



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y
Tecnología Avanzada

Posgrado en Tecnología Avanzada

CARACTERIZACIÓN DE HARINA DE MAÍZ INSTANTÁNEA OBTENIDA POR CALENTAMIENTO ÓHMICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN TECNOLOGÍA AVANZADA

P R E S E N T A

I.B.Q. Brenda Lidia Contreras Jiménez

Directores de Tesis

Dr. Juan de Dios Figueroa Cárdenas

Dr. Eduardo Morales Sánchez





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Querétaro, Qro. siendo las 12:00 horas del día 23 del mes de Junio del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA- Qro. para examinar la tesis de titulada:

“Caracterización de harina de maíz instantánea obtenida por calentamiento óhmico”

Presentada por el alumno:

| Contreras | Jiménez | Brenda | Lidia |
|------------------|----------------|---------------|---------------|
| Apellido paterno | materno | nombre(s) | |
| | | Con registro: | B 0 7 1 6 0 5 |

aspirante de:

MAESTRO EN TECNOLOGÍA AVANZADA

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

Director de tesis

Dr. Eduardo Morales
Sánchez

Dr. Juan de Dios Figueroa
Cárdenas

Dr. Reynaldo C. Pless
Elling

Dra. Ma. de la Luz
Reyes Vega

Dr. Pedro Alberto Vázquez
Landaverde

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

Dr. Joaquín Salas Rodríguez



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
CIENCIA APLICADA
Y TECNOLOGÍA AVANZADA
UNIDAD QUERÉTARO
DIRECCIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de **Querétaro, Oro.** el día **23** del mes **Junio** del año **2009**, el (la) que suscribe **IBQ. Brenda Lidia Contreras Jiménez** alumno (a) del Programa de **Maestría en Tecnología Avanzada** con número de registro **B071605**, adscrito a **CICATA – IPN, Unidad Querétaro**, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de **Dr. Eduardo Morales Sánchez y Dr. Juan de Dios Figueroa** y cede los derechos del trabajo intitulado **“Caracterización de harina de maíz instantánea obtenida por calentamiento óhmico”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **La Piedad 82 col. Juárez, Morelia, Mich. C. P. 81010, email: breco83@gmail.com**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

I. B. Q. Brenda Lidia Contreras Jiménez

Nombre y firma

Quando crezcas, descubrirás que ya defendiste mentiras, te engañaste a ti mismo o sufriste por tonterías. Si eres un buen guerrero, no te culparás por ello, pero tampoco dejarás que tus errores se repitan.

Paulo Coelho.

Este trabajo se realizó en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Querétaro (Cerro Blanco 141, col Colinas del Cimatario, Querétaro, Qro.) y en el Laboratorio de Materiales del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Querétaro (Libramiento Norponiente No. 2000, Frac. Real de Juriquilla, Querétaro, Qro.), bajo la dirección del Dr. Eduardo Morales Sánchez y el Dr. Juan de Dios Figueroa Cárdenas.

Agradecimientos:

- *A Dios por permitirme llegar a este momento de crecimiento personal y profesional.*
- *A mi Asesor el Dr. Eduardo Morales, por su confianza, orientación y paciencia.*
- *Al Dr. Juan de Dios Figueroa Cárdenas por su apoyo y orientación para la realización de este estudio.*
- *A la Dra. María de la Luz, por sus conocimientos, apoyo y amistad.*
- *Al personal de CICATA el Dr. Reynaldo Pless, Dr. Pedro Vázquez, Ing. Javier y maestros de CINVESTAV Marcela Gaytán, Juan Véles y Edmundo G. orientadores y amigos.*
- *A mis padres y mi familia por la confianza, el apoyo y el cariño que siempre me brindan y por ser el pilar en el que siempre me apoyo.*
- *A mi esposo Héctor Miguel por la comprensión, el apoyo brindado, entusiasmo y amor que representan un fuerte motivador en mi vida.*
- *A mis compañeros y amigos que han compartido conmigo esta gran etapa.*
- *A todas aquéllas personas que de alguna manera han apoyado el desarrollo de este proyecto.*

Índice General

| | |
|---|-----|
| Índice de tablas | i |
| Índice de figuras..... | ii |
| Resumen | iii |
| Abstract..... | iv |
| Glosario de términos | v |
| Abreviaturas | vi |
| Capítulo 1. Introducción | 1 |
| Capítulo 2. Marco teórico | 4 |
| 2.1. El maíz | 4 |
| 2.1.1. Origen del maíz..... | 4 |
| 2.1.2. Composición del grano de maíz..... | 4 |
| 2.1.3. Producción y consumo de maíz | 7 |
| 2.1.4. Productos alimenticios del maíz..... | 10 |
| 2.2. Nixtamalización | 11 |
| 2.2.1. Elaboración de nixtamal..... | 12 |
| 2.2.2. Molienda del nixtamal..... | 12 |
| 2.2.3. Elaboración de las tortillas | 13 |
| 2.2.4. Cambios del maíz durante la nixtamalización | 14 |
| 2.2.5. Desventajas del proceso tradicional de nixtamalización | 16 |
| 2.3. Procesos alternativos de nixtamalización | 17 |
| 2.3.1. Harina de maíz nixtamalizado | 22 |
| 2.4. Caracterización de harinas de maíz | 23 |
| 2.5. Calentamiento óhmico | 26 |
| 2.5.1. Principio del calentamiento óhmico..... | 26 |
| 2.5.2. Aplicaciones del calentamiento óhmico en alimentos | 28 |
| Capítulo 3. Justificación | 31 |
| Capítulo 4. Objetivos | 32 |
| 4.1. Objetivo General | 32 |
| 4.2. Objetivos Específicos | 32 |
| Capítulo 5. Materiales y métodos | 33 |
| 5.1. Materiales | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 5.1.1. Equipos | 33 |
| 5.1.2. Materia prima | 35 |
| 5.1.3. Reactivos | 35 |
| 5.2. Obtención de harina control por nixtamalización tradicional | 36 |
| 5.2.1. Limpieza de maíz | 36 |
| 5.2.2. Nixtamalización | 36 |
| 5.2.3. Lavado del nixtamal | 36 |
| 5.2.4. Secado de la masa, molienda y almacenamiento | 37 |
| 5.3. Obtención de harina por calentamiento óhmico | 37 |
| 5.4. Caracterización en nixtamal | 38 |
| 5.4.1. pH de nejayote | 38 |
| 5.4.2. Humedad del nixtamal y sólidos totales en nejayote y agua de lavado..... | 38 |
| 5.5. Caracterización física de harinas obtenidas por método tradicional y por calentamiento óhmico | 39 |
| 5.5.1. Distribución del tamaño de partícula | 39 |
| 5.5.2. Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA).. | 40 |
| 5.5.3. Color de la harina | 41 |
| 5.5.4. pH de harinas | 42 |
| 5.5.5. Viscosidad de suspensiones acuosas de harina | 42 |
| 5.6. Caracterización química de las harinas..... | 44 |
| 5.6.1. Determinación del contenido de humedad de la harina | 44 |
| 5.6.2. Determinación del contenido de proteína cruda en harina..... | 44 |
| 5.6.3. Determinación de cenizas en las harinas. | 45 |
| 5.6.4. Determinación de extracto etéreo | 46 |
| 5.6.5. Determinación de fibra cruda en harina | 46 |
| 5.7. Caracterización en las masas obtenidas por el método tradicional y por calentamiento óhmico | 47 |
| 5.7.1. Capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS) | 47 |
| 5.7.2. Adhesión y cohesión en masa | 48 |
| 5.7.3. Rendimiento de la masa | 48 |
| 5.7.4. Humedad de la masa | 49 |
| 5.8. Elaboración y caracterización de tortillas obtenidas por las harinas por el proceso tradicional y por calentamiento óhmico..... | 49 |

| | |
|---|-----------|
| 5.8.1. Elaboración de las tortillas | 49 |
| 5.8.2. Inflado de la tortilla..... | 49 |
| 5.8.3. Pérdida de peso en tortillas | 50 |
| 5.8.4. Rendimiento de tortilla | 51 |
| 5.8.5. Rolabilidad | 51 |
| 5.8.6. Resistencia a la tensión en tortillas..... | 52 |
| 5.8.7. Resistencia al corte en tortillas | 52 |
| 5.8.8. Color de las tortillas | 53 |
| 5.8.9. Humedad en las tortillas | 53 |
| 5.8.10. Evaluación de vida útil en tortillas | 54 |
| 5.9. Análisis estadístico..... | 54 |
| 5.9.1. Diseño experimental..... | 54 |
| 5.9.2. Análisis de los datos..... | 55 |
| Capítulo 6. Resultados y discusión | 56 |
| 6.1. Caracterización del nixtamal control..... | 56 |
| 6.2. Resultados de caracterización de harinas de maíz por calentamiento óhmico y nixtamalización tradicional..... | 57 |
| 6.2.1. Caracterización física de las harinas..... | 57 |
| 6.2.2. Caracterización química de las harinas obtenidas por los tratamientos CO y tradicional | 68 |
| 6.3. Caracterización de masas de maíz provenientes de harinas procesadas por calentamiento óhmico y nixtamalización tradicional..... | 70 |
| 6.4. Caracterización de la tortilla | 73 |
| 6.4.1. Pérdida de peso, rendimiento de tortilla, color de tortilla, porcentaje de humedad, pH y rolabilidad. | 73 |
| 6.4.2. Evaluación de las fuerzas de tensión y corte en tortillas recién elaboradas..... | 77 |
| 6.4.3. Evaluación de tortillas a las 24 hrs. de elaboración | 79 |
| 6.4.4. Vida de anaquel a temperatura ambiente durante 0, 24 y 48 hrs..... | 80 |
| 6.4.5. Análisis del efecto del tratamiento y almacenamiento en tortillas almacenadas a 0 y 24 hrs..... | 84 |
| 6.5. Mejores tratamientos obtenidos por calentamiento óhmico | 87 |

| | |
|--|-----------|
| 6.6. Análisis de componentes principales de las harinas obtenidas por calentamiento óhmico comparadas con el nixtamal. | 89 |
| Capítulo 7. Conclusiones | 94 |
| Capítulo 8. Trabajo futuro..... | 96 |
| Capítulo 9. Bibliografía | 97 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Distribución de las partes del grano | 5 |
| Tabla 2. Composición química proximal del grano de maíz | 6 |
| Tabla 3. Diferencias de composición proximal en distintos tipos de maíz..... | 6 |
| Tabla 4. Producción mundial de maíz en miles de toneladas | 7 |
| Tabla 5. Producción de maíz en el mundo y países de América (2005) | 8 |
| Tabla 6. Producción en toneladas de maíz en México | 8 |
| Tabla 7. Países importadores de maíz..... | 9 |
| Tabla 8. Cualidades de almidones de maíz | 16 |
| Tabla 9. Contenido proximal especificado para harinas de maíz nixtamalizado | 23 |
| Tabla 10. Tamaños de abertura de acuerdo al número de malla (mesh)..... | 40 |
| Tabla 11. Tratamientos de calentamiento óhmico..... | 55 |
| Tabla 12. Análisis de nixtamal..... | 56 |
| Tabla 13. Distribución de tamaño de partícula de las harinas elaboradas por CO y nixtamal..... | 57 |
| Tabla 14. Capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS), pH y color (Lab) | 59 |
| Tabla 15. Valores de humedad de harina, índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua | 62 |
| Tabla 16. Valores de viscosidad y temperatura de pastificado para soluciones acuosas de harinas obtenidas por CO y nixtamal | 65 |
| Tabla 17. Análisis proximal de harinas obtenidas por CO y método tradicional..... | 68 |
| Tabla 18. Análisis de las masas obtenidas por CO y nixtamal..... | 71 |
| Tabla 19. Parámetros evaluados en tortilla recién elaborada | 74 |
| Tabla 20. Fuerzas de tensión y corte en tortillas | 78 |
| Tabla 21. Color, porcentaje humedad y pH evaluados en tortillas a las 24 hrs..... | 79 |
| Tabla 22. Comportamiento del color, la humedad y el pH de tortillas con respecto al tratamiento a las 0 y 24 hrs. de evaluación | 84 |
| Tabla 23. Efecto del tratamiento en la rolabilidad, fuerzas de tensión y corte en tortillas almacenadas 0 y 24 hrs..... | 86 |
| Tabla 24. Efecto del almacenamiento a 0 y 24 hrs, en tortillas | 87 |
| Tabla 25. Evaluación general de los tratamientos obtenidos por CO..... | 88 |
| Tabla 26. Componentes principales y sus parámetros..... | 90 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Estructura del grano de maíz. | 5 |
| Figura 2. Método antiguo de elaboración de tortillas..... | 11 |
| Figura 3. Cocimiento de tortilla tradicional y cocimiento de tortillas en tortilladora... 14 | |
| Figura 4. Estructura del almidón: amilosa y amilopectina. | 15 |
| Figura 5. Extrusor para diferentes productos. | 21 |
| Figura 6. Diagrama de celda para cocimiento de harina por calentamiento óhmico.27 | |
| Figura 7. Tamices vibratorios de diferentes números..... | 39 |
| Figura 8. Escala cromática L, a, b. | 42 |
| Figura 9. Rampa de temperatura y perfil de viscosidad. | 43 |
| Figura 10. Prueba de adhesión y cohesión en masa. | 48 |
| Figura 11. Inflado de las tortillas. | 50 |
| Figura 12. Determinación de pérdida de peso en tortillas | 51 |
| Figura 13. Prueba de resistencia a la tensión en tortillas. | 52 |
| Figura 14. Prueba de resistencia al corte en tortillas..... | 53 |
| Figura 15. Perfil de distribución de tamaño de partícula de harinas obtenidas por CO y nixtamal. | 58 |
| Figura 16. Perfil de viscosidad de suspensiones acuosas de harinas obtenidas por calentamiento óhmico. | 65 |
| Figura 17. Perfil de viscosidad de suspensiones acuosas de maíz crudo molido. ... | 66 |
| Figura 18. Comportamiento de humedad en tortillas evaluadas a 0 y 24 hrs..... | 80 |
| Figura 19. pH en tortillas evaluadas a 0 y 24 hrs de evaluación. | 81 |
| Figura 20. Evaluación de fuerza de tensión en tortillas a 0 y 24 hrs. | 82 |
| Figura 21. Evaluación de fuerza de corte en tortilla a 0 y 24 hrs..... | 82 |
| Figura 22. Tortillas con desarrollo microbiano a las 48 hrs. de elaboración..... | 83 |
| Figura 23. Análisis de los componentes principales 1 y 2. | 91 |
| Figura 24. Análisis de los componentes principales 1 y 3. | 92 |
| Figura 25. Análisis de componentes principales 2 y 3. | 93 |

Resumen

En la actualidad el proceso de nixtamalización tradicional se sigue utilizando, para producir tortillas y harina instantánea de maíz nixtamalizado. Este proceso tiene como desventajas una ineficiente transferencia de calor, largos tiempos de proceso y producción de contaminantes como el nejayote. Como una alternativa de solución, se propone utilizar el calentamiento óhmico para la producción de harinas instantáneas de maíz. Con base en ello, la presente investigación tuvo como objetivo caracterizar física, química y reológicamente harinas, masas y tortilla de maíz, procesadas por calentamiento óhmico, comparadas con una harina control de maíz nixtamalizado de forma tradicional. Se realizaron nueve tratamientos de calentamiento óhmico para obtención de las harinas, empleando condiciones que involucraron humedades de 45%, 53% y 60%, temperaturas de 70°C, 80°C y 90°C, y tamaños de partícula de 0.5, 0.8 y 1.3 mm. Se evaluaron parámetros de calidad físicos y químicos en harinas, reológicos en las masas, texturales y de vida de anaquel en las tortillas. A partir de este estudio se encontró que los tratamientos semejantes al control fueron: los de partícula 0.8 mm, humedad de 53% y temperaturas de proceso de 70°C y 80°C, y el tratamiento con partícula de 1.3 mm, humedad de 45% y temperatura de 80°C. Las similitudes encontradas fueron en la harina: la retrogradación y luminosidad; en la masa: las fuerzas de adhesión y cohesión, su humedad y rendimiento; y, en las tortillas se encontraron similitudes en el color, la rolabilidad, fuerzas de tensión y corte. Estos tratamientos y el control tuvieron los menores rendimientos en masa y tortilla, así como baja humedad en la tortilla. El resto de los tratamientos evaluados presentó mejores rendimientos de masa y tortilla, menor retrogradación, menores fuerzas de tensión y corte, dando lugar a tortillas más suaves en comparación con el control. En los parámetros químicos se encontró que el proceso óhmico conserva de manera eficiente el contenido de proteínas presente en el maíz de origen. De este modo se concluye que el calentamiento óhmico es una nueva alternativa de proceso para la producción de harinas instantáneas de maíz con propiedades fisicoquímicas similares e incluso mejores a las harinas tradicionales.

