2-SCFI-(2002), así mismo para establecer el tiempo de cocción del maíz. En la Tabla 3.1 se muestran los resultados de la caracterización física del maíz genotipo M55 x M54.

**Tabla 3.1 Caracterización física de maíz M55 x M54**

<b>Característica</b>	<b>Medida</b>	<b>Parámetro de referencia</b>
Diámetro de mazorca (mm)	52.30 ± 3.58	
Longitud de mazorca (mm)	155.00 ± 4.10	
Dg granos (mm)	8.39 ± 0.24	
Humedad (%)	12.89 ± 1.24	15%
Peso hectolítrico (kg/hL)	75.75 ± 0.35	>74
Índice de flotación (%)	28 ± 2.03	DUROS
Peso de 1000 granos (g)	362.67 ± 8.09	
Rendimiento de masa (%)	62.88 ± 3.56	

Los resultados mostrados en la Tabla 3.1 con base a la caracterización física de maíz arrojaron un 12.89 %  $\pm$ 1.24 en el contenido de humedad indicando que el maíz utilizado se encuentra en los parámetros de referencia de acuerdo a la NMX-FF-034/2-SCFI-(2002), permitiendo ser almacenado, conservado y posteriormente procesado. Así mismo resultó tener una dureza permitida estableciéndose de acuerdo a la tabla como granos duros, siendo este el principal factor a considerar al momento de definir el tiempo de nixtamalización que se dará al grano, de acuerdo a que, con base a dicha norma esta indirectamente relacionada con la dureza del grano por medio del índice de flotación y la cantidad de agua absorbida por el maíz, de acuerdo a la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2 Tiempo de cocción correspondiente con base a los granos flotantes y su dureza**

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

### **3.2. Composición química del maíz**

En la Tabla 3.3 se observa la composición química del maíz genotipo M55 x M54 irradiado a diferentes tiempos y se observan diferentes variaciones significativas en la composición nutricional del maíz expuesto a diferentes tiempos de irradiación 0, 7 y 12 min.

**Tabla 3.3 Composición química de maíz irradiado con campos electromagnéticos**

	<b>0 min</b>	<b>7 min</b>	<b>12 min</b>
	(%)	(%)	(%)
<b>Proteína</b>	12.38 <sup>b</sup> ± 0.04	13.05 <sup>a</sup> ± 0.90	13.50 <sup>a</sup> ± 0.78
<b>Grasa</b>	6.75 <sup>a</sup> ± 0.72	6.76 <sup>a</sup> ± 0.68	6.37 <sup>a</sup> ± 1.03
<b>Fibra</b>	2.77 <sup>a</sup> ± 0.04	2.55 <sup>ab</sup> ± 0.34	2.46 <sup>b</sup> ± 0.30
<b>Almidón</b>	77.88 <sup>b</sup> ± 2.32	81.61 <sup>a</sup> ± 1.76	81.78 <sup>a</sup> ± 3.05
<b>Cenizas</b>	2.22 <sup>b</sup> ± 0.08	2.31 <sup>a</sup> ± 0.05	2.29 <sup>a</sup> ± 0.06
<b>Arginina</b>	0.79 <sup>a</sup> ± 0.001	0.77 <sup>b</sup> ± 0.01	0.74 <sup>c</sup> ± 0.01
<b>Cisteína</b>	0.25 <sup>a</sup> ± 0.04	0.24 <sup>a</sup> ± 0.04	0.24 <sup>a</sup> ± 0.04
<b>Isoleucina</b>	0.44 <sup>c</sup> ± 0.07	0.49 <sup>b</sup> ± 0.03	0.51 <sup>a</sup> ± 0.03
<b>Leucina</b>	2.03 <sup>c</sup> ± 0.01	2.09 <sup>b</sup> ± 0.01	2.13 <sup>a</sup> ± 0.01
<b>Lisina</b>	0.35 <sup>a</sup> ± 0.01	0.33 <sup>a</sup> ± 0.02	0.31 <sup>a</sup> ± 0.03
<b>Metionina</b>	0.31 <sup>a</sup> ± 0.02	0.29 <sup>a</sup> ± 0.01	0.27 <sup>a</sup> ± 0.01
<b>Treonina</b>	0.39 <sup>b</sup> ± 0.01	0.41 <sup>ab</sup> ± 0.01	0.42 <sup>a</sup> ± 0.01
<b>Triptófano</b>	0.02 <sup>a</sup> ± 0.01	0.02 <sup>a</sup> ± 0.02	0.02 <sup>a</sup> ± 0.03
<b>Valina</b>	0.82 <sup>a</sup> ± 0.02	0.83 <sup>a</sup> ± 0.01	0.83 <sup>a</sup> ± 0.02

El promedio de valores con diferentes letras entre columnas es significativamente diferente con un valor  $p < 0.05$ .

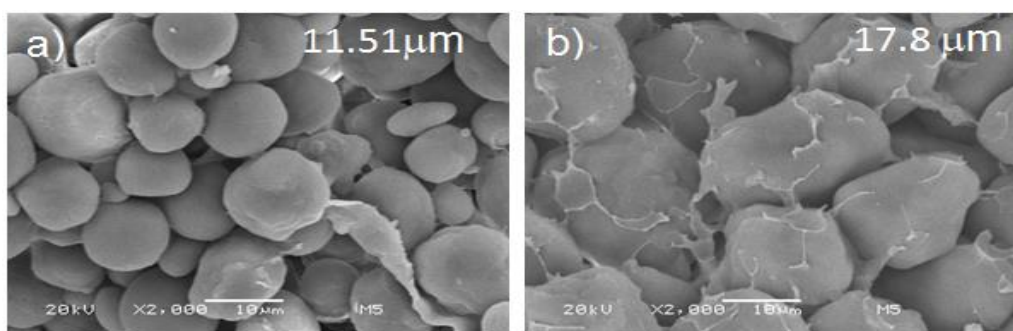
Las concentraciones de almidón y proteína muestran un aumento significativo en su composición con respecto al maíz a los 0 min. Leucina e isoleucina, dos aminoácidos esenciales, presentan un aumento significativo conforme el maíz fue expuesto a un mayor tiempo de radiación, en cambio la arginina tuvo ligera pérdida, el triptófano no tuvo variación, y la mayoría de los componentes tuvieron cambios en su composición, esto concuerda con investigaciones previas que indican que cuando el campo electromagnético modifica fisiológica y bioquímicamente el grano, cambia su valor nutricional (Cwintal *et al.*, 2010; Pietruszewski, 2007; Sujak *et al.*, 2009).



### 3.3. Microscopia electrónica de barrido

#### 3.3.1 Granos de maíz

En la Figura 3.1 se muestra la micrografía del maíz y en la que se observa la región suave (harinoso) y la región dura (vítrea) del maíz genotipo M55xM54, la sección vítrea muestra los gránulos con un diámetro mayor y con pérdida de forma con respecto al suave. Narváez-González *et al.* (2007) estudiaron diferentes variedades de maíz y demuestran que los gránulos de almidón mayores a 12  $\mu\text{m}$  presentan alta viscosidad y retrogradación, además de gelatinizar más rápidamente, teniendo mayor pico de viscosidad, de tal forma una textura dura correspondió a gránulos con diámetros menores a 12  $\mu\text{m}$  en su endospermo suave y gránulos con diámetros mayores de 12  $\mu\text{m}$  en el endospermo duro. El diámetro promedio del gránulo en la microscopía del almidón de maíz genotipo M55xM54 correspondería a la clasificación de granos duros.

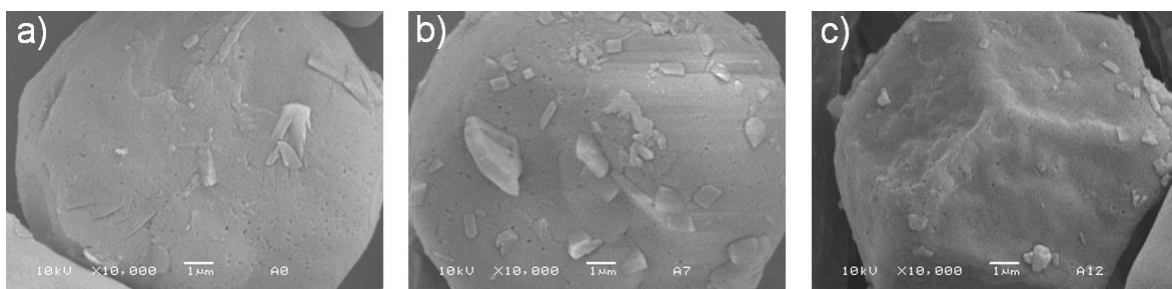


**Figura 4.1 Imagen de SEM a 2000x del grano de maíz genotipo M55 x M54**  
a) Endospermo harinoso b) Endospermo vítreo

#### 3.3.2 Almidón irradiado

En la Figura 3.2 se muestran imágenes de SEM de gránulos de almidón irradiado, conforme aumenta el tiempo de exposición, este va cambiando su estructura, a 7 min de radiación, se exhibe un almidón con forma lisa y redonda, su forma es similar al almidón sin tratamiento con campos electromagnéticos, a 12 min el

gránulo muestra una forma poligonal, según Guzmán *et al.*, 2009, indicaron que cuando el almidón tiene esa forma aun no sufre gelatinización. Las imágenes de la Figura 3.2 nos indican que después de la aplicación de campos electromagnéticos está existiendo una alteración al cambiar su forma.



**Figura 3.2 Imagen de SEM a 10000x de almidón de maíz genotipo M55xM54**  
**a) Sin irradiar b) Irradiado 7 min c) Irradiado 12 min**

Ponne y Bartels (1995) mencionan que la radiación electromagnética puede ser prevista como un quantum<sup>1</sup> discreto que es absorbido por el material y la ruta en la cual la energía electromagnética interactúa con un objeto depende principalmente de la distribución del campo eléctrico (CE) dentro del material; consecuentemente, las estructuras de materiales biológicos, como por ejemplo puentes de hidrógeno, pueden ser afectados a una baja intensidad de CE. En los alimentos y macromoléculas como el almidón existen diferentes estados energéticos en los que se distribuye el agua porque se encuentra como agua libre, que es la más fácil de eliminar, y el agua ligada que está unida por medio de puentes de hidrógeno formados entre los hidroxilos libres del almidón y el agua. Gabriel *et al.* (1989) reportaron que a bajas frecuencias de CE podría presentarse una deposición de energía preferencial en el agua ligada. Por lo tanto, al aplicar CE al maíz, la estructura del almidón se modifica, como se observó en la Figura 3.2 lo que se supone podría tener efectos en los productos obtenidos con maíz irradiado.

---

<sup>1</sup> Un quantum, es un fenómeno microscópico donde una partícula puede penetrar y en muchos casos pasar a través de una barrera potencial.

### 3.4 Análisis microbiológicos

#### 3.4.1 Maíz

En la Figura 3.3 se muestran los resultados de microorganismos presentes en el grano de maíz M55xM54.

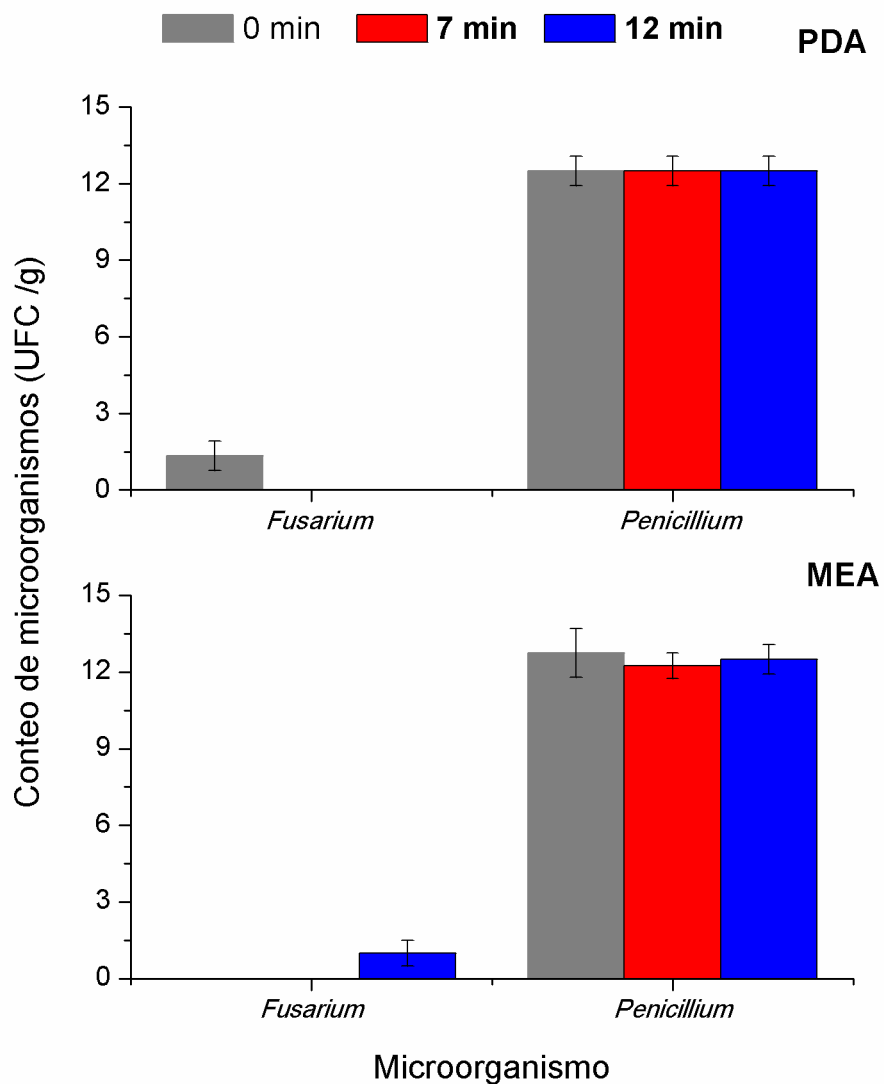


Figura 3.3 Conteo de microorganismos del maíz M55xM54 sin irradiar e irradiado a 7 y 12 min para los medios de cultivo PDA y MEA

La presencia de *Fusarium* y *Penicillium*, dos géneros de hongos y su crecimiento, es frecuente en esta gramínea como se sostuvo teóricamente en la investigación previa. *Penicillium* tiene crecimiento antes y después del tratamiento con campos electromagnéticos, se presenta en el rango de 13 UFC/ g en medio PDA y entre 11 y 12 UFC/g en medio MEA. *Fusarium* se observa en < 2 UFC/g en medio PDA en el maíz control, y a 12 min en medio MEA de igual manera < 2 UFC/g. De acuerdo a su comportamiento, los campos electromagnéticos no detuvieron el crecimiento de *Penicillium* toda vez que después del tratamiento no hubo variación significativa. El comportamiento a esto pudo deberse a que se requieren mayores tiempos de irradiación, sin embargo, el enfoque en este estudio no fue disminuir o inhibir el crecimiento de microorganismos en el grano de maíz.

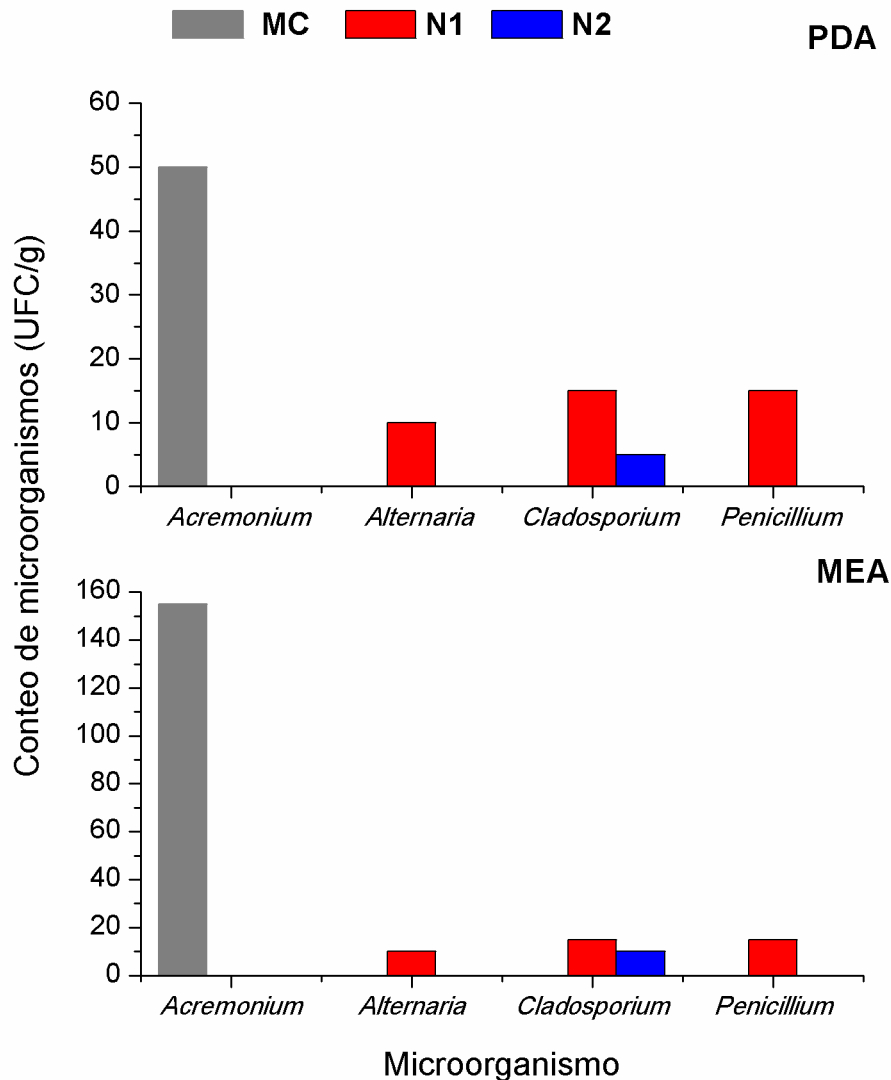
### 3.4.2 Masas

En la Figura 3.4 se muestran los resultados de microorganismos presentes en masas provenientes de maíz M55xM54 sin irradiar nixtamalizado con agua y nejayote N1 y N2, teniendo como resultados una variedad de microorganismos. Se desarrollaron hongos que previamente no se habían encontrado en el maíz, al agregar agua y nejayote. De acuerdo a los microorganismos presentes en el maíz fue relativamente escaso su crecimiento, pero una vez que se hizo la masa se pueden crear condiciones de actividad acuosa favorables para el crecimiento de bacterias, hongos y levaduras. En las masas no hay presencia de *Fusarium*, como en el grano del maíz (ver Figura 3.3), dado que la nixtamalización reduce presencia de *Fusarium* en masas y tortillas de 50 a 80 % (Dombrik-Kurtzman *et al.*, 2000, Palencia *et al.*, 2003, Voss *et al.*, 2001).