Abstract

At present, the traditional nixtamalization process is still being used in the production of tortillas and instant nixtamalized maize flour. This process has the disadvantages of inefficient heat transfer, long processing times, and production of pollutants in the nejayote (cooking liquid). As an alternative solution, it is proposed to use ohmic heating in the production of instant maize flour. With this in mind, the present research work aimed at the physical, chemical, and rheological characterization of maize flours, masas, and tortillas obtained by the ohmic process, and compare these samples with a control maize flour obtained by traditional nixtamalization. Nine treatments were evaluated, using conditions such as: moisture contents of 45%, 53%, and 60%, temperatures of 70°C, 80°C, and 90°C, and particle sizes of 0.5, 0.8, and 1.3 mm. The parameters evaluated were of the physical and chemical type in the case of the flours, and rheological in the masas, while in the case of the tortillas textural properties and shelf life were evaluated. The present study showed that the treatments resulting in a product similar in quality to the control were those with a particle size of 0.8 mm, a moisture content of 53%, and processing temperatures of 70°C and 80°C, as was the treatment with a particle size of 1.3 mm, a moisture content of 45% and a temperature of 80°C. The quality similarities were found in the aspects of retrogradation and flour lightness in the case of the flours, in the aspects of adhesion, cohesion, moisture, and yield in the case of masas, and in color, rollability, tensile strength, and cutting force in the case of tortillas. These treatments, as did the control, showed the lowest masa and tortilla yields, as well as a low tortilla moisture. The other treatments showed higher yields in masa and tortilla, less retrogradation, and lower tensile strength and cutting force, producing softer tortillas, compared to the control. Regarding chemical parameters, the ohmic heating helps to preserve the protein content present in the original raw maize. Thus, the conclusion is arrived at that ohmic heating is a new alternative process for the production of instant maize flours with similar or even improved physicochemical properties, compared to the traditional flours.

Glosario de términos

Calentamiento óhmico o efecto Joule: Es el nombre que se le da al efecto producido como liberación de calor (potencia) y aumento de temperatura en un material al cual se le hace incidir una corriente eléctrica por medio de una fuente de voltaje.

ANOVA o ANVA: Análisis de varianza que es el método estadístico de comparación múltiple, a través del cual se reconoce si al menos uno de los tratamientos comparados presenta diferencias significativas con respecto al resto de los tratamientos comparados, con un nivel de confianza (en este caso) del 95%.

Prueba de Tukey: Demostrada la hipótesis de que al menos uno de los tratamientos es diferente respecto del resto, se utiliza esta herramienta estadística que realiza una comparación de todos los tratamientos de par en par, encontrando cuales tratamientos específicamente son diferentes entre sí, a través de intervalos de confianza o agrupaciones.

Análisis por componentes principales: Es una herramienta estadística que se utiliza convenientemente cuando se tienen muchos parámetros de evaluación en un estudio y estos poseen correlaciones importantes entre sí, por lo cual el método permite delimitar los parámetros que explican la variabilidad existente entre los tratamientos e identificar agrupaciones que tienen comportamientos similares.

Abreviaturas

AACC- American Association of Cereal Chemists.

CAAS- Capacidad de absorción de agua subjetiva.

CO- Calentamiento óhmico.

IAA- Índice de absorción de agua.

ISA- Índice de solubilidad en agua.

HH- Humedad de harina.

HM- Humedad de masa.

RM- Rendimiento de masa.

RT- Rendimiento de tortilla.

ACP- Análisis de componentes principales.

CP- Componente principal.

Capítulo 1. Introducción

Las tortillas de maíz nixtamalizado son y han sido parte fundamental de la alimentación de diferentes culturas en América. Hoy día en México son una parte básica de la dieta diaria, ya que proveen el 38.8% de proteínas, 45.2% de calorías y 49.15% del calcio que se consume diariamente en la dieta de los mexicanos (Figueroa, 1994).

La producción de tortillas, se lleva a cabo dando un tratamiento al maíz, conocido como nixtamalización. Este proceso consiste en la cocción alcalina del grano en un exceso de agua que contiene cal, y un posterior reposo. Posteriormente, el nixtamal o maíz cocido, se muele para producir masa fresca, a partir de la cual se pueden elaborar tortillas, esto es, formando una cantidad pequeña de masa como disco aplanado y cociéndola sobre un comal; o a partir de la masa es posible obtener harina de maíz nixtamalizado, si a la masa se le somete a un proceso de secado y molienda. Durante el proceso tienen lugar reacciones químicas que modifican la estructura del maíz y que influyen en las características del producto final, aumentando su calidad nutricional.

En la actualidad, el ritmo de vida ha llevado a la gente a cambiar sus costumbres alimenticias, ejemplo de ello es consumir tortillas de harina de maíz nixtamalizado, expendidas en tortillerías, o comprar la harina instantánea para elaborarlas, lo cual ahorra tiempo y esfuerzo porque únicamente es necesario rehidratar esta harina para obtener masa fresca y fabricar las tortillas.

Los industriales de la masa y la tortilla basan su proceso en el método tradicional de nixtamalización modificado ligeramente; ellos han encontrado la manera de realizar el procedimiento de forma más rápida, modificando presiones, temperaturas, y otros factores. Sin embargo, aún con estas modificaciones siguen existiendo desventajas en el proceso; las cuales incluyen pérdida de nutrientes del nixtamal, bajo

aprovechamiento de la energía calórica producida por la combustión de gas, generación de efluentes contaminantes y largos tiempos de proceso. Sin lugar a dudas, el mayor avance que se ha hecho al respecto es la obtención de la harina nixtamalizada que ahorra el procedimiento cotidiano de nixtamalización para el usuario.

Por todo lo anterior, los esfuerzos de las investigaciones están ahora más enfocados a encontrar alternativas de elaboración de harinas instantáneas, con un sustento energético y ecológico; orientados a disminuir la generación de contaminantes, tener un mayor control tanto del proceso como del producto, y un mayor ahorro de energía. Dentro de este contexto, se han planteado en la literatura varias tecnologías alternativas como la extrusión y el calentamiento óhmico para obtener harinas de maíz nixtamalizado. Sin embargo al utilizar un nuevo proceso se hace necesario conocer la calidad con cual se obtiene el producto; lo más deseable es que no existan cambios sustanciales en las características particulares del mismo, que ya son identificadas como parámetros de calidad por el consumidor. Estos parámetros están relacionados con la percepción sensorial y con las cualidades físicas y químicas, que son determinadas mediante técnicas establecidas. De acuerdo a ello, la presente investigación se centró en la caracterización de harinas instantáneas, obtenidas a través de la tecnología de calentamiento óhmico. Se analizaron parámetros fisicoquímicos de las harinas y parámetros físicos y reológicos en masas y tortillas. Los parámetros que se midieron son:

- En harina: distribución del tamaño de partícula, color, capacidad de absorción de agua subjetiva, índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua, densidad aparente, pH, viscosidad y análisis proximal.
- En masa: adhesión, cohesión, humedad y rendimiento de masa.
- En tortilla: pérdida de peso, rendimiento, inflado, rolabilidad, color, resistencia a la tensión, resistencia al corte, humedad y vida de anaquel.

Finalmente, a partir de los resultados de esta caracterización se determinó, por métodos estadísticos, si la harina instantánea obtenida por calentamiento óhmico cumple con las características de calidad que se requieren en la harina de maíz nixtamalizado de manera convencional.

Este documento está estructurado en Capítulos, donde el Capítulo 1 corresponde a una introducción al trabajo; el Capítulo 2 consiste en el marco teórico que introduce al lector en los aspectos generales de la nixtamalización, su origen, sus beneficios, sus desventajas y la evolución del proceso hasta nuestros días, abordando las investigaciones que han servido como antecedente del estudio, abordando también, aspectos de caracterización de harinas nixtamalizadas que son relevantes para conocer la calidad de este producto. En el Capítulo 3 se plantea la justificación del trabajo, en términos de aplicar el calentamiento óhmico para la obtención de productos nixtamalizados. En secuencia de esta justificación, en el Capítulo 4 se presentan los objetivos del proyecto que delimitan el alcance de la investigación y que introducen de manera implícita a la hipótesis que indica que es posible obtener harinas de maíz con el proceso de calentamiento óhmico, con la calidad de harina nixtamalizada. El Capítulo 5 corresponde a materiales y métodos, donde se incluyen las técnicas, sus principios, el diseño estadístico y la forma en que se hace el análisis de los datos. El Capítulo 6 corresponde al trabajo experimental realizado y la discusión correspondiente. Por último en el Capítulo 7, se dan las conclusiones obtenidas de la experimentación y la comparación.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1. El maíz

2.1.1. Origen del maíz

La palabra “Maíz” es de origen indio-caribeño, su significado es “lo que sustenta la vida” (FAO, 1993). Este cereal que está fuertemente ligado a nuestra cultura es uno de los más antiguos que se conocen. Su nombre científico es *Zea mays* L., pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, y es la única especie cultivada de este género. Otras especies llamadas teosintle y las especies del género *Tripsacum* conocidas como arrocillo o maicillo son formas salvajes parientes de *Zea mays*. Se estima que el grano fue domesticado hace 4,600 años, en paralelo con otros alimentos, como el frijol, el chile y la calabaza. Con la domesticación de estos alimentos, se sentaron las bases de la actividad agrícola y con ello las grandes culturas de Mesoamérica. Actualmente, junto con el arroz y el trigo es uno de los cereales que más se produce y consume en el mundo (FAO, 1993). El origen de la planta apunta hacia México, donde se han encontrado hallazgos arqueológicos y paleobotánicos en el valle de Tehuacán que evidencian que se cultivaba maíz desde hace aproximadamente cuatro mil años (UBA, 1998).

2.1.2. Composición del grano de maíz

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

El grano posee 4 estructuras principales: el pericarpio o cascarilla, el endospermo, el germen y la piloriza o pedicelo que es un tejido inerte que une al grano al olote (Figura 1).

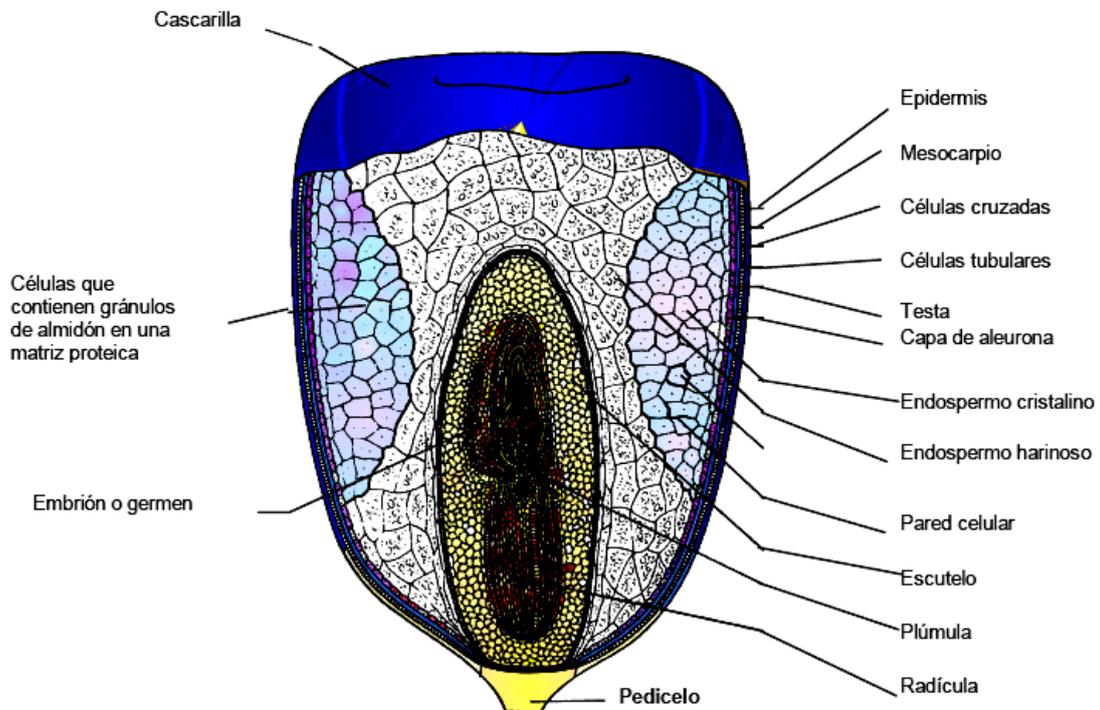


Figura 1. Estructura del grano de maíz.

Fuente: http://www.fastonline.org/CD3WD_40/INPHO/LIBRARY/T0395E/ES/T0395S02.HTM

Las cuatro partes principales del grano difieren considerablemente en su composición química. La distribución ponderal se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución de las partes del grano

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

Fuente: FAO, 2001.

La composición de las diferentes partes del grano de maíz se resume en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición química proximal del grano de maíz

| Componente químico | Pericarpio | Endospermo | Germen |
|---------------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| Proteínas | 3.7 | 8.0 | 18.4 |
| Extracto etéreo | 1.0 | 0.8 | 33.2 |
| Fibra cruda | 86.7 | 2.7 | 8.8 |
| Cenizas | 0.8 | 0.3 | 10.5 |
| Almidón | 7.3 | 87.6 | 8.3 |
| Azúcar | 0.34 | 0.62 | 10.8 |

Valores dados en porcentaje. Fuente: FAO, 2001.

Es importante resaltar que los porcentajes mostrados en la Tabla anterior son una aproximación general de la composición del grano de maíz, debido a que existen diferencias en la cantidad de nutrientes entre las distintas especies; la variabilidad es debida a diferencias genéticas y ambientales. En la Tabla 3 se muestra la composición proximal de algunas variedades de maíz en porcentaje (FAO, 2001).

Tabla 3. Diferencias de composición proximal en distintos tipos de maíz

| Tipo | Humedad | Cenizas | Proteínas | Fibra cruda | Extracto etéreo | Carbohidratos |
|-------------|----------------|----------------|------------------|--------------------|------------------------|----------------------|
| Salpor | 12.2 | 1.2 | 5.8 | 0.8 | 4.1 | 75.9 |
| Cristalino | 10.5 | 1.7 | 10.3 | 2.2 | 5.0 | 70.3 |
| Harinoso | 9.6 | 1.7 | 10.7 | 2.2 | 5.4 | 70.4 |
| Amiláceo | 11.2 | 2.9 | 9.1 | 1.8 | 2.2 | 72.8 |
| Dulce | 9.5 | 1.5 | 12.9 | 2.9 | 3.9 | 69.3 |
| Reventador | 10.4 | 1.7 | 13.7 | 2.5 | 5.7 | 66.0 |
| Negro | 12.3 | 1.2 | 5.2 | 1.0 | 4.4 | 75.9 |

Fuente: Cortez y Wild Altamirano, 1972.

2.1.3. Producción y consumo de maíz

Hoy día el maíz es el segundo cultivo del mundo por su producción, después del trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar. En cuanto a rendimiento tiene el mayor valor de grano por hectárea y en producción total ocupa el segundo lugar después del trigo. Se considera de gran importancia económica como alimento humano y como alimento para ganado, siendo además materia prima de un gran número de productos industriales. Otras ventajas del maíz son la diversidad de los ambientes bajo los cuales es cultivado, la cual, es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo. Actualmente se cultiva hasta los 58° de latitud norte en Canadá y en Rusia, y los 40° de latitud sur en Argentina y Chile. La mayor parte del maíz es cultivado a altitudes medias, pero se cultiva también por debajo del nivel del mar en las planicies del Caspio y hasta los 3 800 msnm en la cordillera de los Andes (FAO, 2001).

En América del Norte y América Central, existen elevados rendimientos por hectárea, la mayor producción de la región corresponde a Estados Unidos, que produce cerca del 45% de la producción mundial. La Tabla 4 muestra datos de producción anual del año 2000 al 2003, para los principales países productores (FAO, 2003).

Tabla 4. Producción mundial de maíz en miles de toneladas

| Año País | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| EUA | 251 854 | 241 484 | 228 805 | 256 904 |
| China | 106 178 | 114 253 | 121 498 | 114 175 |
| Brasil | 31 879 | 41 955 | 35 932 | 47 809 |
| México | 17 556 | 20 134 | 19 299 | 19 652 |
| Argentina | 16 781 | 15 365 | 15 000 | 15 040 |
| Otros | 168 491 | 181 906 | 183 628 | 184 463 |
| Total | 592 743 | 615 097 | 604 162 | 638 043 |

Fuente: FAO, 2003.