También puede observarse que en la masa se desarrollaron hongos que anteriormente no habían crecido; en la masa control hay presencia de *Acremonium*, con el uso de nejayote no se observa su crecimiento, para N1 hay presencia de algunos hongos tales como *Alternaria*, *Cladosporium* y *Penicillium*, para N2 en donde el uso de nejayote es menor solo se encontró un menor

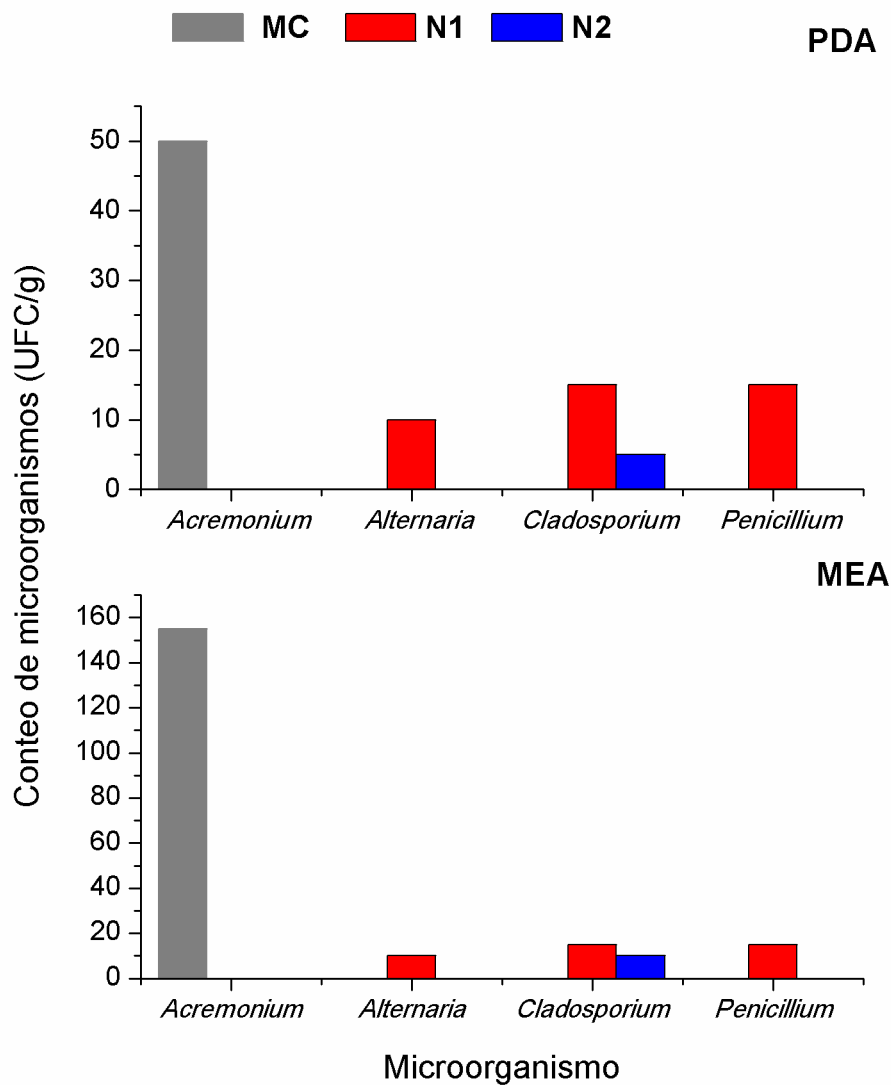
desarrollo de *Cladosporium*, esto en medio de cultivo PDA. Para el cultivo MEA predomina la misma relación de hongos, aunque con un conteo de *Acremonium* más significativo para MC, los otros hongos tuvieron un conteo menor sembrados en este medio. Cuando el maíz se nixtamaliza a diferentes niveles de concentración de nejayote *Acremonium* no se desarrolló, a su vez se generaron otros hongos como *Alternaria* y *Cladosporium*. Moreno y Ocampo (1988) y Simmons (2007) mencionan que la especie el género *Alternaria* es muy común en cereales, como agentes activos sus especies demeritan el valor comercial de la producción y distribución de alimentos; y como agentes pasivos, algunas de sus especies son fuertemente alergénicas y otras se les considera toxígenos, ya que pueden producir ácido tenuazónico y alternarioles, entre otros; para Moreno y Ocampo (1988) *Cladosporium* es un hongo de campo, y su capacidad toxígena no ha sido claramente definida. La especie *Acremonium* también es un hongo de campo, produce crotocina, metabolito secundario del grupo de los tricotecenos. Sin embargo, Pitt y Hocking reportan que este género no produce toxinas en alimentos (2009).

Wicklow (2005) demuestra con estudios químicos que el extracto orgánico proveniente de la fermentación de maíz con *Acremonium zeae* muestran actividad antimicótica hacia *Aspergillus flavus* y *Fusarium verticillioides* a partir de sus pirrocidinas aisladas principalmente de *A. zeae*. Sin embargo, aunque limita el crecimiento de otros hongos, *Acremonium* también es tóxico y su presencia si podría afectar la calidad física de la masa y acelerar el proceso de fermentación y como consecuencia la descomposición de la misma, sin embargo, el resultado obtenido está por debajo del límite establecido en la norma. Valderrama-Bravo et al. (2016), reportaron aumento de la vida útil de masas obtenidas de maíz nixtamalizado con nejayote.



**Figura 3.4** Conteo de microorganismos de masa proveniente de maíz M55xM54 sin irradiar para los medios cultivos PDA y MEA

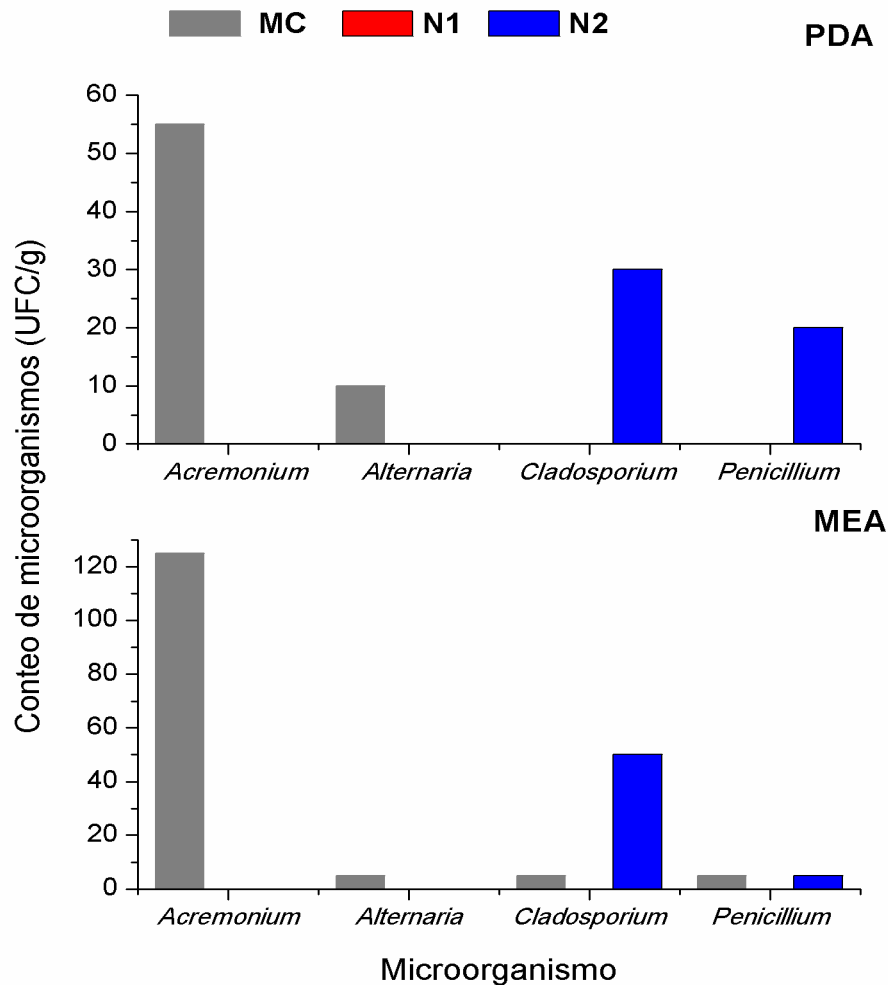
En la Figura 3.5 se muestran los resultados de microorganismos presentes en masas provenientes de maíz M55xM54 irradiado a 7 min y nixtamalizado con agua (MC) y nejayote N1 y N2. El tratamiento con ondas electromagnéticas no mostró mejora para la disminución de distintos hongos ya antes encontrados, no hubo variación significativa que pudiera deducir que la frecuencia de estos disminuyera con el tiempo de 7 min. Por lo tanto, a este tiempo e irradiación no hubo efecto en el crecimiento de microorganismos.



**Figura 3.5** Conteo de microorganismos de masa proveniente de maíz M55xM54 irradiado a 7 min para los medios de cultivo PDA Y MEA

En la Figura 3.6 se muestran los resultados de microorganismos presentes en masas provenientes de maíz M55xM54 irradiado a 12 min y nixtamalizado con agua (MC) y nejayote N1 y N2. Como se puede observar en el gráfico, la presencia del género *Alternaria* es menor, prevaleciendo el género *Penicillium* e incrementando el de *Cladosporium* para nejayote N1, pero en nejayote N2 no se manifestó presencia de mohos. En el caso de MC proliferaron los géneros

*Acremonium*, *Alternaria* y *Cladosporium* a los 12 minutos de tiempo de irradiación. Entonces los cambios estructurales que se presentaron en el almidón de maíz irradiado a 12 min (ver Figura 3.2c) presentó un efecto benéfico al mejorar la calidad sanitaria de la masa obtenida de maíz nixtamalizado con nejayote N2.



**Figura 3.6** Conteo de microorganismos de masa proveniente de maíz M55xM54 irradiado a 12 min para los medios PDA y MEA

Con respecto a la NOM-187-SSA1/SCFI-2002, las especificaciones microbiológicas señalan que el límite máximo de coliformes totales en masa no debe rebasar 2000 UFC/g y para productos NOM-247-SSA1-2008 indica que no debe pasar 10000 UFC/G en mesofílicos aerobios, menor o igual a 300 UFC/g en hongos y menos de 30 UFC en coliformes totales. En nuestra investigación no



hay presencia de mesofílicos aerobios, coliformes y el crecimiento de los hongos fue menor a 2000 UFC/g.

### 3.5 Módulos viscoelásticos

El esfuerzo en la zona de viscoelasticidad lineal fue de 60 Pa y fue el que se aplicó en las determinaciones de los barridos de frecuencia. En la Figura 3.7 se muestran los resultados de los módulos de elasticidad ( $G'$ ) y viscoso ( $G''$ ) respecto a la frecuencia.

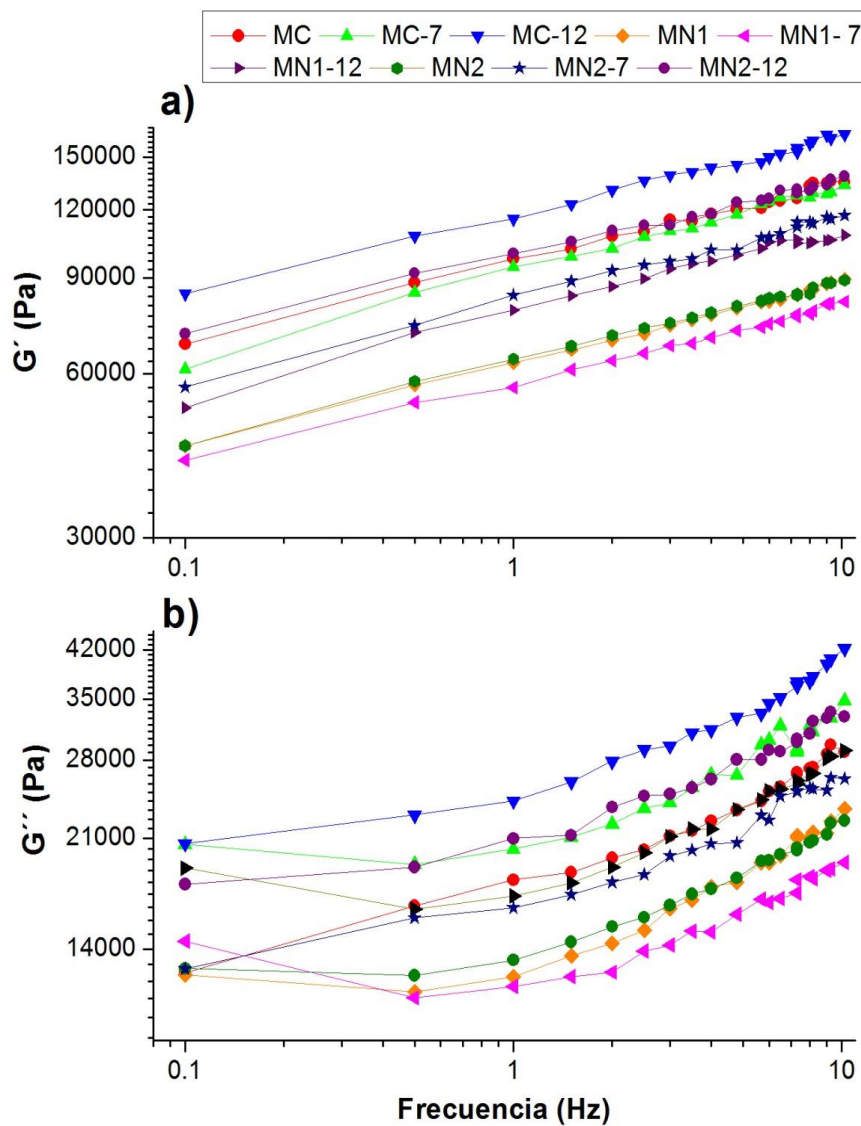


Figura 3.7 Módulos elástico ( $G'$ ) y viscoso ( $G''$ ) de masas provenientes de maíz nixtamalizado con nejayote e irradiado con campos electromagnéticos

En la Figura 3.7 se observa que en todas las masas predominó el comportamiento elástico siendo  $G' > G''$ .

La masa MC-12 mostró los mayores valores de  $G'$  y  $G''$ , mientras que las masas MN1, MN2 y MN1-7 los menores valores. Los resultados indican que la aplicación de campos electromagnéticos y nixtamalizar con maíz el nejayote, tienen efecto en los módulos viscoelásticos. Zepeda *et al.* (2011) expusieron maíces híbridos a 15 min en campos electromagnéticos (CEM) y demostraron aumento en la fuerza y elongación de la tortilla, parámetro determinante en la roabilidad y calidad sensorial de la tortilla (Herrera *et al.*, 2007). Por el contrario, el efecto de nixtamalizar con nejayote el maíz (MN1 y MN2) disminuyeron los módulos elásticos de las masas en comparación a la MC. Durante el proceso de nixtamalización se lleva a cabo una cocción termo-alcalina que causa hidrólisis de la pared celular del pericarpio. Al respecto, Gutiérrez-Uribe *et al.* (2010), reportaron que parte de los arabinosilanos quedan en el líquido de cocción (nejayote) y en consecuencia el ácido ferúlico, el cual se presenta en mayor contenido en el nejayote. Por su parte Niño-Medina, *et al.*, 2009, reportaron que la presencia de los arabinosilanos y contenido de ácido ferúlico influye en el comportamiento de la formación de geles, ya que como se había mencionado los arabinosilanos son polisacáridos no almidonosos que se encuentran en la capa de aleurona y en el pericarpio formando entrecruzamientos covalentes y físicos con otros constituyentes de la pared celular, lo que da como resultado una estructura insoluble en agua, que puede ser extraída en solución alcalina. Algunos residuos de arabinosa se encuentran unidos covalentemente por un enlace éster con el ácido ferúlico (Smith y Hartley, 1983), el cual es importante porque puede reticular cadenas de polisacáridos para formar dehidrodímero y dehidrotrímero de ácido ferúlico, que son relevantes en el proceso de gelificación de los arabinosilanos (Berlanga-Reyes, *et al.*, 2011; Niño-Medina, *et al.*, 2009). Posteriormente, Ayala-Soto *et al.* (2014), obtuvieron arabinosilanos de diferentes fibras de maíz y los geles de arabinosilanos formados por fibras obtenidas de nejayote tuvieron la estructura más débil, mostrando valores del módulo elástico  $G'$  más bajo;

mientras que las fibras obtenidas de maíz blanco fueron los valores de  $G'$  más altos. Este hecho lo atribuyen a que en la fibra obtenida de nejayote se obtuvo el porcentaje más alto de ácido ferúlico y el más bajo de dehidrotrimero de ácido ferúlico por el proceso de hidrólisis que se lleva a cabo durante la nixtamalización. En este estudio no se evaluó el contenido de ácido ferúlico ni de dehidrotrimero de ácido ferúlico, pero suponemos que la relación entre estos dos compuestos pudo influir en el comportamiento de los valores de  $G'$  de N1 y N2, ya que fueron los más bajos. Este hecho contrapone con los resultados obtenidos por Valderrama-Bravo *et al.* (2015), quienes encontraron valores más altos del módulo elástico al nixtamalizar el maíz con nejayote. Al respecto Izydorczyk y Biliaderis, 2007, mencionan que la cantidad de arabinosilanos ferulados y ácido ferúlico puede variar dependiendo del genotipo del grano, así como por los factores ambientales y los estados de madurez. El estudio en este caso fue con un genotipo de maíz cruza de dos líneas endogámicas M55 x M54 con características diferentes al grano de maíz usado por Valderrama-Bravo *et al.* (2015). Además, estos autores obtuvieron las masas control y las obtenidas con maíz nixtamalizadas con nejayote y adicionadas con sólidos de nejayote por molienda húmeda y en la investigación se obtuvo el nixtamal, el cual fue secado y molido, una vez obtenida la harina se procedió a obtener la masa. Durante la molienda húmeda el nixtamal es molido por tres o cuatro veces, lo cual influye en la gelatinización del almidón y probablemente en la de los arabinosilanos, lo cual pudo originar que los módulos elásticos de las masas se incrementaron. Este supuesto es soportado con la investigación de Ayala-Soto *et al.*, 2014, quienes obtuvieron arabinosilanos de fibras de maíz por molienda húmeda y los resultados mostraron que en la fibra de maíz obtenida por molienda húmeda se obtuvo mayor rendimiento de geles de arabinosilanos y se formó una estructura de gel más elástica, con mayor rigidez.

También en la Figura 3.7, se observa que el módulo elástico ( $G'$ ) sigue la tendencia de un modelo de la potencia porque en la gráfica log-log se observa un comportamiento lineal, mientras que en el módulo viscoso ( $G''$ ) la tendencia es

diferente, por lo que sólo se obtuvieron los parámetros de los datos del módulo elástico, basado en el modelo de la ecuación 2.2 ( $G' = Go'f^a$ ).