Actualmente el maíz se siembra en todos los países de América Latina y es junto con el frijol un alimento fundamental. La producción del año 2005 a nivel mundial y para varios países de América se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Producción de maíz en el mundo y países de América (2005)

| Producción de | Área Sembrada (1000 Ha) | Rendimiento (Ton/ Ha) | Producción total (1000 Ha) |
|----------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| El Mundo | 147 017 | 4.7 | 692 034 |
| EUA | 30 081 | 9.31 | 280 228 |
| Brasil | 11 469 | 3.03 | 34 859 |
| Guatemala | 603 | 1.77 | 1 072 |
| El Salvador | 231 | 2.76 | 648 |
| México | 8 000 | 2.56 | 20 500 |
| Nicaragua | 395 | 1.47 | 579 |

Fuente: Rodríguez García y col., 2008.

En México, los principales estados productores de maíz son: Chihuahua, Puebla y Jalisco, que producen en su mayoría maíz amarillo; y Sinaloa, Jalisco y Michoacán, que producen en su mayoría maíz blanco. La Tabla 6 muestra la producción de varios estados de México, para el periodo del 2000 al 2003.

Tabla 6. Producción en toneladas de maíz en México

| Año Estado | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Jalisco | 2 158 926 | 2 888 963 | 3 061 065 | 3 122 595 |
| Sinaloa | 2 319 475 | 2 60 712 | 3 149 994 | 2 741 315 |
| Guanajuato | 652 659 | 1 242 637 | 1 189 769 | 2 261 337 |
| Chiapas | 1 887 369 | 1 754 128 | 1 858 327 | 2 002 591 |
| México | 1 757 710 | 2 284 681 | 1 976 787 | 1 923 410 |
| Otros | 8 780 764 | 9 313 191 | 8 061 812 | 8 650 171 |
| Total | 17 556 903 | 20 134 312 | 19 297 754 | 20 701 419 |

Fuente: www.siap.sagarpa.gob.mx

Tal como se observa, en México existe una producción anual de alrededor de 19 millones de toneladas, la cual no satisface la demanda interna de 23 a 25 millones de toneladas por año, por lo que se importan un promedio de 5 millones de toneladas anuales, de las cuales la mayor parte corresponden a maíz amarillo. De este se destina el 47% al sector pecuario y el 32% al almidonero; la industria harinera participa con el 12% del maíz. Las importaciones que se realizan provienen en un 99% de Estados Unidos, colocando a México como el 3er importador mundial y 1º de América Latina. En la Tabla 7, se muestran los valores reportados en los años de 2000 a 2002.

Tabla 7. Países importadores de maíz

| Año País | 2000 | 2001 | 2002 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Japón | 16 111 | 16 221 | 16 420 |
| Corea del Sur | 8 714 | 8 481 | 9 112 |
| México | 5 347 | 6 174 | 5 512 |
| China | 4 944 | 5 234 | 5 061 |
| Egipto | 4 710 | 4 797 | 4 720 |
| Otros | 42 350 | 41 229 | 46 950 |
| Total | 82 176 | 82 136 | 87 775 |

Valores presentados en miles de toneladas. Fuente: FAO, 2003

Del porcentaje de consumo de maíz atribuido a la industria harinera, la mayor parte de la harina se destina a la elaboración de tortillas, las cuales, tan sólo en México representan un consumo proximal de 12 millones de toneladas por año (Acero, 2000).

2.1.4. *Productos alimenticios del maíz*

El maíz se consume hervido, tostado, o sometido a diferentes procesos. En América Latina, se consume en diferentes formas, por ejemplo los granos de la mazorca cocida o asada, como ingrediente de diversos platillos, o el maíz en forma líquida, en la cual a partir de la planta se obtienen bebidas como el pinolate (harina de maíz, azúcar y agua), atole (harina con agua, leche y azúcar) y bebidas alcohólicas como las chichas que son fermentos del grano (Franco, 2004).

En los platillos se consume como materia prima de sopas, cremas y otros guisos que utilizan el grano aún fresco. En la comida mexicana su uso es amplio y tradicional de su cultura, se consume principalmente nixtamalizado, para la elaboración de tortillas, que se utilizan como acompañamiento de platillos o como base para la elaboración de otros platillos, como tacos, enchiladas, quesadillas, sopes, chilaquiles y botanas.

Actualmente, uno de los productos alimenticios industriales que ha tenido mayor relevancia, es la harina nixtamalizada para la elaboración de tortillas, la cual se obtiene a partir de los granos que son nixtamalizados, molidos y secados. La versatilidad actual de este producto ha hecho que su consumo vaya en aumento, debido a que es necesario únicamente rehidratarla para obtener masa a partir de la cual se elaboran las tortillas y por ende todos los derivados de la misma. Otras ventajas de la harina incluyen su fácil transporte y almacenamiento, así como un periodo de vida útil mayor que el de la masa fresca para hacer tortillas (Gómez M. y col., 1987; Calaveras, 2004).

Sin embargo, la industria requiere que los granos que se introducen al proceso de obtención de harina nixtamalizada cumplan con ciertas características, como: granos de endospermo duro, poco dentado, sanos, sin rajaduras ni impurezas, con una alta densidad y maduración completa entre otras (Billeb, 2001). Este requerimiento de uniformidad de la materia prima para la elaboración de la harina implica un desaprovechamiento de parte del material de partida, impactando en los costos.

2.2. Nixtamalización

Como una definición general del término, se considera que la nixtamalización es la cocción alcalina del maíz. La nixtamalización es un método ancestral para preparar masa de maíz para tortillas (Figura 2), la palabra proviene de los vocablos náhuatl *nextli*, o cenizas de cal, y *tamalli*, que significa masa de maíz cocido.

El proceso consiste en cocer el maíz en agua con una proporción fija de cal (hidróxido de calcio) (García, 2004).

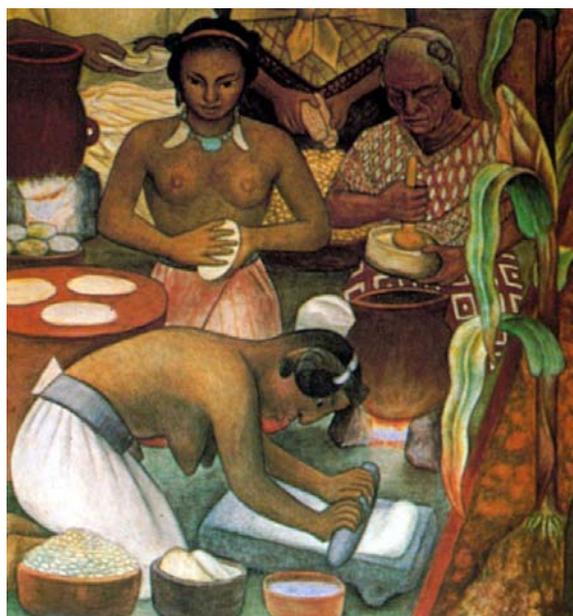


Figura 2. Método antiguo de elaboración de tortillas.

Fuente: http://www.sma.df.gob.mx/mhn/index.php?op=01hola&op01=acercade_maiz.

Se cree que la fabricación de las tortillas a partir del maíz seco inició cuando el hombre prehispánico guardó granos de la cosecha para transformarlo en una masa con la que debió hacer las primeras tortillas. Se cree que el primer sistema que debió utilizar fue moler el maíz directamente y obtener un polvo al que, al agregar agua, podía amasar en forma de pasta, fácil de cocer. No es difícil suponer que este polvo se descomponía con facilidad. Posteriormente el hombre debió descubrir que la ceniza producida por la leña, utilizada para cocer los alimentos, sería útil debido a su composición que incluye óxido de sodio y potasio, que al mezclarse con agua se convierten en una lejía alcalina que ablanda y destruye la cáscara del grano,

permitiendo un cocimiento más rápido y fácil. Finalmente, cuando se descubrió la cal viva o apagada, que al reaccionar con agua forma el hidróxido de cal, se encontró el componente químico básico de la nixtamalización. El proceso de nixtamalización hace que el maíz tome una consistencia suave que permite convertirlo con facilidad en una masa uniforme. El color que adquiere es blanco amarillento dependiendo del maíz utilizado (Véles Medina, 2004).

2.2.1. Elaboración de nixtamal

El proceso antiguo, inicia con la limpieza del maíz; el cual se enjuaga para eliminar contaminación física, como granos podridos y objetos ajenos al mismo, enseguida se escurre y se somete a cocción con agua en relación 2:1 respecto al peso del maíz y de 1% a 2% de cal, en relación al peso del maíz. La mezcla se calienta despacio hasta que hierva, revolviendo ocasionalmente, la cocción puede durar de 20 a 40 minutos, dependiendo del maíz. Entonces se retira el recipiente del fuego, se tapa, y se deja reposar de un día para otro (8 a 14 hrs). La prueba que se realiza para saber si el maíz está en el punto exacto de cocimiento es tomar un grano y frotarlo con los dedos, si el pericarpio se desprende fácilmente, el nixtamal está listo (Rodríguez García y col., 2008).

2.2.2. Molienda del nixtamal

El nixtamal se retira del líquido de cocimiento (nejayote), se enjuaga una o dos veces hasta que el agua salga limpia, y se escurre. La molienda se realiza de diferentes formas: utilizando instrumentos sencillos como el metate de piedra o el molino de mano, hasta equipos de mayor tecnología como el molino de piedras. La molienda se realiza agregando al maíz un poco de agua, dando origen a la masa. La masa que es una pasta suave, se conserva en un lugar húmedo y de ella se toman las cantidades necesarias para hacer tortillas (Rodríguez García y col. 2008).

2.2.3. *Elaboración de las tortillas*

La tortilla tiene forma de disco aplanado que puede formarse manualmente palmeándola, con prensas manuales o en tortilladoras automáticas, las cuales, además de formar la tortilla, la cuecen en proceso continuo (Figura 3). Para una tortilla común se necesitan aproximadamente 30 g de masa. El espesor de la tortilla varía de 1.5 a 2 mm, y el diámetro puede ir de 12 a 25 centímetros de diámetro (Rodríguez García y col., 2008). La tortilla elaborada manualmente, se cuece sobre una superficie plana, calentada por la llama producida por gas o carbón. Una buena cocción hará que se formen membranas a cada lado de la misma, permitiendo que la tortilla se infle cuando el agua contenida en la masa llegue a su evaporación.

Una vez que están cocidas, las tortillas tradicionalmente se envuelven con una pequeña manta la cual se conoce como servilleta, para conservar su calor y suavidad, enseguida se colocan dentro de una canasta conocida como tazcal. Las tortillas se consumen calientes, envolviendo otro alimento o como acompañamiento de comidas saladas. La importancia de la tortilla en México y Mesoamérica es tal que ha sido empleada en la dieta desde épocas muy remotas en diversos pueblos de la región (500 A.C. en Oaxaca), siendo parte de la cultura de muchos de los pueblos originarios de América y trascendiendo su consumo a la actualidad (Díaz del Castillo, 2005).



Figura 3. ^a Cocimiento de tortilla tradicional. ^b Cocimiento de tortillas en tortilladora. Fuente: <http://tapachula.olx.com.mx/maquinas-tortilladoras-maiz-y-trigo-amasadoras-molinos-planta-nixtamal-ekipo-panaderia-iid-8093906>.

2.2.4. Cambios del maíz durante la nixtamalización

Durante el proceso de nixtamalización, se producen una serie de cambios químicos en el maíz; los cuales dan la maleabilidad a la masa y a las tortillas (Durán Domínguez, 1999).

El proceso sirve para suavizar al grano de maíz, facilitar la molienda y eliminar el pericarpio, por otro lado, se ha demostrado que durante el proceso de nixtamalización se pierden nutrientes presentes en el maíz antes del tratamiento, como es la fibra (Gómez Aldapa y col., 1996; Pflugfelder y col., 1988; Bressani y Scrimshaw, 1958), y se producen cambios químicos que hacen que el valor nutricional aumente, de este modo, las tortillas tienen mayor calidad nutricional comparadas con el maíz crudo. En el proceso, se realiza un tratamiento selectivo de las proteínas del maíz; modificando su disponibilidad, tal es el caso de la *Zeína*, que es una proteína de bajo valor nutricional presente en gran cantidad en el maíz, la cual reduce su solubilidad durante la nixtamalización, contrario a ello, la *Glutelina* (proteína de mejor calidad nutritiva), incrementa su solubilidad y por ende la disponibilidad de aminoácidos esenciales presentes en ella (Martínez Flores y col., 2002). Otros cambios atribuidos a la nixtamalización, que se reportan son: aumento de hasta 2.8 veces del aminoácido lisina, aumento de disponibilidad de triptófano y

aumento en la relación de isoleucina a leucina (Kartz y col., 1974; Bressani y Scrimshaw 1958). Además, la nixtamalización aumenta la disponibilidad de niacina, disminuyendo los riesgos de presentar pelagra (Pearson, 1957). Otros beneficios son la disminución de la presencia de aflatoxinas (Figueroa, 1999). Y en relación con la adición de hidróxido de calcio durante la nixtamalización, se reporta un aumento del contenido de calcio hasta en un 400%, comparado con el maíz crudo (FAO, 1993).

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

Otra cualidad interesante del almidón es que posee una estructura polimérica compuesta por dos polisacáridos: amilosa, que es esencialmente una estructura lineal y amilopectina, que es una estructura ramificada, ambas estructuras se pueden observar en la Figura 4 (Fennema, 1996).

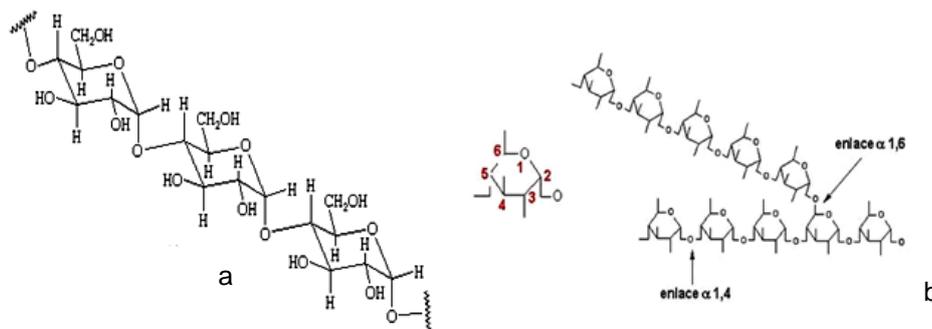


Figura 4. Estructura del almidón: amilosa^a y amilopectina^b.

Fuente: Galván Granados, 2007.

Los gránulos intactos pueden embeber agua de manera reversible, sin embargo al calentarse se produce el proceso denominado gelatinización que consiste en un hinchamiento irreversible del gránulo y posterior ruptura de algunos gránulos. La gelatinización completa se produce en un rango amplio de temperatura (Tabla 8),

siendo los gránulos de mayor tamaño los primeros en gelatinizarse. El calentamiento continuo de los gránulos en un exceso de agua resulta en el hinchamiento de los gránulos y lixiviación adicional de los sólidos solubles (principalmente amilosa) y si se aplican fuerzas de cizalla se produce la disrupción total de los gránulos (Fennema, 1996). En general los procesos alimenticios como la nixtamalización no utilizan condiciones muy severas de tratamiento, produciéndose únicamente una gelatinización parcial y liberación de parte de las cadenas de amilosa y amilopectina, estas cadenas liberadas son expuestas al medio alcalino, y pueden ser hidrolizadas. El grado de hidrólisis depende de la severidad del tratamiento, temperatura y concentración de cal (Orozco y Orozco, 2007).

Tabla 8. Cualidades de almidones de maíz

| | <i>Almidón de maíz común</i> | <i>Almidón de maíz céreo</i> | <i>Almidón de maíz rico en amilosa</i> |
|---|------------------------------|------------------------------|--|
| Tamaño de gránulo (eje mayor, μm) | 2-30 | 2-30 | 2-24 |
| Amilosa (%) | 28 | <2 | 50-70 |
| Temperatura de gelatinización ($^{\circ}\text{C}$) ^a | 62-80 | 63-72 | 66-170 ^b |
| Viscosidad relativa | Media | Media-alta | Muy baja ^b |
| Reología de la pasta ^c | Corta | Larga (cohesiva) | Corta |
| Claridad de la pasta | Opaca | Muy ligeramente turbia | Opaca |
| Tendencia a gelificar/retrogradar | Alta | Muy baja | Muy alta |

Fuente: Fennema, 1996.

Aunado a lo anterior, el contenido de grasa se reduce en el nixtamal debido al proceso de saponificación e hidrólisis alcalina de los ácidos grasos, favorecido por el pH básico ocasionado por el hidróxido de calcio (Bello Pérez y col., 2002).