Los resultados de  $Go'$  (parámetro que establece el módulo elástico a la frecuencia inicial) y “a” (exponente que indica la dependencia del módulo con la frecuencia) obtenidos del ajuste de datos al modelo de la potencia se muestran en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4 Parámetros del comportamiento elástico de las masas**

<b>Tratamiento</b>	<b><math>Go'</math> (Pa)</b>	<b>a</b>
MC	96326 <sup>bc</sup> ± 6411	0.1461 <sup>a</sup> ± 0.0062
MC-7	89368 <sup>bc</sup> ± 9257	0.1622 <sup>a</sup> ± 0.0066
MC-12	117279 <sup>a</sup> ± 7148	0.1443 <sup>a</sup> ± 0.0047
MN1	62601 <sup>de</sup> ± 1233	0.1499 <sup>a</sup> ± 0.0048
MN1-7	57648 <sup>e</sup> ± 3427	0.1440 <sup>a</sup> ± 0.0057
MN1-12	77527 <sup>cd</sup> ± 1923	0.1532 <sup>a</sup> ± 0.0019
MN2	63277 <sup>de</sup> ± 1596	0.1472 <sup>a</sup> ± 0.0055
MN2-7	81986 <sup>cd</sup> ± 638	0.1548 <sup>a</sup> ± 0.0010
MN2-12	98976 <sup>ab</sup> ± 7042	0.1396 <sup>a</sup> ± 0.0021

Valores de promedio ± desviación estándar seguidos de letras diferentes en cada renglón, indicando diferencia significativa ( $p < 0.05$ )

Los resultados de la Tabla 3.4 indican diferencia significativa en el parámetro  $Go'$ , para las diferentes masas. Es evidente que la aplicación de campos electromagnéticos modifica la estructura molecular del grano de maíz. Aladjadjiyan *et al.* (2002) determinaron que al aplicar CE a materiales biológicos ocurren alteraciones moleculares en donde existe una difusión de iones cambiando sus trayectorias. En nuestro caso el grano de maíz expuesto al mayor tiempo de CEM modificó la estructura del almidón, como fue observada en la Figura 3.2 donde se muestra la imagen del almidón cambiando su estructura a mayor tiempo de exposición de los campos electromagnéticos y como

consecuencia los parámetros reológicos de la masa mostraron cambios significativos. Con respecto a nixtamalizar con nejayote el maíz no mostró diferencia significativa entre N1 y N2, sin embargo, las masas que se obtuvieron de maíz nixtamalizado con nejayote e irradiado con CE (MN1-7, MN1-12, MN2-7 y MN2-12) mostraron diferencias significativas.

Respecto al parámetro “a” no hay diferencia significativa y los bajos valores del exponente podrían indicar una mínima dependencia con la frecuencia lo cual se asume una estructura estable en la masa.

### 3.6 Análisis sensorial

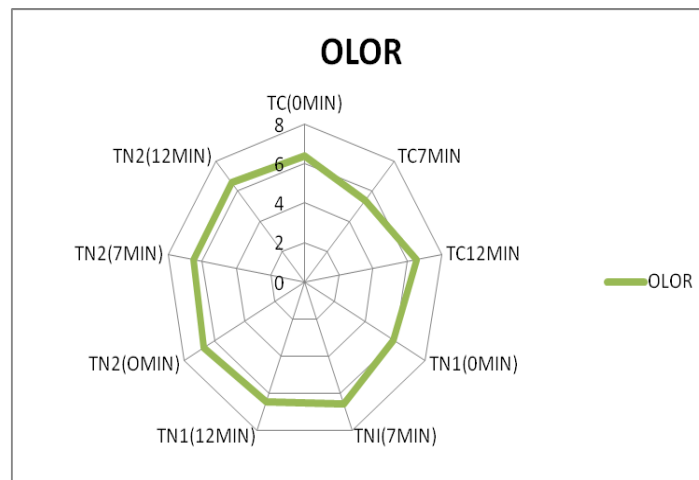
En la Tabla 3.5 se muestran las claves que se utilizaron en los gráficos radiales.

**Tabla 3.5 Claves de las tortillas analizadas sensorialmente**

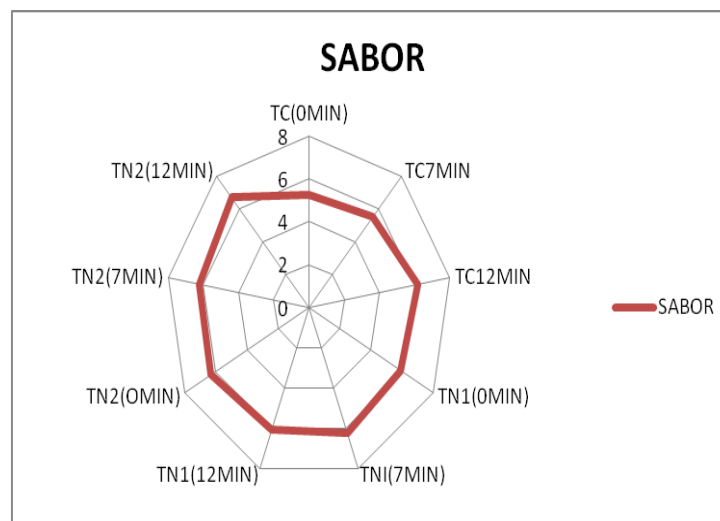
<b>TC0</b>	Tortilla control de maíz sin irradiar y sin adición de nejayote
<b>TN10</b>	Tortillas sin maíz irradiado y con adición de nejayote en un 50%
<b>TN20</b>	Tortillas sin maíz irradiado y con adición de nejayote en un 30%
<b>TC7</b>	Tortilla control, a base de maíz irradiado por 7 min
<b>TN17</b>	Tortilla a base de maíz irradiado por 7 min y con adición de nejayote en un 50%
<b>TN27</b>	Tortilla a base de maíz irradiado por 7 min y con adición de nejayote en un 30%
<b>TC12</b>	Tortilla control, a base de maíz irradiado por 12 min
<b>TN112</b>	Tortilla a base de maíz irradiado por 12 min y con adición de nejayote en un 50%
<b>TN212</b>	Tortilla a base de maíz irradiado por 12 min y con adición de nejayote en un 30%

En la Figura 3.8 se muestran los resultados de olor a partir de un gráfico radial en el que se puede deducir que para TC (12 min) los panelistas muestran agrado a la

tortilla que fue tratada con campos electromagnéticos, al igual que para TN1 (7min) la cual fue obtenida de maíz nixtamalizado con nejayote y fue tratada con campos electromagnéticos. Así mismo TN2 (0 min) fue del agrado olfativo.



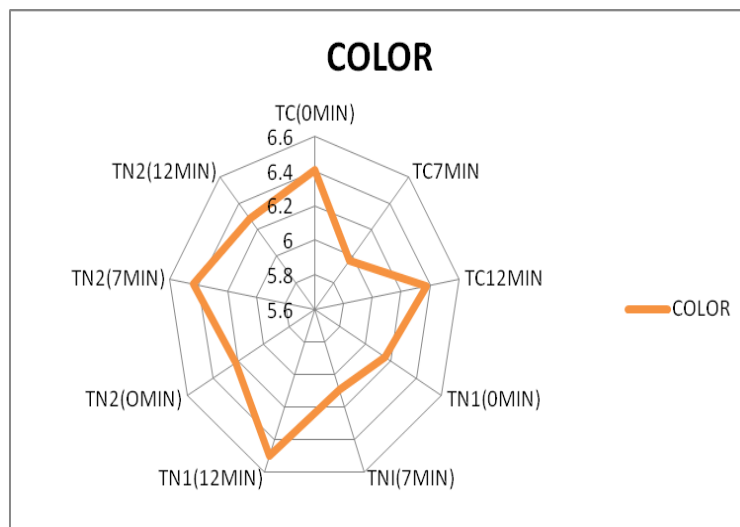
**Figura 3.8 Gráfico radial correspondiente a la evaluación de olor en tortillas elaboradas con maíz nixtamalizado con nejayote e irradiado con campos electromagnéticos**



**Figura 3.9 Gráfico radial correspondiente a la evaluación de sabor en tortillas elaboradas con maíz nixtamalizado con nejayote e irradiado con campos electromagnéticos**

En la Figura 3.9 correspondiente a la evaluación de sabor existió una diferencia significativa entre la muestra control TC (0 min) sin ningún tratamiento previo y TN2 (12 min) proveniente de maíz tratado por la combinación de campos

electromagnéticos y nixtamalización con nejayote. De acuerdo con lo que concluyen Zepeda *et al.* (2010), esta técnica puede modificar la calidad física del grano y consecuentemente la calidad de acuerdo a la intensidad y el tiempo de irradiación. Los resultados obtenidos de esta evaluación demostraron un nivel de agrado para las muestras tratadas con campos electromagnéticos y adicionados con nejayote. TN1 (0 min) y TN2 (0 min) que son provenientes de maíz nixtamalizado con diferentes concentraciones de nejayote y sin irradiación mostraron agrado sensorial al mismo nivel, y para las muestras expuestas a 7 y 12 min, sin adición de nejayote su nivel de agrado fue mayor de acuerdo a como aumentó su tiempo de exposición.

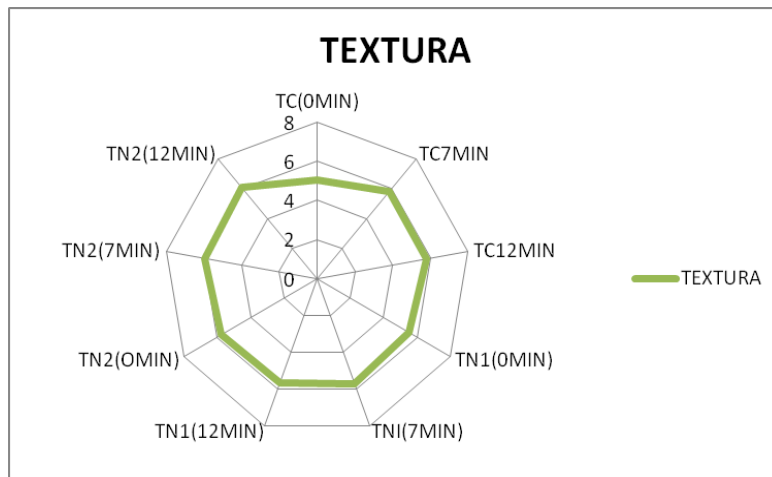


**Figura 3.10 Gráfico radial correspondiente a la evaluación de color en tortillas elaboradas con maíz nixtamalizado con nejayote e irradiado con campos electromagnéticos**

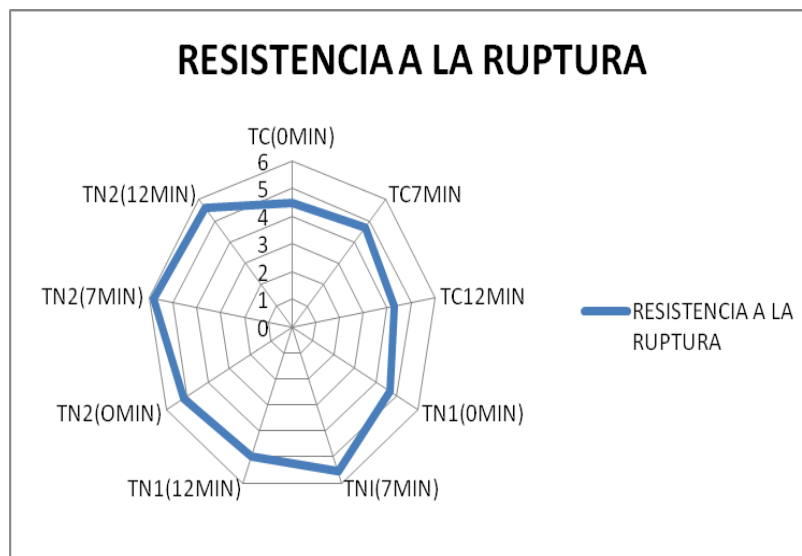
En la Figura 3.10 se muestra un gráfico radial evaluando el color, el cual arroja datos de la preferencia de los panelistas hacia TN1 (12 min) en comparación a la tortilla control proveniente de maíz sin exposición a campos electromagnéticos TC (0 min).

En la Figura 3.11 se muestra un gráfico radial evaluando la textura de las tortillas, el agrado de los panelistas fue hacia TN2 (7 min) y TN2 (12 min), muestras

provenientes de maíz expuesto a campos electromagnéticos y nixtamalizado con nejayote al 30%.



**Figura 3.11** Gráfico radial correspondiente a la evaluación de textura en tortillas elaboradas con maíz nixtamalizado con nejayote e irradiado con campos electromagnéticos



**Figura 3.12** Gráfico radial correspondiente a la evaluación de resistencia a la ruptura en tortillas elaboradas con maíz nixtamalizado con nejayote e irradiado con campos electromagnéticos

En la Figura 3.12 se presenta un gráfico radial con tendencias de preferencia a muestras que fueron tratadas con campos electromagnéticos y nixtamalización con nejayote como es el caso de TN2 (12 min) o TN1 (7 min).



## CONCLUSIONES

La combinación de campos electromagnéticos en el maíz y el uso de nejayote en el proceso de nixtamalización condujeron a cambios físicos, químicos y nutricionales en las tortillas, arrojando perfiles de calidad de mejora para el consumidor, los cuales fueron sustentados por gráficos radiales que expresan el agrado de los panelistas.

Algunos de los cambios significativos con el tratamiento de campos electromagnéticos son el incremento en el contenido de algunos aminoácidos, así como de almidón, al compararlo con el maíz control.

Para las pruebas microbiológicas, el tratamiento con campos electromagnéticos no mostró efecto alguno sobre el control de microorganismos. A su vez proliferaron algunos hongos de los géneros *Acremonium*, *Alternaria* y *Cladosporium*, para el caso del maíz nixtamalizado con nejayote, se muestra una reducción en la presencia del hongo *Fusarium*.

En el comportamiento reológico, el impacto de los campos electromagnéticos condujo a masas con mayor módulo de elasticidad y el uso del nejayote trajo como resultado, masas con menor módulo con respecto a la masa control. Estas, al presentar un comportamiento menos sólido, adquirieron más suavidad lo que se demostró agrado en las pruebas organolépticas y sensoriales de las tortillas.

La producción de maíz en nuestro país es insuficiente, por lo que el grano de maíz genotipo M55 x M54 tratado con campos electromagnéticos es una alternativa como materia prima para el proceso de nixtamalización, ya que se mejora el producto terminado, además reusar el nejayote como agua en el proceso reduce la contaminación y su uso trae beneficios de algunas propiedades funcionales en el producto.

## BIBLIOGRAFÍA

- AACC. (2000). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. Method 84-10 and 10th ed. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.
- AOAC. (1990). Official Methods of Analysis, 15th ed. Official Method 925.10: Association of Official Analytical Chemists, Maryland, USA.
- Acosta-Estrada, B., Lazo-Vélez, M., Nava-Valdez, Y., Gutiérrez-Uribe, J. and Serna-Saldívar, S. (2014). Improvement of dietary fiber, ferulic acid and calcium contents in pan bread enriched with nejayote food additive from white maize (*Zea mays*). *Journal of Cereal Science*, 60(1), 264-269.
- Aladjadjyan, A. (2002). Study of the Influence of Magnetic Field on Some Biological Characteristics of *Zea mays*. *Journal of Central European Agriculture*, Volume 3. No. 2, 89-94.
- Adom, K. and Liu, R. (2002). Antioxidant Activity of Grains. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 50(21), 6182-6187.
- Agelet, L. E., Ellis, D. D., Duvick, S., Goggi, A. S., Hurburgh, C. R., and Gardner, C. A. (2012). Feasibility of near infrared spectroscopy for analyzing corn kernel damage and viability of soybean and corn kernels. *Journal of Cereal Science*, 55(2), 160-165.
- Ayala-Soto, F., Serna-Saldívar, S., Pérez-Carrillo, E. and García-Lara, S. (2014). Relationship between hydroxycinnamic profile with gelation capacity and rheological properties of arabinoxylans extracted from different maize fiber sources. *Food Hydrocolloides*, 39, 280-285.
- Badui Dergal, S. (2013). *Química de los alimentos*, 5ª ed., Pearson. México. pp. 187-203.

- Barnes, H.A., Hutton, J. F., Walters, K. (1989). An introduction to rheology. Elsevier. Amsterdam. pp. 51-54.
- Berlanga-Reyes, C. M., Carvajal-Millán, E., Lizardi-Mendoza., Islas-Rubio, A., Rascón-Chu, A. (2011). Enzymatic cross-linking of alkali extracted arabinoxylans: gel rheological and structural characteristics. *International Journal of Molecular Sciences*, 12, 5853-5861.
- Borwankar, R., Frye, L., Blaurock, A. and Sasevich, F. (1992). Rheological characterization of melting of margarines and tablespreads. *Journal of Food Engineering*, 16(1-2), 55-74.
- Briz Escribano, J. and García Faure, R. (2004). Análisis sensorial de productos alimentarios. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Broekaert, W., Courtin, C., Verbeke, K., Van de Wiele, T., Verstraete, W. and Delcour, J. (2011). Prebiotic and Other Health-Related Effects of Cereal-Derived Arabinoxylans, Arabinoxylan-Oligosaccharides, and Xylooligosaccharides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(2), 178-194.
- Christensen, C. and Kaufmann, H. (1974). Microflora. In: C. M. Christensen, ed., *Storage of cereal grains and their products*. St. Paul, American Association of Cereal Chemists, 158-192.
- Christensen, C. and Kaufmann, H. (1977). Spoilage, heating, binburning and fireburning: Their nature, cause and prevention in grain. *Feedstuffs*, Oct.:39, 47.
- Cukelj, N., Novotni, D., and Curié, D. (2010). Antioxidant properties of whole grain cereals. *Croatian Journal of Technology, Biotechnology and Nutrition*, 5, 18-23.
- Cwintal M., Dziwulska-Hunek A. and Wilczek M., (2010). Laser stimulation effect of seeds on quality of alfalfa. *International Agrophysics*, vol. 24, No.1, 15-19.

- Damen, B., Pollet, A., Dornez, E., Broekaert, W., Haesendonck, I., Trogh, I., Arnaut, F., Delcour, J. and Courtin, C. (2012). Xylanase-mediated in situ production of arabinoxylan oligosaccharides with prebiotic potential in whole meal breads and breads enriched with arabinoxylan rich materials. *Food Chemistry*, 131(1), 111-118.
- Del Pozo-Insfran, D., Brenes, C., Serna Saldivar, S. and Talcott, S. (2006). Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. *Food Research International*, 39(6), 696-703.
- De la Torre-Hernández, M.E., Sánchez-Rangel, D., Galeana-Sánchez, E. y Plasencia-de la Parra, J. (2014). Fumonisin –Síntesis y función en la interacción *Fusarium verticillioides*-maíz. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 17(1), 77-91.
- Desjardins, A.E. (2006). *Fusarium* mycotoxins: chemistry, genetics and biology. American Phytopathological Society, St. Paul, MN. pp. 145-220.
- Domínguez, P., Hernández, A., Cruz, A., Carballo, C., Zepeda, B. and Martínez, O. (2010). Influence of the electromagnetic field in maize seed vigor. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(2):183-188.
- Dombrink-Kurtzman, M., Dvorak, T., Barron, M., and Rooney, L. (2000). Effect of nixtamalization (alkaline cooking) on fumonisin-contaminated corn for production of masa and tortillas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48(11), 5781–5786.
- Fernández-Muñoz, J., Rojas-Molina, I., González-Dávalos, M., Leal, M., Valtierra, M., Martín-Martínez, E. and Rodríguez, M. (2004). Study of Calcium Ion Diffusion in Components of Maize Kernels During Traditional Nixtamalization Process. *Cereal Chemistry*, 81(1), 65-69.