2.2.5. Desventajas del proceso tradicional de nixtamalización

A pesar de las bondades de la nixtamalización, el proceso tradicional presenta varios inconvenientes, entre los que destacan: el uso elevado de energía y agua, aunado a la gran cantidad de efluentes contaminantes (nejayote), con alto contenido de sólidos solubles. Estos desechos poseen una alta demanda bioquímica de

oxígeno de alrededor de 2700 mg O₂/ L (Rivera, 1994). Además de que durante el proceso se presentan pérdidas de nutrientes como tiamina, niacina, riboflavina, grasa, y almidón (Acero, 2004).

El proceso tanto tradicional, como el industrial, en su mayoría, tienen como fuente de energía la combustión de hidrocarburos, donde la transferencia de calor no se realiza uniformemente, debido a que el flujo de calor va de afuera hacia el interior del contenedor; siendo el material que se encuentra en el centro el que tarda más en calentarse, mientras que el que está más cercano a la pared exterior sufre una sobreexposición a la fuente de calor, obteniéndose un producto no uniforme en sus cualidades, que necesita de aditivos para ser homogenizado.

A ello se le suma la pérdida de calor por convección a través de las propias paredes de los contenedores, con lo que el proceso no está totalmente controlado en cuanto a su temperatura.

2.3. Procesos alternativos de nixtamalización

Las primeras investigaciones científicas sobre aspectos físico-químicos y nutricionales acerca de la tortilla se iniciaron en los años 50's, cuando también se efectuaron varios esfuerzos por mejorar el proceso tradicional de nixtamalización.

Sin embargo, éstos cubrieron aspectos básicos del proceso ya comercial, los cuales incluían disminuir las relaciones de agua a maíz, la concentración de cal, la temperatura y el tiempo de cocimiento y reposo, pero aún sin considerar cambios significativos al método tradicional de nixtamalización (Vaqueiro y Reyes, 1986).

Sin lugar a dudas, el mayor avance que se ha hecho al respecto es la obtención de harina de maíz nixtamalizada que ahorra el procedimiento cotidiano de nixtamalización para el usuario (FAO, 1993).

Las investigaciones hoy día, tienen diversos enfoques; desde reducir los tiempos de proceso, utilizar una menor cantidad de agua, reducir efluentes contaminantes, diseñar equipos para ahorrar energía, reducir la pérdida de nutrientes, proporcionar

al producto una mayor vida de anaquel y crear procesos alternativos de fabricación de harina. Entre las investigaciones más trascendentes en el rubro se encuentran las descritas a continuación.

Bressani y col. (1962) analizaron un procedimiento basado en cocción con una presión en exceso de 0.35 a 1.05 kg/ cm² sobre la presión ambiental, en condiciones secas y húmedas, durante 15, 30 y 60 min., sin emplear cal. Con base en los resultados encontrados, se determinó que no existió ningún efecto del tratamiento sobre la composición química y digestibilidad real de las proteínas, pero se disminuyó la solubilidad del nitrógeno.

El método de cocción bajo presión sin cal no redujo el contenido de fibra cruda, que es uno de los efectos concretos de la cal por eliminación del pericarpio y el contenido de calcio fue notablemente inferior al de la masa seca elaborada según el método tradicional.

Mendoza (1975) describe un método de cocimiento alcalino de harina de maíz utilizando vapor. El aparato consta de una cámara que en la parte inferior está provista de un ventilador que permite tanto la circulación de aire con un movimiento constante de harina de maíz previamente mezclada con cal; el calor y el agua son suministrados de tal forma que el vapor de agua resultante permite humedecer la mezcla harina-cal, llevándose a cabo el cocimiento; posteriormente, la harina se transfiere a una cámara de enfriamiento y finalmente se muele para obtener la finura requerida.

Molina y col. (1977) ensayaron un procedimiento de producción de harina instantánea para tortillas mediante secado en tambor en una fábrica experimental; para esto mezclaron harina de maíz con agua en una proporción de 3: 1, añadiendo un 0.3 % de cal sobre la base del peso de maíz. Una vez realizada la mezcla, se pasó la masa por un secador de doble tambor calentado con vapor a 15, 20 y 25 libras por pulgada cuadrada (1,05, 1,40 y 1,75 kg por cm²) a 93°, 99° y 104°C de temperatura superficial y a 2, 3 y 4 rpm. El procedimiento produjo una harina instantánea con características fisicoquímicas y organolépticas idénticas a las de la

muestra de referencia elaborada según el método tradicional, pero que diferían de las de un producto comercial.

Otro método de producción de harina instantánea, es el descrito por Johnson y col. (1980), donde mediante la micronización se realiza un procesamiento en seco utilizando quemadores de gas e infrarrojo. Este proceso consiste en mezclar los granos de maíz pre-quebrados en solución diluida de calcio y posteriormente la mezcla se somete a cocimiento por infrarrojo. El grano de maíz es cocido rápidamente desde su parte más interna hacia el exterior e inmediatamente los granos calientes son hojueados en rodillos corrugados de acero, enfriados, y molidos hasta obtener la harina instantánea.

Con base en lo reportado, las pruebas de textura y roabilidad efectuadas en dicho estudio en las tortillas preparadas por micronización fueron comparables a las tortillas elaboradas a partir de una harina instantánea comercial.

El procedimiento, descrito por Deschamps (1985), se basa en el método utilizado tradicionalmente en las zonas rurales. El maíz es cocido con agua y cal, convirtiéndolo en nixtamal, ya sea en tandas o mediante un procedimiento de elaboración continua. Tras su cocción y macerado, el maíz tratado con agua y cal se lava con agua a presión o pulverización y se tritura hasta que forme una masa que se lleva a un secador y se convierte en harina. Dicha harina, formada por partículas de todos los tamaños, se pasa por un tamiz que separa las partículas gruesas de las finas. Las partículas gruesas regresan al molino para ser trituradas otra vez y junto a las finas, constituyen el producto acabado, se envían a las instalaciones de empaquetado, donde se empacan en bolsas de papel reforzado. El rendimiento industrial de la harina de maíz cocido en agua de cal fluctúa entre el 86 y el 95%, según el tipo del maíz, de los granos enteros y las condiciones en que se realiza el tratamiento con cal. Cuando la harina tiene un contenido de humedad del 10 al 12%, es estable frente a la contaminación microbiana. Si la humedad supera el 12% la atacan con facilidad los mohos y las levaduras. Otra cuestión relacionada con la estabilidad de la harina es la ranciedad, que normalmente no constituye un problema salvo que se empaquete a altas temperatura

El método de extrusión para elaborar masa fresca o harinas instantáneas de maíz para preparación de tortillas se reporta por diversos autores (Gómez Aldapa y col., 1999; Martínez Flores y col., 1998; Martínez Bustos y col., 1996; Johnson y Williams, 1992; Serna Saldivar y col., 1988; Bazúa y col., 1979; Guerra, 1978).

En general, la técnica se basa en el uso de un extrusor o tornillo sinfín cubierto por un tubo en cuyo exterior puede regularse la temperatura según las necesidades (Figura 5). El tornillo transporta el material (granular o fluido), que pasa entre la cuerda del tornillo y el tubo envolvente, hasta que la fricción lo deforma. El material, ya deformado, sale por el extremo opuesto a través de una boquilla que le da la forma que requiera.

Los autores mencionan que para el desarrollo de dicha tecnología, se retomó que la extrusión es un proceso utilizado en la industria harinera desde el siglo XIX, en la preparación de pastas de trigo como el espagueti. También se emplea para preparar soya, añadir proteínas vegetales a la carne y en la preparación de papillas. En la extrusión de maíz no es necesario cocer el grano antes. La molienda se hace con el maíz crudo, que se usa integral, con cascarilla y fibra, conservando un 80% más de nutrimentos naturales en la masa comparado con el proceso de nixtamalización tradicional. Este proceso es considerado una tecnología limpia, que con la combinación de calor y esfuerzo mecánico propicia la gelatinización y dextrinización de los gránulos de almidón, desnaturalización de proteínas e inactivación de enzimas, así como la destrucción de compuestos antinutricios, sin embargo en algunos casos se puede producir sobregelatinización del almidón, dando características como alta dextrinización dependiente de la relación agua/ almidón, de la temperatura, del tamaño de partícula, que son más deseables en productos expandidos como las botanas (Pérez Navarrete y col., 2007).

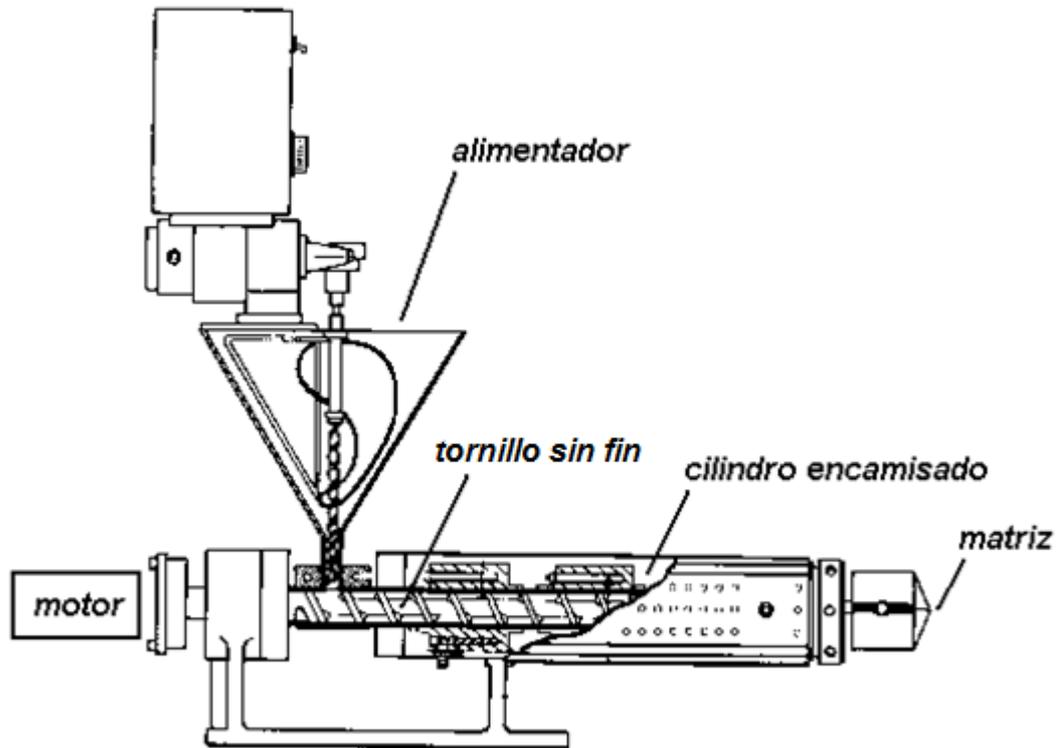


Figura 5. Extrusor para diferentes productos.

Fuente: Martínez Bustos. Curso de Tecnología de Almidones. CICATA, Qro. 2008.

Entre otros procesos reportados está el cocimiento dieléctrico para la producción de harina de maíz para elaborar frituras de tortilla. El proceso es realizado utilizando como fuente de calor dos electrodos de Cu-Ni conectados a corriente, con un voltaje constante. En este proceso se aprovecha la disipación de calor producida al hacer pasar la corriente por una solución de agua-cal y maíz. Durante el procedimiento, se utiliza el maíz entero. Las variables de los tratamientos son concentraciones diferentes de cal que influyen en el paso de la corriente y por lo tanto en el cocimiento del maíz. Con base en los resultados reportados, se obtuvo una variación de color en función de las diferentes concentraciones de cal, menor viscosidad en muestras con y sin cal del proceso dieléctrico con respecto a la harina de nixtamal y menor capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS) en las muestras del cocimiento dieléctrico; en este caso el menor CAAS relacionado con la humedad de la tortilla que será destinada a fritura es una cualidad deseable, pues

permite una menor absorción de grasa en el proceso de freído. Las harinas obtenidas en este proceso presentan buenos resultados, colocando el método como otra opción para elaboración de harina como base para producir botanas de maíz (Gaytán Martínez y col., 2000).

2.3.1. *Harina de maíz nixtamalizado*

La industria de la harina de maíz nixtamalizado data de 1949, momento en que inició sus actividades el grupo industrial Molinos Azteca, S. A. (MASECA). Hoy día existen ya varias marcas de harinas de maíz nixtamalizado, sin embargo, son sólo tres las que principalmente se producen y consumen en México: MASECA, MINSA y Agroinsa (Flores Farías, 2004).

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NMX-F-046-S-1980, la harina de maíz nixtamalizado se define como el producto que se obtiene de la molienda de los granos de maíz (*Zea mays*) sanos, limpios y previamente nixtamalizados y deshidratados siguiendo el proceso tradicional de nixtamalización (cocción de los granos de maíz, en agua con cal (calhidra), en proporción aproximada de 700 a 800g de cal por cada 75 kg de granos de maíz, se escurren, quedando listos para la elaboración de la harina, previo lavado y deshidratación), y que cumpla con las siguientes especificaciones físico químicas:

- Color: Debe ser blanco amarillento o característico de la variedad de grano empleado.
- Olor: Debe ser característico y no presentar signos de rancidez u otro olor extraño.
- Sabor: Debe ser característico del producto y no tener ningún sabor extraño.
- Aspecto: Debe ser granuloso con una finura tal que el 75% como mínimo pase a través de un tamiz de 0.250 mm de abertura de malla, tamiz No. 24 M.- 60 US.

- La harina deberá cumplir con las especificaciones químicas expuestas en la Tabla 9.

Tabla 9. Contenido proximal especificado para harinas de maíz nixtamalizado

| ESPECIFICACIONES | MÍNIMAS % | MÁXIMAS % |
|---------------------------------|-----------|-----------|
| Humedad | - | 11.0 |
| Proteínas (Nitrógeno x 6.25) | 8.0 | |
| Cenizas | - | 1.5 |
| Extracto etéreo | 4.0 | |
| Fibra cruda | - | 2.0 |

Fuente: NOM Harina de maíz

Las especificaciones microbiológicas, mencionan que el producto no debe contener microorganismos patógenos, ni más de 1000 UFC/g de hongos, ni biotoxinas fuera de los límites que la Secretaría de Salubridad y Asistencia especifica. Debe, además, estar libre de plaguicidas y no exceder el límite del contaminante metálico Arsénico en 0.3 mg/ Kg (ppm) máximo, estar libre de fragmentos de insectos, pelos y excretas de roedores, así como de cualquier otra materia extraña. Los ingredientes básicos de preparación deben ser: maíz, agua y cal (NMX- F- 046- S- 1980, Banco de normas 2004).

2.4. Caracterización de harinas de maíz

La caracterización de productos tiene un interés trascendental, tanto en procesos conocidos como en procesos nuevos. Las cualidades que se analizan permiten describir el producto, su funcionalidad y su calidad. En este proyecto la parte medular se centra en la caracterización de las harinas procesadas por calentamiento óhmico, debido a que se comparan dos métodos: uno tradicional y uno nuevo. Esta comparación se hace con base a su funcionalidad, propiedades fisicoquímicas y reológicas.

Las propiedades físicas nos permiten conocer el comportamiento de la harina y determinar si es funcional para el uso al que se está destinando. Por ejemplo, se puede conocer a través del tamaño de partícula, si se trabaja con un maíz duro o suave. Por otro lado con valores de ISA (índice de solubilidad en agua), IAA (índice de absorción en agua) y CAAS (capacidad de absorción de agua subjetiva) se puede saber qué tan cocido está el maíz y cuánto daño de almidón presenta el material; mientras mayor daño exista en el almidón, la harina tenderá a absorber una mayor cantidad de agua, que se reflejará en el rendimiento de masa y de tortillas.

El pH y el color se pueden relacionar con la cal agregada en la preparación, la intensidad del lavado y el tipo de maíz utilizado (Véles Medina, 2004).

En cuanto a la reología en masa y tortilla, las propiedades texturales medidas en ambas permiten conocer información sobre la calidad de las mismas. Por medio de equipos como el texturómetro es posible cuantificar la dureza de una tortilla al morderla, esto, como la fuerza necesaria para cortarla, que en general es una percepción sensorial (Reyes y col., 1998).