- Ferrochio, L., Cendoya, E., Farnochi, M., Massad, W. and Ramirez, M. (2013). Evaluation of ability of ferulic acid to control growth and fumonisin production of *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum* on maize based media. *International Journal of Food Microbiology*, 167(2), 215-220.
- Ferry, J. (1980). *Viscoelastic properties of polymers*. 3<sup>rd</sup> ed. New York: Wiley y Sons. pp 20-94.
- Gabriel, C., Grant, E., Tata, R., Brown, P., Gestblom, B. and Noreland, E. (1989). Dielectric behavior of aqueous solutions of plasmid DNA at microwave frequencies. *Biophysical Journal*, 55(1), 29-34.
- Galland, P. and Pazur, A. (2005). Magnetoreception in plants. *International Journal of Plant Research* 118,371-389.
- Galvano, F. and Ritieni, A. (2005) Mycotoxins in the Human Food Chain. In: Diez, D., Ed., *Mycotoxin Blue Book*, Nottingham University Press, Nottingham, 187.
- Gañan, M., Martínez-Rodríguez, A. and Carrascosa, A. (2009). Antimicrobial activity of phenolic compounds of wine against *Campylobacter jejuni*. *Food Control*, 20(8), 739-742.
- García-Rejón, A. (1981). Introducción a la reología de los polímeros. *Plastinoticias* Septiembre, 37-54.
- Gargallo, J. (2001). Corn Tortilla Consumption in Mexico. AACC Annual Meeting. The American Association of Cereal Chemists, Charlotte, North Carolina.
- Goldberg, R. (1985). Cell-wall isolation, general growth aspects, in: linkens, H.F., Jackson, J. F, (Eds.), *Modern methods of plant analysis: cell components*, New series, vol. 1. Springer-verlag, Berlin. pp. 1-30.

- Gómez, M.H., Rooney, L.W., Waniska, R.D., and Pflugfelder, R.L. (1987). Dry corn masa flours for tortilla and snack production. *Cereal Foods World* 32, 372.
- Goodwin, J. and Hughes, R. (2000). *Rheology for Chemists: An Introduction* Royal Society of Chemistry. Cambridge, UK.
- Gutiérrez-Cortéz, E., Rojas-Molina, I., Pons-Hernández, J., Guzmán, H., Aguas-Ángel, B., Arenas, J., Fernández, P., Palacios-Fonseca, A., Herrera, G. and Rodríguez, M. (2007). Study of calcium ion diffusion in nixtamalized quality protein maize as a function of cooking temperature. *Cereal Chemistry* 84, 186–194.
- Gutiérrez-Uribe, J., Rojas –García, C., García Lara, S. and Serna-Saldívar, S. (2010). Phytochemical analysis of wastewater (nejayote) obtained after lime-cooking of different types of maize processed into masa for tortillas. *Journal of Cereal Science* 52, 410-416.
- Guzmán, A. Q., Flores, M. E. J., Escobedo, R. M., Guerrero, L. C., and Feria, J. S. (2009). Changes on the structure, consistency, physicochemical and viscoelastic properties of corn (*Zea mays* sp.) under different nixtamalization conditions. *Carbohydrate Polymers*, 78(4), 908-916.
- Guzmán, A. Q., Flores, M. E. J., Feria, J. S., Montealvo, M. G. M., & Wang, Y. J. (2011). Rheological and thermal properties of masa as related to changes in corn protein during nixtamalization. *Journal of cereal science*, 53(1), 139-147.
- Han, Z., Zeng, X. A., Zhang, B. S., and Yu, S. J. (2009). Effects of pulsed electric fields (PEF) treatment on the properties of corn starch. *Journal of Food Engineering*, 93(3), 318-323.
- Heldman, D. (2011). *Food Preservation Process Design*. Academic Press, USA. pp. 122-125.

- Hernández-Espinoza, A., Piñón-Muñiz, M., Rascón-Chu, A., Santana Rodríguez, V. and Carvajal-Millán, E. (2012). Lycopene/arabinoxylan gels: Rheological and controlled release characteristics. *Molecules* 17, 2428-2436.
- Herrera, C., Saidu, E., Khachatryan, J., Prinyawiwatkul, W., Carballo, C. and Zepeda B. (2007). Identifying drivers for consumer acceptance and purchase intent of corn tortilla. *Journal of Food Science* 72(9), 727-731.
- <http://www.cosechaypostcosecha.org>, consultado en Abril del 2015
- Hesseltine, C., Rogers, R. and Shotwell, O. (1981). Aflatoxin and mold flora in North Carolina in 1977 corn crop. *Mycologia*, 73, 216-228.
- ICMSF (International Commission Microbiological Specifications for food). (1996). *Microbiología de los alimentos. Vol. 5. Característico de los patógenos microbianos*. Acribia, España. pp. 445-446.
- ICMSF (International Commission Microbiological Specifications for food). (1998). *Microbiología de los Alimentos. Vol. 6. Ecología microbiana de los productos alimentarios*. Acribia, España. pp. 293-325.
- Izydorczyk, M. S., Biliaderis, C.G. (2007) Arabinoxylans: Technologically and nutritionally functional plant polysaccharides. *In: Functional Food Carbohydrates*. C G Biliaderis, M S Izydorczyk (eds). CRC Press, Boca Raton, FL, USA. pp: 249-290.
- Jay, J. (1978). *Modern Food Microbiology*. Van Nostrand. USA.
- Keangin, P., Vafai, K., and Rattanadecho, P. (2013). Electromagnetic field effects on biological materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 65, 389-399.

- Koper, R., Wójcik, S., Kornas-Czuczwar, B. and Bojarska, U. (1996). Effect of the laser exposure of seeds on the yield and chemical composition of sugar beet root. *International Agrophysics*, 10, 103-108.
- Lillehoj, E., Kwolek, W., Homer, E., Widstrom, N., Josephson, L., Franz, A. and Catalano, E. (1980). Aflatoxin contamination of preharvest corn: role of *Aspergillus flavus* inoculum and insect damage. *Cereal Chemistry*. 57, 225-257.
- Liu, R. (2007). Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science* 46, 207-219.
- Magaña, B., Ramírez, W., Platt, L., López, A., Torres, P. and Sánchez, M. (2009). Caracterización viscoelástica de masas de variedades de trigos suaves. *Tecnología Ciencia Educación (Instituto Mexicano de Ingenieros Químico)* 24 (1), 12-22.
- Martínez- Bustos, F., Martínez-Flores, H., Sanmartín-Martínez, E., Sánchez-Sinencio, F., Chang, Y., Barrera-Arellano, D. and Rios, E. (2001). Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalization process. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 1455-1462.
- Martínez Padrón, Hadassa Yuef; Hernández Delgado, Sanjuana; Reyes Méndez, César Augusto; Vázquez Carrillo, Gricelda. (2013). El Género *Aspergillus* y sus Micotoxinas en Maíz en México: Problemática y Perspectivas *Revista Mexicana de Fitopatología*, vol. 31, núm. 2, pp. 126-146 Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C. Texcoco, México.
- Mehrotra, R. and Sumbali, G. (2009). *Principles of Microbiology*. 1ed. Mc Graw Hill. New Delhi. pp. 640-661.



- Méndez-Montalvo, G., García, S., Paredes-López, O. and Bello-Pérez, L. (2007). Effect of nixtamalization on morphological and rheological characteristics of maize starch. *Journal of Food Science* 48, 420–425.
- Mondragón, M., Mendoza-Martínez, A., Bello-Pérez, L. and Peña, J. (2006). Viscoelastic behavior of nixtamalized maize starch gels. *Carbohydrate Polymers* 65, 314–320.
- Martínez, E. M., y Ocampo, C. B. (1988). Manual para la identificación de hongos en granos y sus derivados. UNAM.
- Narváez-González, E., Figueroa Cárdenas, J., Taba, S., Castaño Tostado, E. y Martínez Peniche, R. (2007). Efecto del Tamaño del Gránulo de Almidón de Maíz en sus Propiedades Térmicas y de Pastificado. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 30 (3): 269 – 277.
- Niño-Medina, G., Carvajal-Millan, E., Lizardi, J., Rascon-Chu, A., Marquez-Escalante, J. y Gardea, A. (2009). Maize processing waste water arabinoxylans: gelling capability and cross-linking content. *Food Chemistry*, 115, 1286-1290.
- NMX-FF-034/2-SCFI-(2002). Productos Alimenticios del maíz. Norma Mexicana. Secretaria de Fomento Industrial. Dirección de Normas. pp. 1-33.
- NOM-111-SSA1-(1994). Método para cuenta de mohos y levaduras en alimentos. Secretaría de Salud. Dirección de Normas. pp. 1-6.
- 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. Secretaria de Salud. Dirección de Normas. pp. 1-29.

- NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba. Secretaría de salud. Dirección de Normas. pp. 1-117.
- Palencia, E., Torres, O., Hagler, W. and Meredith, F. (2003). Total fumonisins are reduced in tortillas using the traditional nixtamalization method of Mayan communities. *Journal of Nutrition* 133, 3200–3203.
- Paliwal, R. L, Granados, G., Lafitte, H. R and Violic, A. D., and Marathée, J. P (2001). El Maíz en los trópicos: mejoramiento y producción (No 28). FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. pp. 1-81.
- Parajó, J., Garrote, G., Cruz, J., and Domínguez, H. (2004). Production of xylooligosaccharides by autohydrolysis of lignocellulosic materials. *Trends in Food Science and Technology* 15, 115-120.
- Parra, C., Serna, S. and Hai, R. (2007). Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55, 4177-4183.
- Pascual, A., and Calderón, V. (1999). *Microbiología Alimentaria. Metodología analítica para alimentos y bebidas*. 2a ed. Diaz de Santos. España. pp. 315-319.
- Pedrero, D. and Pangborn, R. (1989). *Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos anáiticos*. Ed. Alambra. México. pp. 103-107.
- Pietruszewski, S., Muszynski, S., and Dziwulska, A. (2007). Electromagnetic fields and electromagnetic radiation as non-invasive external simulants for seeds (selected methods and responses). *International Agrophysics* 21(1), 95.