En el caso de la masa, es importante conocer su comportamiento reológico, que nos dirá si la masa es moldeable, no muy dura, ni muy pegajosa, y si es posible troquelar las tortillas (Bello Pérez y col., 2002)

Entre los trabajos de caracterización están los realizados por Bressani y col. (2001), que hacen un estudio de 12 marcas de harinas de maíz nixtamalizado, de consumo en América central; su objetivo fue obtener información útil para la fortificación del alimento. Dentro del estudio, analizan parámetros físicos y químicos de la harina, relacionados con la calidad de la misma. Las características físicas que analizan son: granulometría o tamaño de partícula de la harina, verificando que en base a norma la partícula esté en el rango de 250 μm (malla No. 60), los valores de IAA los reportan en un rango de 3.41 a 4.02 g gel/ g harina seca, la densidad del material reportada de 0.41 a 0.547 g/ mL, relacionada con la finura, el grado de cocimiento y la dureza del maíz y el pH que encontraron fue de 5.4 a 7.5. La caracterización

química incluyó todo el estudio bromatológico, donde reportan humedades de 10.09% en promedio, las cuales fueron menores al 15%, que es lo que establece la norma del producto en Guatemala, en grasa encuentran valores de 2.16 a 3.48%, proteína de 6.7 a 8.1%, cenizas y fibra dietética de 7.7 a 12%, además minerales: Zn, Ca, P, Mg, Mn, Fe, Cu, así como ácido fítico. En los resultados hubo variaciones importantes en los parámetros de pH, IAA, y análisis proximales; los autores atribuyen las diferencias a los procesos de elaboración y al genotipo de maíz utilizado.

Flores Farías y col. (2002), por su parte, analizaron diferentes harinas comerciales mexicanas, caracterizándolas con base a su humedad, pH, tamaño de partícula, densidad aparente, CAAS, capacidad de hidratación (CH), ISA, color, análisis proximales (extracto etéreo, proteína, carbohidratos), almidón, amilosa, contenido de Ca y aditivos (gomas, ácidos grasos y conservadores). Sus resultados muestran que en las harinas comerciales expandidas para amas de casa, se adicionan aditivos para mejorar las características reológicas, tales como las gomaz guar y xantana, que mejoran la textura en masa y tortilla, ácidos grasos como oléico, linolénico y linoléico, que prolongan la vida útil de la tortilla retardando la retrogradación, y antimicrobianos como el ácido propiónico, fumárico y sorbato de potasio. Dentro de sus resultados, existe una alta variación de las propiedades evaluadas en las diferentes marcas, en la mayoría de los casos, atribuida al proceso, en otros casos a la presencia de los aditivos, en otros a la diferencia entre los granos utilizados como materia prima en cada industria. El ISA se considera que varió significativamente en las diferentes harinas debido al grado de cocimiento. Los tamaños de partícula tuvieron diferencias entre las harinas analizadas, aunque todos los valores se encontraron dentro de la NOM (t. p. < 250 μ m); esta variación se atribuyó a los diferentes genotipos de maíz usados; dureza de los mismos, tiempos de cocimiento, reposo de nixtamal y molienda. Reportan que la densidad presentó grandes diferencias que estaban relacionadas con el tamaño de partícula (partículas finas; densidad baja). La humedad mostró variaciones ligeras, pero se encontró dentro de la NOM, que especifica un máximo de 11%. Las variaciones en cuanto al contenido proteína son atribuidas al tipo de grano.

Dentro de las técnicas que se han establecido para el análisis de la textura en tortilla, está la reportada por Arámbula Villa y col. (2004), que emplea un texturómetro TA-TX2, establece una metodología de medición, donde utiliza una probeta en forma de "I", para la evaluación del parámetro de tensión como la fuerza máxima necesaria para rasgar una tortilla. La probeta permite que el rasgado en la tortilla se realice en la parte central de la misma, reduciendo la aparición de sesgos en los resultados. Esta característica es muy importante porque está relacionada con la percepción sensorial del consumidor. En los experimentos realizados se encontró un rango repetible de la medida de fuerza de tensión en tortillas que va de 52g a 356g de fuerza, con una media de 152g.

Todas las investigaciones mencionadas en este apartado son un antecedente de caracterización que serán útiles en la comparación de resultados finales de este trabajo. Con base a la revisión de textos que abarcan la caracterización de harinas y productos de harina de maíz nixtamalizada, se encontró que las características más representativas fisicoquímicamente en este producto son ISA, IAA, CAAS, color, tamaño de partícula, análisis proximales, pH y viscosidad en harina; rendimiento, humedad, fuerza de adhesión y fuerza de cohesión en masa; humedad, color, roabilidad, vida útil, pH y resistencia a la tensión y al corte en tortilla.

2.5. Calentamiento óhmico

2.5.1. Principio del calentamiento óhmico

Para poder entender el principio de la tecnología de calentamiento óhmico es necesario recordar que, si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren los electrones con los átomos del material conductor por el que circulan, ocasionando una elevación de la temperatura del mismo. Este efecto es conocido como Efecto Joule en honor a su descubridor el físico británico James Prescott Joule, que lo estudió en la década de 1860 (Resnick, 2003). El calentamiento óhmico es, entonces, originado por el efecto Joule descrito anteriormente, y en la

última década ha sido aprovechado por la industria de alimentos. El modelo de la celda de calentamiento óhmico que se utiliza en este proyecto se muestra en la Figura 6, donde se ilustran los componentes del sistema. El alimento en este caso, se coloca en el interior de la celda en contacto directo con los electrodos, a manera de dieléctrico.

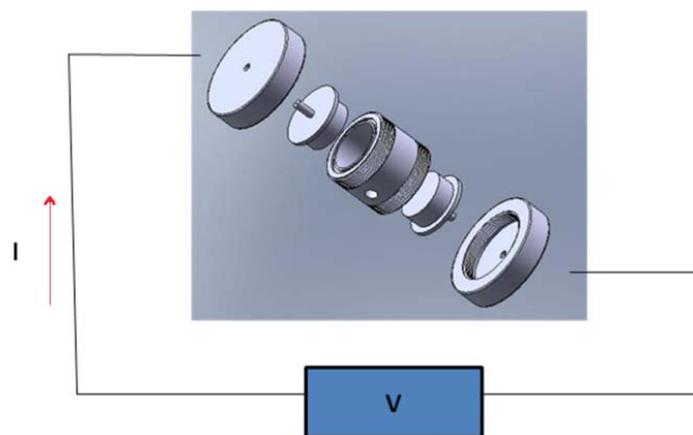


Figura 6. Diagrama de celda para cocimiento de harina por calentamiento óhmico.

Este proceso térmico tiene en general como variables críticas del proceso al tiempo, a la temperatura y a variables adicionales como las propiedades termofísicas del alimento, tales como la conductividad eléctrica, las fases del mismo, el diseño del dispositivo de calentamiento y la fuerza del campo eléctrico.

En el caso de la conductividad eléctrica, ésta es muy importante; sobre todo en materiales heterogéneos, debido a que ésta es afectada por la composición del alimento (FDA, 2000). Por otro lado, la conductividad eléctrica de la mayoría de los alimentos aumenta con la temperatura (Palaniappan y Sastry 1991; Halden y col. 1990), haciendo el calentamiento óhmico más eficiente; sin embargo, el aumento de temperatura, también incrementa la posibilidad de pérdida de calor, y formación de arco debido a la deposición de material proteico sobre las superficies de los electrodos. Otro factor que afecta de manera importante la conductividad eléctrica es el contenido iónico, y la cantidad de grasa del alimento. En cuanto al contenido iónico es posible formular productos con niveles de sal diseñados para un calentamiento óhmico eficaz. En lo referente al contenido de grasa, los glóbulos de

la misma, pueden ser menos conductivos y provocar un calentamiento no uniforme (Davies y col. 1999). La cantidad de calor producida es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad del campo eléctrico, y a la conductividad eléctrica (Sastry 1994).

Por otro lado, la intensidad del campo eléctrico puede variarse modificando el voltaje aplicado y controlarse mediante el diseño del equipo. Otros factores a considerar, respecto al diseño, son la posición de los electrodos, y la dirección del campo. Generalmente un dispositivo puede funcionar con alto voltaje y una corriente relativamente baja. Otras propiedades de los alimentos que pueden afectar la distribución de calor son la densidad y el calor específico del alimento. Una alta densidad y un alto calor específico en el alimento, produce un calentamiento lento (Davies y col. 1999).

2.5.2. Aplicaciones del calentamiento óhmico en alimentos

El calentamiento óhmico es una tecnología relativamente nueva y muy prometedora. Actualmente existen más de 50 plantas distribuidas en el mundo que utilizan el calentamiento óhmico para procesar alimentos (Simpson, 2007). Los primeros en reportar su uso en alimentos fueron los doctores Robert Stirling y Paul Skudder (1990), que demostraron que existían ventajas de este nuevo proceso sobre los métodos convencionales para procesar alimentos. La principal ventaja del método que se ha observado es que es un procedimiento rápido, que permite que el alimento conserve su calidad original.

El calentamiento óhmico logra una mejor distribución del calor que las microondas, esta característica lo hace especialmente útil en el caso de alimentos particulados, salsas, purés de frutas, huevo líquido o productos cárnicos. Este tipo de tratamiento evita sobrecalentamientos, lo que permite un menor deterioro en los constituyentes y una menor formación de depósitos, haciéndolo útil en aplicaciones sobre alimentos ricos en sales y proteínas, como la leche. Los usos del calentamiento óhmico en alimentos incluyen escaldado, pasterización, esterilización,

descongelación, evaporación, deshidratación, fermentación y extracción (Villamiel, 2006).

Otras ventajas son que el flujo de calor en el alimento es uniforme (Lozano, 1994). En cuanto a los costos de operación puede considerarse de bajo costo en relación a la transformación de energía incidente en calor; esto es, a pesar de utilizar energía eléctrica para llevarse a cabo, el calentamiento óhmico es un método en el que un 95% de la energía se transforma en calor, mientras que en un calentamiento con microondas suele ser un 70% como máximo (VillaMiel, 2006).

Los usos en esterilización son prometedores, con base a investigaciones previas, se ha encontrado que con una intensidad de campo eléctrico alta (104-105 V/cm) se puede producir inactivación microbiana. Campos eléctricos con intensidades bajas (de 100 V/cm), son útiles para procesos de extracción y secado en alimentos (Wang y Sastry, 2002).

Entre los últimos trabajos realizados con calentamiento óhmico, Li y col. (2003), reportaron el uso de la tecnología de calentamiento óhmico para medir la temperatura de gelatinización del almidón, basados en los cambios de conductividad eléctrica. En sus resultados muestran que existe una relación lineal de la conductividad eléctrica con la temperatura, con una correlación muy cercana a 1 ($R^2 > 0.999$), excepto en el rango de gelatinización. Los resultados son comparables con los que se obtienen de un termograma común de DSC, y la temperatura de gelatinización puede determinarse de ambas curvas.

Reportes por McKenna y col. (2006) mencionan el uso del calentamiento óhmico en procesamiento de productos cárnicos. Las variables que consideraron importantes para la cocción fueron el coeficiente dieléctrico y la pérdida del mismo a lo largo del proceso, otras variables de interés fueron la capacidad calorífica del material y la conductividad térmica. En sus resultados, muestran que la conductividad eléctrica es una variable crítica de control y que interactúa con las conductividades individuales del alimento influyendo directamente en el proceso de calentamiento. En su reporte mencionan que la carne baja en grasa (o productos de la misma) son

altamente conductores, a diferencia de las carnes con alto contenido graso; sin embargo esta relación de disminución de conductividad en base al contenido de grasas no es lineal.

Simpson y col. (2007) realizaron una comparación de un método convencional de deshidratación osmótica en frambuesas, comparado con deshidratación utilizando el calentamiento óhmico; la variable monitoreada fue la concentración de sólidos en °Brix encontrándose resultados equiparables entre ambos métodos, pero en el caso de calentamiento óhmico la saturación se alcanzó en menor tiempo.

Capítulo 3. Justificación

En la actualidad se consume una gran cantidad de productos que se elaboran con harina instantánea de maíz nixtamalizado. El proceso industrial de producción de estas harinas se basa en el proceso tradicional de nixtamalización, y por lo tanto, tiene la desventaja de tener largos periodos de procesamiento, bajo aprovechamiento de la energía incidente, poco control de las temperaturas de proceso, pérdidas de nutrientes durante el lavado y generación de una gran cantidad de efluentes contaminantes. En la última década se han publicado artículos científicos acerca de un nuevo proceso de cocimiento denominado calentamiento óhmico, esta tecnología aún no ha sido utilizada en harinas de maíz, en donde su aplicación puede tener las siguientes ventajas: no generación de efluentes, aprovechamiento hasta en un 95% de la energía que se aplica, un control puntual de la temperatura de proceso, y tiempos más cortos de procesamiento.

De acuerdo a lo anterior, en la presente investigación se propone la caracterización de una harina instantánea de maíz, obtenida a través de la tecnología de calentamiento óhmico. El objetivo de la caracterización es determinar si la harina instantánea obtenida cumple con las características de calidad que se requieren para ser considerada una harina nixtamalizada.

La importancia de esta caracterización permitirá decidir si por medio del proceso de calentamiento óhmico es posible obtener una harina con características similares a la tradicional, pero con la diferencia de utilizar un proceso con grandes ventajas ecológicas y energéticas.

Capítulo 4. Objetivos

4.1. Objetivo General

- Caracterizar harinas instantáneas de maíz obtenidas por el proceso de calentamiento óhmico, y determinar si tienen características físicas y químicas similares a una harina instantánea de maíz obtenida por el método tradicional.

4.2. Objetivos Específicos

- Obtener harinas de maíz mediante el proceso tradicional y por calentamiento óhmico.
- Caracterizar física y químicamente las harinas obtenidas por ambos procesos.
- Comparar la harina control y las harinas obtenidas por calentamiento óhmico.

Capítulo 5. Materiales y métodos

Para cumplir con los objetivos antes descritos se planteó una metodología general, la cual consistió en obtener una harina nixtamalizada que se utiliza como control, elaborar harinas utilizando el calentamiento óhmico, caracterizar física y químicamente ambas harinas, compararlas y concluir acerca de la calidad del producto obtenido. En este apartado se describe detalladamente los materiales y los métodos que se utilizaron tanto para obtener las harinas como para caracterizarlas.

La primera parte describe la obtención de la harina nixtamalizada por el método tradicional y por el método de calentamiento óhmico. La segunda menciona los métodos de caracterización de las harinas en los diferentes niveles: harina, masa, tortilla.

5.1. Materiales

5.1.1. Equipos

Los equipos que se utilizaron en esta investigación son los siguientes:

Maquina tortilladora manual de Tortilladoras González, S. A de C. V., México.

Secador Flash Tecnología de CINVESTAV- Querétaro, con capacidad de 50 Kg/h.

Analizador de textura Texture Analyser modelo TA-TX2, con celda de carga de 25 kg. Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey UK, Vienna.

Balanza analítica con capacidad de 410 g, con ± 0.0001 g de precisión, Ohaus Modelo E14130, OHAUS Systems, USA.

Molino PULVEX 200 de Maquinaria para molienda S. A. de C. V., México, con mallas de 0.5, 0.8 y 1.3 mm.

Potenciómetro CONDUCTRONIC Modelo PC45, LABEQUIM, S. A DE C. V., Puebla, México.

Equipo de tamizado Ro-Tap Modelo Rx-29 de Tyler Incorporated con mallas de 14, 20, 30, 40, 60, 80 y 100 mesh. Cleveland, Ohio, USA.

Colorímetro Portátil MiniScan de Hunterlab XE, Reston Virginia, USA.

Estufa de gas, Mabe modelo PMC3261L, México.

Comal de acero inoxidable de 1.58 mm de espesor.

Material de vidrio para preparación y análisis de muestras.

Pistola de infrarrojo para medir temperatura marca Raytek, Santa Cruz, Ca., USA, modelo Raynger ST-4.

Equipo de cómputo.

Celda de calentamiento óhmico con control de temperatura y software, tecnología desarrollada en CICATA- IPN, Querétaro (Patente en trámite).

Horno de secado con circulación de aire Marca BINDER FD-53 UL 0589453, Alemania.

Horno Mufla Marca Felisa, con temperatura máxima de 1100°C, Modelo FE-331, México.

Balanza OHAUS Explorer E14130, capacidad máxima de 410 g. USA

Analizador de Viscosidad RVA Rapid Visco Analyser, Newport Scientific, Warriewood, Australia.

Digestor y destilador de proteínas por Kjeldahl Marca Gerhardt Modelo KB8S-BS, Alemania.

Bascula Digital Tor-Rey Modelo EQV-W, con capacidad de 100 kg, México.

Horno de secado Felisa TE-H35, con temperatura máxima de 200°C, México.

Centrífuga de mesa Marca Hermle modelo Z-200, con capacidad de 200 a 6000 rpm. Labortechnik, Alemania.

5.1.2. *Materia prima*

Maíz comercial Sinaloa, cosecha 2007 comprado en el mercado de abastos de la ciudad de Querétaro, entero y molido con mallas de abertura 0.5, 0.8 y 1.3 mm.

Agua purificada comercial marca Junghans.

Cal anhidra, calidad grado alimenticio.

5.1.3. *Reactivos*

Para determinación de proteínas se utilizaron reactivos marca J.T. Baker, los cuales fueron: H₂SO₄, NaOH, verde de bromocresol, etanol, rojo de metilo, H₃BO₃, HCl y agua destilada.

Para la determinación de extracto etéreo, se utilizó éter etílico de J.T. Baker, como solvente.

Para determinación de fibra cruda se utilizó NaOH, y H₂SO₄ de J.T. Baker.

NOTA: Todos los reactivos químicos que se utilizaron en las determinaciones contaron con pureza grado reactivo.

5.2. Obtención de harina control por nixtamalización tradicional

5.2.1. Limpieza de maíz

Se realizó una limpieza del maíz con la finalidad de eliminar maíz dañado o podrido, y cualquier tipo de contaminación física. El procedimiento se efectuó con ayuda de una criba metálica con una abertura de 5 mm.

5.2.2. Nixtamalización

El maíz limpio se coció a fuego directo en un recipiente de aluminio, con una relación de 2 L agua/ Kg maíz, y 1% de cal, durante 25 a 30 minutos, y posteriormente se dejó reposar 19 hrs.

5.2.3. Lavado del nixtamal

Se separó el agua de cocimiento del maíz cocido (nixtamal) en un recipiente para cada muestra, y el nixtamal se lavó con agua purificada en proporción 1:1 con respecto al peso del maíz, para eliminar el exceso de cal y el pericarpio desprendido.

5.2.4. Secado de la masa, molienda y almacenamiento

La masa obtenida de la molienda se secó en un secador tipo Flash (Desarrollo de CINVESTAV), con una temperatura de entrada de 270 a 275°C y una temperatura de salida de 40°C. Este procedimiento se realizó con la finalidad de obtener una harina con una humedad de 8 a 10%. Posteriormente la harina obtenida se molió en un molino Pulvex con malla 0.5 mm. La harina seca se almacenó en bolsas separadas en una cámara fría a una temperatura de 4°C.

5.3. Obtención de harina por calentamiento óhmico

La obtención de la harina por calentamiento óhmico se realizó con maíz molido, que se obtuvo al moler el maíz crudo y limpio (libre de contaminación física) en un molino Púlvex a las granulometrías de 0.5, 0.8 y 1.3 mm. El material se mezcló con 0.3 % de cal, de acuerdo a lo reportado por Rodríguez García y col. (1995), que menciona que el valor óptimo de adición de cal es de 0.2 a 0.25% p/p, debido a que es la cantidad de cal que reacciona completamente con los grupos hidroxilo de las moléculas de almidón. En los tratamientos realizados por calentamiento óhmico se adiciona un ligero exceso del hidróxido de calcio, para asegurar esta reacción en esas condiciones. Posterior al mezclado, se acondicionó la harina cruda a la humedad correspondiente de acuerdo al tratamiento referido por el diseño de experimentos. El material acondicionado se coció en una celda de Nylamide por medio de dos electrodos de acero inoxidable conectados a una fuente de voltaje. La potencia inicial fue calculada con respecto a la masa del material; esto es, se empleó en cada muestra aproximadamente 1W/g de masa seca, para tener un tiempo de proceso aproximado de 3 minutos y estandarizar todos los tratamientos. El valor de potencia, temperatura y corriente se registró en un software para control de la celda óhmica. La fuente de voltaje se controló de forma manual aumentando lentamente el voltaje necesario para alcanzar la potencia inicial requerida.

La masa obtenida por calentamiento óhmico se secó en un secador tipo Flash (desarrollo de CINVESTAV), con una temperatura de entrada de 270 a 275°C y una temperatura de salida de 40°C. Este procedimiento se realizó con la finalidad de

obtener una harina con una humedad de 8 a 11%, posteriormente la harina obtenida fue molida en un molino Púlvex con malla 0.5 mm. La harina seca, se almacenó en bolsas separadas en una cámara fría a una temperatura de 4°C, para sus análisis posteriores.

5.4. Caracterización en nixtamal

5.4.1. pH de nejayote

Se tomaron alícuotas de 10 mL del nejayote previamente homogenizado. Se midió el pH con un potenciómetro calibrado con 2 soluciones estándar de pH 4 y pH 7.

5.4.2. Humedad del nixtamal y sólidos totales en nejayote y agua de lavado

Se determinó la humedad del nixtamal y los sólidos totales presentes en el nejayote y agua de lavado, por método 44-16 AACC (1995), que consiste en un secado en estufa a 105°C por 24 hrs. La determinación de la humedad se obtuvo por diferencia de pesos, expresada en porcentaje, a través de la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{\text{Peso de la muestra inicial} - (\text{Peso de recipiente con muestra seca} - \text{peso de recipiente})}{\text{Peso de la muestra inicial}}$$

Donde %H = Porcentaje de humedad

La determinación de sólidos totales, igualmente se expresa como un porcentaje, y se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$\%Sólidos\ totales = 100 * \frac{1 - (\text{Peso de la muestra inicial} - \text{Peso de la muestra seca})}{\text{Peso de muestra inicial}}$$

5.5. Caracterización física de harinas obtenidas por método tradicional y por calentamiento óhmico

5.5.1. Distribución del tamaño de partícula

Para determinar la granulometría de las harinas obtenidas se utilizaron los procedimientos y sugerencias descritos por Bedolla y Rooney (1984). Se pesaron muestras de 100 g de harina y se agitaron en el equipo de tamizado Ro – Tap durante 15 minutos, al término del tiempo se separaron y pesaron las fracciones retenidas en las diferentes mallas. Las mallas utilizadas fueron los siguientes números: 14, 20, 30, 40, 60, 80, 100 y charola (Figura 7). La correspondencia de valores en mm se muestra en la Tabla 10.



Figura 7. Tamices vibratorios de diferentes números.

Fuente: www.rickly.com/sai/images/ROTAP.JPG

Tabla 10. Tamaños de abertura de acuerdo al número de malla (mesh)

| Malla o No. De Tamiz | Tamaño de apertura |
|----------------------|------------------------------|
| 14 | 1.41 mm |
| 18 | 1 mm |
| 20 | 0.841 mm = 841 μm |
| 30 | 0.594 mm = 594 μm |
| 40 | 0.419 mm = 419 μm |
| 60 | 0.250 mm = 250 μm |
| 80 | 0.178 mm = 178 μm |
| 100 | 0.150 mm = 150 μm |
| 120 | 0.125 mm = 125 μm |

El valor del porcentaje retenido en cada malla se determinó por la siguiente fórmula:

$$\%R_{mn} = \frac{100 * P_n}{PI}$$

Donde:

$\%R_{mn}$ = Porcentaje retenido en la malla n.

P_n = Peso del producto retenido en la malla n

n = Número de malla.

PI = Peso de la muestra inicial.

5.5.2. Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA)

Se determinaron los IAA e ISA en las harinas de acuerdo a la metodología descrita por Anderson (1969). Este análisis permite cuantificar la cantidad de agua incorporada a la harina y el porcentaje de sólidos solubles disueltos en agua a una temperatura de 30°C. Cada muestra de harina de 2.5 g en base seca, fue colocada en tubos de propileno de 50 mL previamente tarados y se adicionaron 40 mL de agua destilada. Los tubos fueron colocados en un baño María con agitación a 30°C

durante 30 minutos. Pasado este tiempo los tubos se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 minutos. El sobrenadante se vertió cuidadosamente en vasos tarados para evaporarse en estufa a 105°C durante 24 hrs. y se pesó el residuo de evaporación. Por otro lado, se determinó el peso del residuo de centrifugación por diferencia de peso de los tubos de propileno con el gel. El IAA se expresó como una relación del peso del residuo de la evaporación y el peso seco de la muestra. Para calcular los índices se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$IAA = \frac{\text{Peso del residuo de centrifugación}}{\text{Peso seco de la muestra} - \text{Peso del residuo de evaporación}}$$

$$\%ISA = \frac{\text{Peso del residuo de evaporación}}{\text{Peso seco de la muestra}} * 100$$

5.5.3. *Color de la harina*

La determinación del color se realizó con un colorímetro Miniscan Hunter Lab, con el que se midió el color de las harinas colocadas en una caja de petri y cubiertas con una superficie de vidrio plano y transparente; se colocó el equipo sobre esta superficie y se realizó el escaneo del color de la harina. El principio del equipo se basa en registrar la intensidad de la luz absorbida por el color negro, y reflejada por el color blanco, así como la descomposición de la misma en los colores rojo, azul, amarillo y verde. Los valores que caracterizan a estos colores son a, b, y L. El eje L o de luminosidad va del 0 que corresponde al negro, al 100 correspondiente al blanco (Figura 8). Los otros dos ejes de coordenadas a y b representan variación del rojo (valores positivos) al verde (valores negativos) y de amarillo (valores positivos) a azul (valores negativos), respectivamente (Hunter Lab, 2001).



Figura 8. Escala cromática L, a, b.

Fuente: <http://www.docstoc.com/docs/1006629/LAB-COLOR-SCALE-CHART>

5.5.4. *pH de harinas*

Éste fue determinado en las harinas a temperatura ambiente, según el procedimiento descrito por 02-52 AACC (1995). Se mezclaron 10 g de harina y 90 mL de agua destilada a temperatura ambiente durante 15 minutos, posteriormente la mezcla se dejó reposar por 30 minutos. Se determinó el pH del sobrenadante por triplicado, con un potenciómetro (CONDUCTRONIC PC45) previamente calibrado con estándares 7 y 10.

5.5.5. *Viscosidad de suspensiones acuosas de harina*

La determinación de viscosidad dinámica se realizó con el Rapid Visco Analyser. De acuerdo a lo descrito por Fernández Muñoz y col. (2008). Se utilizaron 4 ± 0.0001 g de harina de maíz con una humedad menor a 10%. La muestra con tamaño de partícula $<250 \mu\text{m}$ (malla 60), se acondicionó en una solución a 14% de humedad.

Para el acondicionamiento de las muestras, éstas se colocaron en un recipiente de aluminio y se les adicionó agua destilada hasta que alcanzaron un peso de 28 g., posteriormente se le colocó un agitador plástico (del equipo) al recipiente, el cual se colocó en el equipo RVA; por medio del agitador la señal de viscosidad fue registrada en un programa de cómputo. El perfil de temperatura fue: Tiempo Inicial de 1 minuto a temperatura de 50°C, subiendo enseguida de 50°C a 90°C, con una rampa de 6°C/ min, y manteniendo la temperatura en 90°C durante 6 min, para terminar con un enfriamiento de 90°C a 50°C, con rampa de -6°C/min (Figura 9). Con este programa de temperatura se construyó el perfil viscoamilográfico en un sistema dinámico, a partir del cual se obtuvieron valores de temperatura de pastificado, viscosidad máxima, viscosidad mínima, viscosidad final y el cálculo de retrogradación.

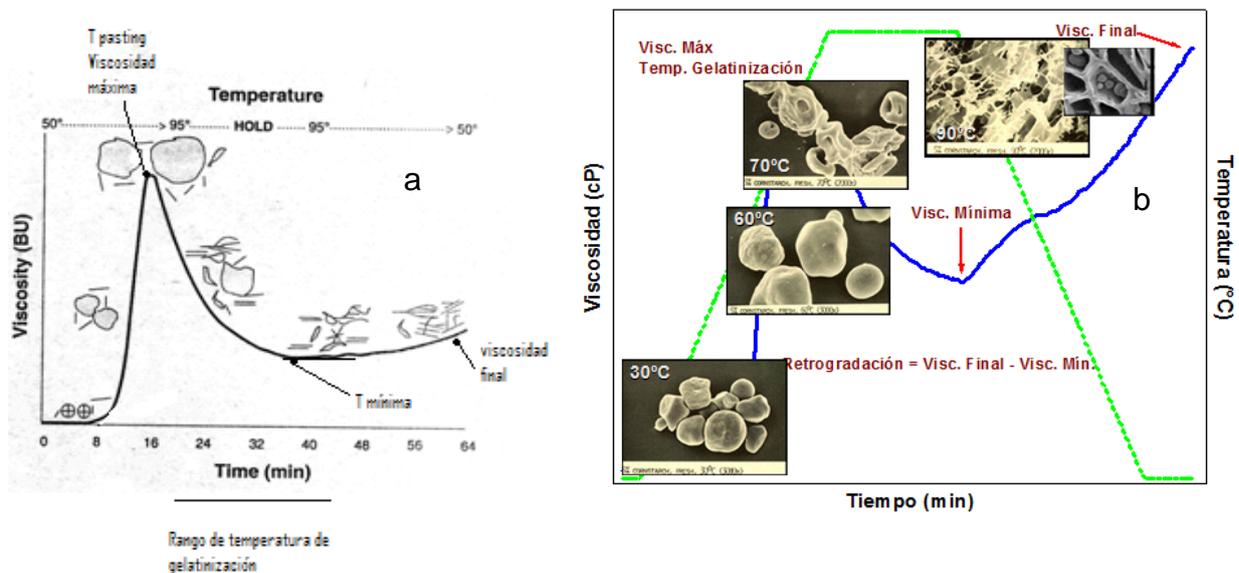


Figura 9. Rampa de temperatura y perfil de viscosidad.

Fuente: ^a Introducción a la química de los alimentos, Owen R. Fennema. ^b Martínez Bustos F. Curso de Tecnología de Almidones, 2008.

5.6. Caracterización química de las harinas

Los análisis químicos se hicieron mediante las técnicas aprobadas de la AACC (1995), se determinó humedad, contenido de grasa, contenido de proteínas, fibra cruda y contenido de cenizas, y se obtuvo el valor de carbohidratos por diferencia de las determinaciones.

5.6.1. Determinación del contenido de humedad de la harina

La determinación de humedad de las harinas se realizó empleando el método 44-19 de la AACC (1995). Se pesaron 3 g de muestra completamente homogénea en cápsulas previamente secadas y taradas. Se colocó la muestra en la estufa durante 24 h a 110°C y después se pasó a un desecador y se pesó cuando alcanzó la temperatura ambiente. El cálculo de humedad se realizó por la diferencia de peso.

5.6.2. Determinación del contenido de proteína cruda en harina.

Se utilizó el método 979.09 de la AOAC (1990) con las modificaciones recomendadas por el sistema de digestión Kjeldahl (Modelo KB8S-BS) y de la unidad de destilación UDK-127, ambos de la marca Gerhardt. Para la determinación, el método de Kjeldahl determina la proteína bruta que es equivalente a la materia nitrogenada total mediante una digestión ácida (H_2SO_4), convirtiendo el nitrógeno presente en sal de amonio, que es destilada y transformada en amoniaco (digestión alcalina), que también se destila y se cuantifica por medio de una titulación indirecta del ácido sulfúrico que queda sin reaccionar. Para su determinación se pesaron 0.5 g de muestra previamente desengrasada y se pasó a un tubo del digestor con 10 mL de H_2SO_4 concentrado y una pastilla de mezcla reactiva (1.5 g de Sulfato de potasio y 0.15 g de sulfato cúprico de la compañía Thompson and Capper Ltd., Runcorn, Cheshire WA7 1PH, Inglaterra), y se colocó en el sistema digestor y posteriormente a la unidad de destilación. El amoniaco fue capturado en una solución de ácido bórico al 4%, siendo titulado con ácido

clorhídrico 0.1 N. Se usó una solución indicadora de rojo de metilo-verde de bromocresol.

El porcentaje de nitrógeno se calculó por la siguiente fórmula:

$$\%N = \frac{(V1 - V2) * \text{meq N} * \text{Norm HCl} * 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

Donde:

%N = Porcentaje de nitrógeno

V1= Volumen en mL de HCl gastados en la muestra.

V2= Volumen en mL de HCl gastados en el blanco.

meq N = miliequivalente de nitrógeno (N₂).

Norm HCl= Normalidad de la solución de HCl para la titulación.

Los resultados se reportaron como porcentaje de proteína, usando el valor de 6.25 como factor de conversión de porcentaje de nitrógeno a porcentaje de proteínas de maíz.

5.6.3. *Determinación de cenizas en las harinas.*

Para la determinación, se utilizó el método AACC 08-01 (1995). El procedimiento consistió en poner un crisol a masa constante, en el cual se pesaron 2 g de muestra; se colocó el crisol en una parrilla y se quemó lentamente el material hasta que ya no desprendió humo. Se llevó el crisol a una mufla para efectuar la calcinación completa a 550°C por 5 hrs., hasta obtener cenizas grises o blancas. Se dejó enfriar en la mufla, y se transfirió al desecador para su completo enfriamiento, se determinó la diferencia de masa del crisol. Y se calculó el valor a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(P - p) * 100}{M}$$

Donde:

P = Masa del crisol con las cenizas en gramos.

p = Masa de crisol vacío en gramos.

M = Masa de la muestra en gramos.