Pinho Ferreira G., and Dos Reis Correia P. (2014). Engineering aspects of cereal and cereal-based products. 1a ed. CRC Press. U. S. pp. 271-305.

Pflugfelder, R., Rooney, L., and Waniska, R. (1988). Dry matter losses in commercial corn masa production. *Cereal Chemistry*, 65, 127–132.

Pitt, J. (1975). Xerophilic fungi and the spoilage of foods of plant origin. In *Water Relations of Foods*. Edited by R. B. Duckworth. London: Academic Press. pp. 273-307

Pitt, J. and Hocking, A. (1997). *Fungi and food spoilage*. UK. London: Blackie Academic & Professional; p. 593.

Ponne, C. and Bartels, V. (1995). Interaction of Electromagnetic Energy with Biological Material--Relation to Food Processing. *International Journal for Radiation Physics and Chemistry*. Vol. 45, No. 4, pp. 591-607.

Rabie, C. J., Marasas, W. F. O., Thiel, P. G., Lübben, A., and Vleggaar, R. (1982). Moniliformin production and toxicity of different *Fusarium* species from Southern Africa. *Applied and environmental microbiology*, 43(3), 517-521.

Rao, M. A. (1992). Measurement of viscoelastic properties of fluid and semisolid foods, in *viscoelastic properties of foods*, ed. M. A. Rao and J. F. Steffe, pp. 207-232. Elsevier Applied science publishers, New York.

Rao, M. A. (1999). *Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications*, Aspen Publishers, New York. pp. 105-108.

Rao, M. and Steffe, J. (1992). *Viscoelastic properties of foods*. Elsevier, USA. Rice flour gel. *Cereal Chemistry*. 84, pp. 620-625.

Reuters. (2011).” Datos-hechos relacionados con cultivos de maíz y azúcar en México”. Disponible en <http://mx.reuters.com/article/topNews/idMXN1E75L1W620110622?pageNumber=2&virtualBrndChannel=0>.

Rodríguez, M., Yañez-Limón, J., Alvarado-Gil, J., Sánchez-Sinencio, F., Figueroa, F., Martínez, B., González-Hernández, J., Silva, M. and Miranda, L. (1996). Influence of the structural during alkaline cooking on the terminal, rheological, and dielectric properties of maize tortillas. *Cereal Chemistry* 73 (5), 593–600.

Rodríguez, H.C. (2000). Plantas contra plagas: potencial práctico de ajo, anona, nim, chile y tabaco. Texcoco, México: Red de acción sobre plaguicidas y alternativas en México (RAPAM). 133p.

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-García, C., García-Lara, S., Serna-Saldívar, S. and Gutiérrez-Urbe, J. (2012). Chemopreventive effects of free and bound phenolics associated to steep waters (nejayote) obtained after nixtamalization of different maize types. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67, 94-99.

Rojas-Molina, I., Gutiérrez, E., Rojas, A., Cortés-Álvarez, M., Campos-Solís, L., Hernández-Urbiola, M. and 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), 516–521.

Ronda, F., Oliete, B., Gomez, M., Caballero, P. and Pando, V. (2011). Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering* 102, 272-277.

- Rose, D. and Inglett, G. (2010). Production of feruloylated arabinoxylo-oligosaccharides from maize (*Zea mays*) bran by microwave-assisted autohydrolysis. *Food Chemistry*, 119, 1613-1618.
- Saeed, F., Pasha, I., Anjum, F. and Sultan, M. (2011). Arabinoxylans and arabinogalactans: a comprehensive treatise. *Journal of Food Science and Nutrition*, 51, 467-476.
- Salinas, M., Martínez, B. and Gomez, H. (1992). Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea mays* L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 42, 59-63.
- Salmerón-Alcocer, A., Rodríguez-Mendoza, N., Pineda-Santiago, S., Cristiani-Urbina, E., Juárez -Ramírez, C., Ruiz-Ordaz, N. and Galindez-Mayer, J. (2003). Aerobic treatment of maize processing wastewater (nejayote) in a single stream multi stage reactor. *Journal of Environmental Engineering and Science* 2, 401-406.
- Serna-Saldívar, S., Rooney, L. and Greene, L. (1992). Effects of lime treatment on the bioavailability of calcium in diets of tortillas and beans: bone and plasma composition in rats. *Cereal Chemistry* 69 (1), 78-81.
- Serna- Saldívar, S. (2012). *Cereal Grains Laboratory Reference and Procedures Manual*. CRC Press, USA pp. 98-105.
- Silva, G., Lagunes, A., Rodríguez, J., Rodríguez, D. (2002). Insecticidas vegetales: una vieja y nueva alternativa para el manejo de plagas. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, v.66, p. 4-12.
- Simmons, E. (2007). *Alternaria, An Identification Manual*. Utrecht: CBS Fungal Biodiversity Centre, 775 p. ISBN 978-90-70351-68-7. [http://dx. doi. org/10.1016/j. mycres. 2008.06. 012](http://dx.doi.org/10.1016/j.mycres.2008.06.012).
- Smalley, J., and Blake, M. (2003). Sweet beginnings. *Current Anthropology*, 44(5), 675-703.

- Smith, M. M., Hartley, R, D. (1983) Occurrence and nature of ferulic acid substitution of cell-wall polysaccharides in graminaceous plants. *Carbohydrates Research*, 118, 65-80.
- Sujak, A., Dziwulska-Hunek, A. and Kornarzyński, K. (2009). Compositional and nutritional values of amaranth seeds after pre-sowing He-Ne laser light and alternating magnetic field treatment. *International Agrophysics* 23, 81-86.
- Steffe, J. (1992). *Rheological methods in food process engineering* East Lansing, MI: Freeman Press. pp. 57-121.
- Tadros, T. F. (2010). *Rheology of dispersions. Principles and applications*. Wiley-Vch. pp. 37-42.
- Taniwaki, M., Hocking, A., Pitt, J. and Fleet, G. (2010). Growth and micotoxin production by fungi in atmospheres containing 80 % carbon dioxide and 20 % oxygen. *International Journal of Food Microbiology* 143, 218-25.
- U.S. Grain Council (2012). "Market Perspectives". Disponible en: <http://www.grains.org/corn>.
- Valderrama-Bravo, C., Gutiérrez-Cortez, E., Contreras-Padilla, M., Rojas-Molina, I., Mosquera, J., Rojas-Molina, A., Beristain, F. and Rodríguez-García, M. (2012). Constant pressure filtration of lime water (nejayote) used to cook kernels in maize processing. *Journal of Food Engineering* 110 (3), 478-486.
- Valderrama-Bravo, C., López-Ramírez, Y., Jiménez-Ambriz, S., Oaxaca-Luna, A., Domínguez-Pacheco, A., Hernández-Aguilar, C. and Moreno-Martínez, E. (2015). Changes in chemical, viscoelastic and textural properties of nixtamalized dough with nejayote. *LWT-Food Science and Technology* 61, 496-502.

- Valderrama-Bravo, C., Flores-Saldana, N., Villagran-Ortiz, P., Perez-Reyes, C., Sanchez-Hernandez, G., Oaxaca-Luna, A., Dominguez-Pacheco, F. and Hernandez-Aguilar, C. (2016). Effect of nixtamalized maize with lime water (nejayote) on rheological and microbiological properties of masa. *Journal of Food Processing and Preservation*.
- Vargas, L. (2007). El alimento básico en las cocinas de la humanidad. El caso de Mesoamérica, *itinerarios*, 6, 9-53.
- Vargas, L. (2014). El maíz, viajero sin equipaje *itinerarios*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Antropológicas, Facultad de Medicina. 48-1, 123-137, ISSN: 0185-1225.
- Veenashri, B. and Muralikrishna, G. (2011). In vitro anti-oxidant activity of xylooligosaccharides derived from cereal and millet brans e a comparative study. *Food Chemistry*, 126, 1475-1481.
- Velasco-Martinez, M., Angulo, O., Vazquez, D., Arroyo, A. and Monroy, J. (1997). Effect of dried solids of nejayote on broiler growth. *Poultry Science* 76, 1531-1534.
- Vilche, C., Gely, M. and Santalla, E. (2003). Physical properties of quinoa seeds. *Biosystems Engineering*, 86(1), 59-65.
- Vitaglione, P., Napolitano, A. and Fogliano, V. (2008). Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. *Trends in Food Science & Technology*, 19, 451-463.
- Voss, K., Poling, S., Meredith, F., Bacon, C. and Saunders, D. (2001). Fate of fumonisins during the production of fried tortilla chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49, 3120–3126.
- Wilson, J., Buffa, A., y Lou, B. (2007). *Física*. 6aed. Pearson. México. pp. 505-686.

Wrigley, C. and Batey, I. (2010). Cereal Grains. Assessing and Managing Quality. CRC Press. USA. pp. 183-208.

Young, H., y Freedman, R. (2009). Física Universitaria con Física Moderna. Vol. 2. 12ed. Pearson Educación. México. pp. 709-1092.

Zepeda-Bautista, R. Hernández-Aguilar, C., Domínguez-Pacheco, A., Cruz-Orea, A., Godina-Nava, J. and Martínez-Ortíz, E. (2010). Electromagnetic field and seed vigour of corn hybrids. *International Agrophysics* 24, 329-332.

Zepeda, R., Hernandez, C., Suazo, F., Dominguez, A., Cruz, A., Martínez, E. and Hernández, L. (2011). Physical characteristics of maize grain and tortilla exposed to electromagnetic field. *International Agrophysics* 25, 389-393.

Zizumbo-Villarreal, D., and Colunga-GarcíaMarín, P. (2010). Origin of agriculture and plant domestication in West Mesoamerica. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57(6), 813-825.