5.6.4. *Determinación de extracto etéreo*

Para la determinación se utilizó el método AACC 30-10, 1995, El método Soxhlet determina el extracto etéreo por medio de una extracción en forma directa con solventes orgánicos (éter de petróleo, éter etílico, acetona, cloroformo, etc.).

El valor de extracto etéreo se determinó a través de la siguiente relación:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{P - p}{M} * 100$$

Donde:

P = Masa en gramos del matraz con grasa.

p = Masa en gramos del matraz sin grasa.

M = Masa en gramos de la muestra.

5.6.5. *Determinación de fibra cruda en harina*

La fibra cruda se define como el residuo obtenido tras el tratamiento de los vegetales con ácidos y álcalis. Es decir, se refiere fundamentalmente a los elementos fibrosos de la pared de la célula vegetal (Rojas, 1994), que en su mayor parte se compone de celulosa, pectinas y lignina. Para la determinación se utilizó el método AACC 32- 10, 1995. La fibra cruda fue determinada por una digestión secuencial de la muestra con H₂SO₄ al 1.25% y después con NaOH al 1.25%. El residuo insoluble se obtuvo por filtración, el cual fue secado y pesado. De este valor, se obtiene el peso de la fibra junto con los minerales. Para obtener el contenido de fibra neto fue necesario incinerar esta muestra, dejando solamente el residuo de las

cenizas constituido por los minerales. Por diferencia entre el peso anterior (antes de la incineración) y el de las cenizas se obtuvo el de la fibra cruda; la cual es una medida del contenido de celulosa y lignina en la muestra.

Cálculos:

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{\text{PCRS} - \text{PCRC}}{\text{PM}} * 100$$

Donde:

PCRS = Peso del crisol con residuo seco.

PCRC = Peso del crisol con residuo calcinado.

PM = Peso de la muestra seca y desengrasada.

5.7. Caracterización en las masas obtenidas por el método tradicional y por calentamiento óhmico

5.7.1. Capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS)

Para determinar este parámetro, se siguió la metodología propuesta por Flores Farías (2002). Para este efecto, se pesaron 250 g de harina y se colocaron en una charola, se templó agua a 30° C y se agregó agua a la harina, incorporándola lentamente y amasando, se continuó con el amasado hasta lograr la completa incorporación del agua y la consecuente formación de una pasta o masa homogénea, que se definía tomando una porción de la masa, oprimiéndola con las palmas de las manos, y observando si presentaba aberturas; si no las había era indicativo de que la masa tenía consistencia adecuada para troquelarla y elaborar tortillas, en caso contrario se seguía agregando agua hasta que la masa no mostrará tales aberturas. CAAS se reportó como litros de agua por kilogramos de harina. La masa obtenida se usó para procesar y caracterizar las tortillas.

5.7.2. Adhesión y cohesión en masa

Se midió este parámetro de acuerdo a la metodología reportada por Martínez Flores y col. (1998). Para lo cual, se utilizó un texturómetro Texture Analyser- TX2, con el software Texture Analyser (Figura 10), y se obtuvieron valores de adhesividad y cohesividad en unidades de fuerza. Para la medición se tomó una porción de masa, la cual se moldeó con un anillo de plástico de 7.5 cm de diámetro y 1.9 cm de altura; posteriormente se colocó la masa moldeada en una plataforma de aluminio del Texture Analyser TA-XT2, y se hizo penetrar por la sonda de prueba TA- 18 que es una esfera metálica con 1.27 cm de diámetro. Los parámetros de medición de la prueba fueron velocidad de 2 mm/s, 4 mm de distancia y 4 repeticiones, registrando la fuerza máxima requerida para lograr la penetración (cohesión) y la fuerza de resistencia a la salida de la esfera (adhesión).



Figura 10. Prueba de adhesión y cohesión en masa.

5.7.3. Rendimiento de la masa

El rendimiento de masa se calculó con el valor obtenido de CAAS, sumándole una unidad al mismo, el valor se reportó como kg de masa/ kg de harina (Arámbula Villa, 1999).

5.7.4. *Humedad de la masa*

Se determinó la humedad de la masa por el método 44-15A, AACC (1995).

5.8. Elaboración y caracterización de tortillas obtenidas por las harinas por el proceso tradicional y por calentamiento óhmico

5.8.1. *Elaboración de las tortillas*

Con la masa obtenida se elaboraron las tortillas utilizando una tortilladora manual, la cual se calibró con un calibrador de lánas marca Kaster para tener una abertura de rodillos uniforme, de este modo, se obtuvieron tortillas con un espesor de 1.2 mm y diámetro de 12.5 cm. Se coció la tortilla en un comal a temperatura de 260 a 280°C, la cual fue registrada por medio de una pistola infrarrojo. Los tiempos de cocimiento fueron de 17 segundos por un lado para formar la capa delgada, volteado, 30 segundos en la segunda cara para producir la capa gruesa y se regresó a su lado original para continuar el cocimiento por 19 segundos más hasta lograr el inflado de la tortilla. Después del cocimiento, las tortillas se colocaron en una servilleta de tela.

5.8.2. *Inflado de la tortilla*

Esta prueba subjetiva se hizo observando el inflado de las tortillas durante la fase de cocimiento, donde se evaluó el tamaño de la ampolla, tal como se muestra en la Figura 11. Se asignó una calificación de 1 a 3 a las tortillas, donde 1 es inflado completo, 2 es inflado intermedio y 3 sin inflado (Figuroa, 2001).



Figura 11. Inflado de las tortillas.

5.8.3. Pérdida de peso en tortillas

Se determinó este parámetro de acuerdo a lo reportado por Figueroa y col. (2001) por diferencia de peso de la tortilla cruda y peso de la tortilla cocida atemperada a 30°C. La tortilla cruda se pesó en bolsas de polietileno para evitar pérdida de peso por evaporación de agua al ambiente (Figura 12).

La determinación de pérdida de peso se obtuvo utilizando la siguiente fórmula:

$$\%PP = \frac{(PT \text{ cruda} - PT \text{ cocida})}{PT \text{ cruda}} * 100$$

Donde:

PP = Pérdida de peso.

PT = Peso de tortilla en gramos.



Figura 12. Determinación de pérdida de peso en tortillas

5.8.4. *Rendimiento de tortilla*

Este parámetro se calculó en relación al rendimiento de masa y a la CAAS, a través de la siguiente fórmula.

$$RT = \frac{PT \text{ cruda}}{PT \text{ cocida}} * RM$$

Donde:

RT = Rendimiento de tortilla en g tortilla/ g harina.

PT = Peso de tortilla.

RM = Rendimiento de masa en g masa/ g harina.

5.8.5. *Rolabilidad*

Para evaluar el parámetro rolabilidad, se utilizó la metodología descrita por Bedolla y Rooney (1984). Donde, por medio de una escala hedónica se determinó la rolabilidad por ruptura de la tortilla, al ser enrollada en una vara de vidrio de 2 cm de diámetro. Se asignó una calificación de 1 a la tortilla que no presentó ruptura, de 2 cuando se rompió aproximadamente el 25% del diámetro de la tortilla, de 3 si presentó ruptura aproximada de 50%, de 4 con ruptura del 75% y de 5 cuando la

ruptura de la tortilla fue completa. La prueba se llevó a cabo a temperatura ambiente, después de 30 minutos de elaborada la tortilla.

5.8.6. *Resistencia a la tensión en tortillas*

Siguiendo la metodología descrita por Arámbula Villa y col. (2001, 2004), se tomaron al azar 3 tortillas y de la parte central se cortó una porción con un molde probeta en forma de "I", con dimensiones de 8.9 cm de largo y 2 cm de ancho, la cual presenta en la parte central una parte mas estrecha con dimensiones de 3.8 y 1.5 cm respectivamente, la probeta se sujetó con una pinza de tensión TA-96 del equipo TA-TX2 (Figura 13). La prueba se realizó con una velocidad de 2mm/ s, distancia de 15 mm y una corrida por tortilla, con lo cual por medio del software se determinó la fuerza máxima a la tensión.



Figura 13. Prueba de resistencia a la tensión en tortillas.

5.8.7. *Resistencia al corte en tortillas*

La prueba de corte se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Arámbula Villa y col. (2001). Se midió con en un texturómetro TA-TX2 con la punta de prueba TA-90 que es una cuchilla de acero inoxidable plana, rectangular con 3 mm de espesor y 6.93 cm de ancho, esta punta se conectó al brazo del equipo, y se desplazó hacia abajo, cortando la tortilla previamente colocada centrada sobre una

plancha con ranura metálica. Las variables de la medición fueron velocidad de 2 mm/s y 15 mm de distancia, se realizaron 4 repeticiones por muestra, el procedimiento se ilustra en la Figura 14.



Figura 14. Prueba de resistencia al corte en tortillas.

5.8.8. Color de las tortillas

El color de las tortillas se midió extrayendo al azar 5 tortillas de la bolsa de cada réplica y tomando la lectura de cada una con un colorímetro Hunterlab Miniscan, midiendo directamente en la cara más gruesa de la tortilla, debido a que es la cara con color más uniforme. El colorímetro se calibró previamente utilizando dos mosaicos; uno negro y uno blanco, dando una lectura en una escala de 3 coordenadas L, a, b; para definir la posición del color en un espacio tridimensional y esférico en valor absoluto.

5.8.9. Humedad en las tortillas

La humedad de las tortillas se determinó por 44-16 AACC (1995).

5.8.10. *Evaluación de vida útil en tortillas*

La evaluación de la vida útil de las tortillas se realizó a las 0, 24 y 48 hrs. de elaboradas las tortillas. Luego de su preparación, las tortillas se enfriaron y guardaron en bolsas de plástico a temperatura ambiente, cada día se tomaron tres tortillas para realizar las mediciones de humedad, pH, roabilidad, color, resistencia a la fuerza de tensión y de corte. Así mismo se observó que las tortillas se mantuvieron en buenas condiciones; sin desarrollo microbiano.

5.9. Análisis estadístico

5.9.1. *Diseño experimental*

Los parámetros de proceso de calentamiento óhmico se obtuvieron a partir del trabajo previamente realizado por Gaytán Martínez (2008), en el cual se buscó determinar las condiciones de proceso adecuadas para producción de harinas por calentamiento óhmico. De los tratamientos probados en ese estudio, se eligieron nueve para la obtención de las harinas de este estudio. Las condiciones incluyeron tres tamaños de partícula diferentes (0.5, 0.8 y 1.3 mm), tres porcentajes de humedad (45, 53 y 60% p/p) y tres temperaturas de proceso (70, 80 y 90°C); los tratamientos y sus claves se muestran en la Tabla 11. Estos tratamientos se aleatorizaron para su reproducción con ayuda de una tabla de números aleatorios.

Tabla 11. Tratamientos de calentamiento óhmico.

| Clave de Tratamiento | Tamaño de partícula (mm) | % Humedad | Temperatura de proceso (°C) |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------------|
| M054590 | 0.5 | 45 | 90 |
| M055370 | 0.5 | 53 | 70 |
| M056090 | 0.5 | 60 | 90 |
| M085370 | 0.8 | 53 | 70 |
| M085380 | 0.8 | 53 | 80 |
| M085390 | 0.8 | 53 | 90 |
| M086090 | 0.8 | 60 | 90 |
| M134580 | 1.3 | 45 | 80 |
| M136090 | 1.3 | 60 | 90 |

5.9.2. *Análisis de los datos*

Para analizar los resultados obtenidos se utilizó un análisis de varianza sobre las características evaluadas, con el fin de determinar si existían diferencias entre los distintos tratamientos. Se realizó una comparación de medias por prueba de Tukey, para identificar los tratamientos significativamente diferentes ($p < 0.05$), y encontrar los mejores tratamientos utilizando como patrón el nixtamal. El análisis se realizó en los parámetros correspondientes a harina, masa y tortilla de forma independiente. Se estudió el efecto de los tratamientos en los parámetros físicos y texturales de tortillas almacenadas a 0 y 24 hrs. de elaboración. Y el efecto del almacenamiento en los tratamientos a las 0 y 24 hrs. En el análisis de vida de anaquel en tortilla almacenada a temperatura ambiente se planeó un análisis a las 0, 24 y 48 hrs de elaboración de las mismas; sin embargo, algunas de las muestras presentaron crecimiento microbiano a las 48 hrs. y esto no permitió el análisis estadístico a este tiempo de almacenamiento.

Se realizó también, un análisis de componentes principales para identificar los parámetros que describen la variabilidad de los resultados entre los tratamientos.

Capítulo 6. Resultados y discusión

6.1. Caracterización del nixtamal control

Tabla 12. Análisis de nixtamal

| Parámetro Muestra | pH de nejayote | % Humedad nixtamal | % Sólidos en nejayote | % Sólidos en agua de lavado |
|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| Nixtamal | 12.08±0.11 | 48.53±0.76 | 3.33±0.25 | 1.07±0.13 |

La harina de maíz nixtamalizado es el control empleado en este estudio, como se indicó previamente en el capítulo de Materiales y Métodos. Es por eso importante constatar que las características importantes de esta harina concuerden con los resultados reportados en la literatura. Dentro de los parámetros analizados en el nixtamal, se encuentra el pH de nejayote, el cual posee un valor altamente básico según se muestra en la Tabla 12. El valor encontrado (pH= 12.08) está cercano al valor de 12.0 reportado por Sánchez González (2008). Este valor demuestra la gravedad del problema ecológico de la industria del maíz y la tortilla, que ubican al proceso de nixtamalización como una de los cinco procesos industriales que contribuyen más a la contaminación del agua en México (Ortega, 2006). El valor está relacionado con la cantidad de álcali adicionada al maíz durante la nixtamalización.

Otro parámetro que se analizó en el nixtamal fue la humedad del mismo, la cual es importante por su relación con la humedad de la masa (Tabla 12), y es semejante a lo reportado por otros investigadores tales como Billeb y col, 2001, quienes indican un porcentaje de de 40.2% a 49.85% para el nixtamal. El porcentaje de sólidos presentes en nejayote y agua de lavado consiste principalmente en pericarpio; estos valores están relacionados con la pérdida de fibra del maíz. Los valores encontrados para estos parámetros son 3.3 % y 1.07% respectivamente.

6.2. Resultados de caracterización de harinas de maíz por calentamiento óhmico y nixtamalización tradicional

6.2.1. Caracterización física de las harinas

6.2.1.1. Tamaño de partícula en harinas

Tabla 13. Distribución de tamaño de partícula de las harinas elaboradas por CO y nixtamal

| Tratamiento | % Retenido | | | | |
|-------------|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| | M40 | M60 | M80 | M100 | BANDEJA |
| M054590 | 6.37 ^{bc} | 72.67 ^{abc} | 6.87 ^{bc} | 4.16 ^{bc} | 9.23 ^{bcd} |
| M055370 | 1.94 ^c | 89.06 ^a | 3.02 ^c | 2.29 ^{bc} | 2.66 ^e |
| M056090 | 4.23 ^c | 50.51 ^e | 8.09 ^{bc} | 20.34 ^a | 13.32 ^{ab} |
| M085370 | 7.74 ^{abc} | 62.18 ^{cde} | 13.77 ^{abc} | 3.85 ^{bc} | 11.29 ^{abc} |
| M085380 | 1.00 ^c | 57.37 ^{cde} | 21.83 ^a | 3.97 ^{bc} | 14.50 ^{ab} |
| M085390 | 1.29 ^c | 83.53 ^{ab} | 4.30 ^{bc} | 2.99 ^{bc} | 6.48 ^{cde} |
| M086090 | 2.94 ^c | 64.86 ^{cde} | 16.38 ^{ab} | 3.51 ^{bc} | 11.72 ^{abc} |
| M134580 | 16.3 ^{ab} | 55.03 ^{de} | 12.93 ^{abc} | 10.23 ^b | 5.23 ^{de} |
| M136090 | 17.79 ^c | 73.19 ^{abc} | 3.31 ^b | 1.71 ^c | 3.08 ^d |
| NIXTAMAL | 0.00 ^c | 69.42 ^{bcd} | 6.90 ^b | 6.45 ^{bc} | 15.82 ^a |

M= mesh o número de malla. Medias con letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Dentro de la evaluación física de las harinas, se realizó la evaluación de distribución de tamaño de partícula, en las harinas obtenidas por calentamiento óhmico (CO) y nixtamal. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) de la distribución del porcentaje de harina retenido de las harinas de los diferentes tratamientos (Tabla 13), sin embargo, tal como se observa en la Figura 15 la mayor concentración de harina retenida está entre la malla 60 y 80 en todos los tratamientos, el tamaño de partícula de estas mallas corresponde a lo que especifica la NOM-187-SSA1, por lo cual las harinas se encuentran en general dentro de la misma. De acuerdo a lo reportado para harinas comerciales en Guatemala (Bressani, 2001), el rango de

harina retenida en malla 60 es de 16% a 86%, y el rango de harina retenida en malla 80 va de 12% a 81%.

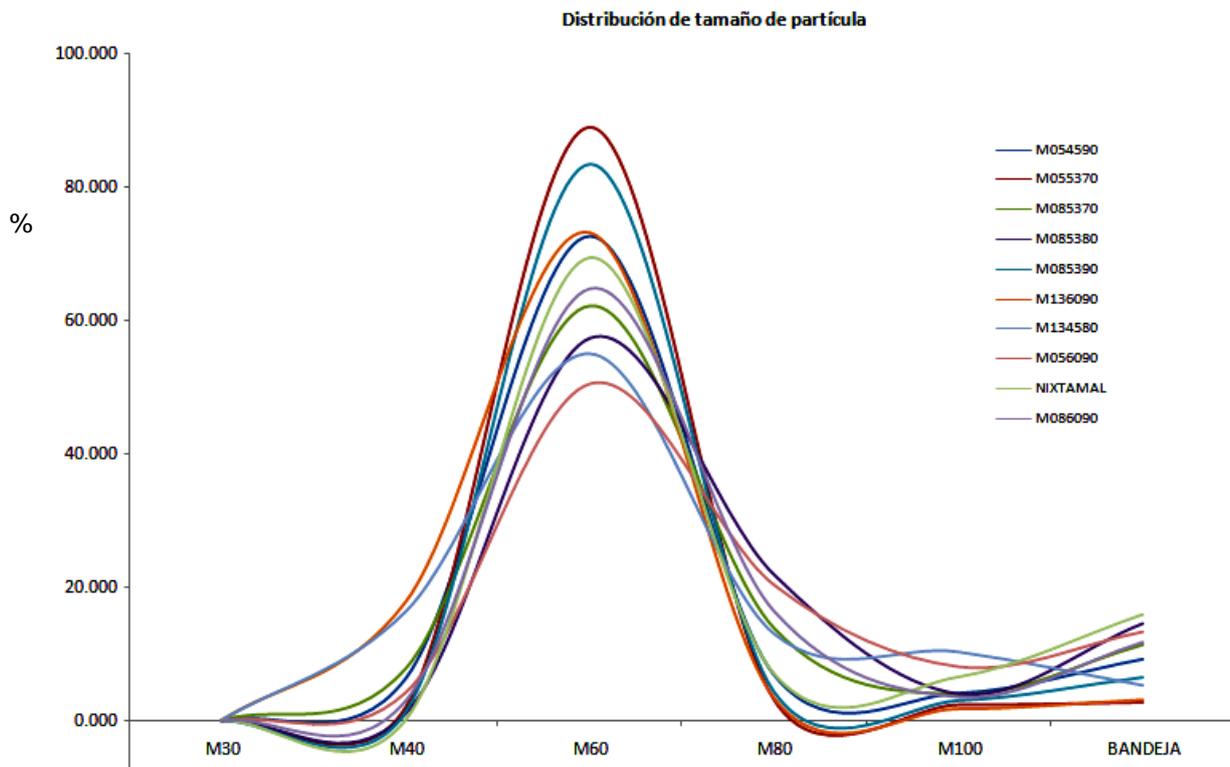


Figura 15. Perfil de distribución de tamaño de partícula de harinas obtenidas por CO y nixtamal.

Es importante recordar que todas las harinas, una vez secas, fueron molidas con malla de 0.5 mm para homogeneizarlas y cumplir con la norma mexicana NMX-F-046-S-1980 específica para harinas de maíz nixtamalizado, la cual indica que el 75% de las partículas de la harina deben estar retenidas en malla 60, equivalente a un tamaño de partícula de 250 μm . El tamaño de partícula en las harinas se relaciona con su capacidad de hidratación y formación de una masa con buenas cualidades reológicas. Partículas más pequeñas en general incorporan más agua, pero pueden formar masas muy compactas difíciles de troquelar.

6.2.1.2. CAAS, pH y color de las harinas

Los valores encontrados para CAAS (Tabla 14) de las diferentes harinas analizadas, mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos M054590, M056090, M086090, M136090, M085370 y el nixtamal; los tres primeros presentaron valores más altos que este último y por el contrario el cuarto tiene un valor menor de capacidad de absorción de agua.

Tabla 14. Capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS), pH y color (Lab)

| Muestra | CAAS | pH | L | a | b |
|----------|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| M054590 | 1.13 ^a | 7.39 ^f | 81.77 ^a | -1.65 ^{dc} | 11.97 ^e |
| M055370 | 1.07 ^{abc} | 7.72 ^{cd} | 77.99 ^f | -1.15 ^a | 12.70 ^{bc} |
| M056090 | 1.11 ^{ab} | 7.84 ^{bc} | 79.07 ^e | -1.37 ^b | 13.92 ^a |
| M085370 | 0.87 ^e | 7.88 ^b | 79.87 ^{de} | -1.32 ^b | 12.34 ^{cd} |
| M085380 | 1.04 ^{bc} | 7.74 ^{cd} | 81.41 ^{ab} | -1.67 ^{cd} | 12.07 ^{de} |
| M085390 | 1.09 ^{ab} | 7.75 ^{cd} | 81.00 ^{abc} | -1.55 ^c | 12.85 ^b |
| M086090 | 1.09 ^{ab} | 7.93 ^b | 77.85 ^f | -1.10 ^a | 12.73 ^b |
| M134580 | 0.93 ^{ed} | 7.53 ^e | 81.44 ^{ab} | -1.36 ^b | 11.89 ^e |
| M136090 | 1.10 ^{ab} | 7.7 ^d | 80.38 ^{dc} | -1.74 ^d | 12.10 ^{de} |
| Nixtamal | 1.00 ^{cd} | 8.55 ^a | 80.67 ^{bcd} | -1.30 ^b | 13.86 ^a |

Valores de CAAS en mL agua/ g harina. Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

De acuerdo a lo reportado, los valores de CAAS para harinas nixtamalizadas comerciales en México, están entre 1.2 mL agua/g harina y 1.35 mL agua/ g harina (Flores Farías y col., 2002); para harina obtenida por cocimiento dieléctrico el valor reportado es de 0.8 mL agua/ g harina, y para harinas nixtamalizadas de forma tradicional se reportan valores de 1.05 a 1.28 mL de agua/ g harina (Billeb y col., 2001). Con base a la bibliografía, el valor de CAAS de las harinas obtenidas por CO en general está dentro de lo que se reporta para harinas de nixtamal, excepto en los tratamientos M085370 y M134580, que se encuentran por debajo de estos valores.

La harina nixtamal control presenta también un valor menor de CAAS conforme a lo reportado para harinas de nixtamal, por lo cual los valores bajos podrían estar influenciados por el maíz utilizado. La importancia de la determinación de la CAAS, radica en que el valor está relacionado directamente con el rendimiento de la masa y la tortilla, por lo cual es de gran interés económico para los industriales (Véles Medina, 2004).

El parámetro de pH (Tabla 14) de las harinas presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos de CO y harina de nixtamal; donde éste presenta el valor más alto con pH de 8.5, atribuible al tratamiento de cocción que se realizó con 1% de cal (respecto al peso del maíz), y el lavado posterior únicamente con una cantidad de agua 1:1 en relación al peso del maíz. Las harinas obtenidas por calentamiento óhmico no muestran diferencias en este parámetro entre tratamientos. De acuerdo al procedimiento de obtención, los tratamientos de CO se realizaron con 0.3% de cal respecto al peso de la harina de maíz crudo, a ello se atribuye la similitud de pH entre los mismos.

Por otro lado, los valores encontrados en bibliografía para harinas nixtamalizadas por método tradicional presentan pH que va de 7.8 a 8.2 ± 0.3 (Billeb y col., 2001; Fernández Muñoz y col., 2008), para harinas comerciales en México de 6.2 a 7.1 (Flores Farías y col., 2002), y en harinas de Guatemala el valor va de 5.4 a 7.1 (Bressani y col., 2001). Las harinas comerciales aún cuando son obtenidas por un proceso similar al tradicional, presentan valores de pH menores por el lavado excesivo del nixtamal y la adición de antimicrobianos como el ácido propiónico y el ácido fumárico (Flores Farías y col., 2002). En relación a lo anterior, las harinas obtenidas por CO están dentro de los pH reportados para harinas de nixtamal, y por arriba de los pH de harinas comerciales. Sin embargo, la harina obtenida de nixtamal como control tiene un pH ligeramente mayor a lo que se reporta. Es importante mencionar que el parámetro de pH tiene relación con la cantidad de álcali adicionado durante el cocimiento y en el caso del nixtamal, con el lavado posterior al reposo (Véles Medina, 2004); durante el lavado se pierden restos de pericarpio y cal residual en la superficie del mismo. Un lavado exhaustivo puede ayudar a blanquear el color de la harina, pero elimina fibra y produce una

disminución del pH (Orozco y Orozco, 2007). Un valor básico de pH es benéfico, ya que puede ayudar a extender la vida de anaquel de la harina (Billeb y col., 2001).

En relación al color de las harinas obtenidas por calentamiento óhmico y nixtamalización (Tabla 14), se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los tres ejes que conforman este parámetro (L, a, b), entre los tratamientos M054590, M055370, M056090, M086090 y el nixtamal, de los cuales el primero tuvo un valor de 81.7 superior al de nixtamal ($L = 80.668$) y el resto de los tratamientos que presentaron diferencias tuvieron valores menores a éste. El valor reportado de color para harinas nixtamalizadas por método tradicional es de 78.16 (Véles Medina, 2004). Para el caso de las dos principales harinas consumidas en México, éstas presentan valores de L que van de 92.2 (Maseca) a 91.8 (Minsa) (Reyes Moreno y col., 2003); de acuerdo a los valores de harinas comerciales es importante mencionar que estas poseen en su composición aditivos que permiten obtener harinas y tortillas más blancas, de acuerdo a lo permitido en la NOM-187-SSA1.

El valor del eje a, que va de rojo (valores positivos) a verde (valores negativos) presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los productos obtenidos por calentamiento óhmico y el nixtamal, excepto en los tratamientos M056090, M085370 y M134580 (Tabla 14). Todos los valores encontrados para este parámetro están referidos a una coloración ligeramente verde de las harinas. Los valores reportados del eje a para harinas de nixtamal tienen valores tendientes a coloración rojiza, en un rango de 1.68 ± 0.96 (Figuroa, 2001) a 4.37 (Flores Farías, 2004; Véles Medina, 2004), a diferencia de las harinas obtenidas por CO, que presentan tendencia al color verde en este eje; por otro lado el nixtamal que se utiliza como control en este estudio, presenta también valores dentro del rango de los verdes. El eje b del parámetro color, indica coloración que va de amarillo (valores positivos) a azul (valores negativos). Los valores de b de las harinas obtenidas por calentamiento óhmico presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), respecto al nixtamal excepto en el tratamiento M056090; sin embargo, todos los valores encontrados se encuentran en el rango de color amarillo, en este caso la tendencia se atribuye al genotipo de maíz y a la adición de hidróxido de calcio. El valor reportado para el eje b es de 22.4 en harinas nixtamalizadas (Véles Medina, 2004).

Al comparar este valor con los datos encontrados para harinas obtenidas por CO, se observa que estas presentan un valor menos intenso de amarillo, atribuido a la concentración de cal inicial y al genotipo del maíz.

6.2.1.3. Humedad de harina, IAA e ISA

La humedad encontrada (Tabla 15) en las harinas evaluadas, mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos M054590, M085370, M056090 y M085390 y el nixtamal, para los cuales se encontraron humedades menores al nixtamal en las harinas con los dos primeros tratamientos mencionados y valores mayores con los últimos dos. Sin embargo, en general los valores se encuentran debajo del límite máximo permitido por las normas oficiales mexicanas (NMX-F-046-S-1980 y NOM- 147-SSA1), el cual es de 11%.

Tabla 15. Valores de humedad de harina, índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua

| Muestra | HH | IAA | ISA |
|----------|--------------------|---------------------|-------------------|
| M054590 | 5.94 ^f | 3.31 ^{cd} | 5.71 ^b |
| M055370 | 9.00 ^c | 3.94 ^{ab} | 7.40 ^a |
| M056090 | 11.16 ^a | 3.32 ^{cd} | 6.27 ^b |
| M085370 | 7.10 ^e | 3.04 ^d | 7.31 ^a |
| M085380 | 9.34 ^c | 3.38 ^{bcd} | 7.00 ^a |
| M085390 | 10.2 ^b | 3.53 ^{bcd} | 6.30 ^b |
| M086090 | 9.31 ^c | 4.30 ^a | 7.08 ^a |
| M134580 | 9.45 ^c | 3.07 ^{bc} | 6.24 ^b |
| M136090 | 8.12 ^d | 3.71 ^d | 7.13 ^a |
| Nixtamal | 8.79 ^{cd} | 3.13 ^d | 4.92 ^c |

HH= Humedad de harina expresada en porcentaje, IAA = Índice de absorción de agua (g gel/g harina), ISA= Índice de solubilidad en agua (%). Medias con las misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

De acuerdo a la literatura, los valores que se han encontrado para harinas nixtamalizadas tradicionalmente van de 10.1 a 12% (Gómez M., 1987), las harinas comerciales presentan valores de 9.2 a 10.1% (Flores Farías 2002, Méndez 2004).

El parámetro humedad es importante, porque está relacionado con la vida de anaquel de las harinas. Cuando estas tienen un contenido de humedad del 10 al 12%, son estables frente a la contaminación microbiana; si esta humedad supera el 12%, el producto es atacado fácilmente por mohos y levaduras (Méndez 2004). Por otro lado, la baja humedad de la harina puede contribuir a la conservación fisicoquímica de la misma, porque retarda la rancidez de los lípidos y reduce la actividad enzimática, manteniendo por mayor tiempo estables sus características (Flores Farías, 2004).

El parámetro índice de absorción de agua (IAA) de las harinas provenientes de CO, presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) comparado con la harina de nixtamal en los tratamientos M055370 y M086090 (Tabla 15). El valor reportado de IAA para nixtamal posee una media de 3.14 g gel/ g muestra (Reyes y col., 2009), mientras que en harinas comerciales de México, el valor es de 2.1 a 3.7 g gel/ g muestra (Flores Farías y col., 2002) y de 3.4 a 4.02 g gel /g muestra en harinas comerciales de Guatemala (Bressani y col., 2001). Los valores de las harinas obtenidas por calentamiento óhmico se encuentran ligeramente arriba del valor de IAA de harina de nixtamal y dentro de los valores reportados para harinas comerciales. El IAA se incrementa por la modificación del almidón ocasionada por el tratamiento térmico-alcalino (Véles Medina, 2004). Es importante recordar que existe una relación entre el valor de IAA y el CAAS; siendo el primero una prueba estandarizada de la cantidad de agua que puede absorber la harina relacionada el daño del almidón de la misma; a diferencia del CAAS que es una prueba subjetiva de acondicionamiento de la harina para masa, pero igualmente relacionada con el daño de almidón (Billeb y col., 2001).

En la evaluación del parámetro índice de solubilidad en agua (ISA), éste presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos por CO y nixtamal, las cuales se muestran en la Tabla 15, observándose que todos los valores determinados de ISA en los tratamientos realizados por óhmico son mayores al valor obtenido en la harina de nixtamal. Es probable que el daño al almidón sea mayor en estos tratamientos debido a la molienda previa y al procesamiento térmico. Los valores reportados en la bibliografía abarcan en harinas comerciales un rango de 4.38 a 7%

(Bressani 2001), uno de los reportes para harinas extrudidas con maíz en fracciones, muestra valores de IAA que van de 2.91 a 4.97% con condiciones de 93°C, 35% humedad, y 120°C, 40% humedad, respectivamente (Yáñez Ortega, 2005). Para harina de maíz nixtamalizado el rango es de 4.11 a 5.2% (Billeb y col., 2001). De acuerdo a lo anterior, los ISA determinados en las harinas obtenidas por calentamiento óhmico son mayores a lo reportado para harinas de nixtamal tradicional y están dentro de los valores reportados para harinas comerciales, el rango encontrado va de 5.7 a 7.4%. En todos los casos el ISA reflejará la severidad del proceso, aumentando por modificaciones en el almidón ocasionadas por molienda y condiciones de tratamiento (Véles Medina, 2004).

6.2.1.4. Viscosidad de suspensiones acuosas de las harinas obtenidas por calentamiento óhmico y por nixtamalización

En la Figura 16 se muestran los perfiles de viscosidad para las soluciones acuosas de las harinas analizadas, donde los valores se reportan en cP y la temperatura de pastificado en °C. Los valores de viscosidades: máxima, mínima y final, retrogradación y temperatura de pastificado están indicados en la Tabla 16.

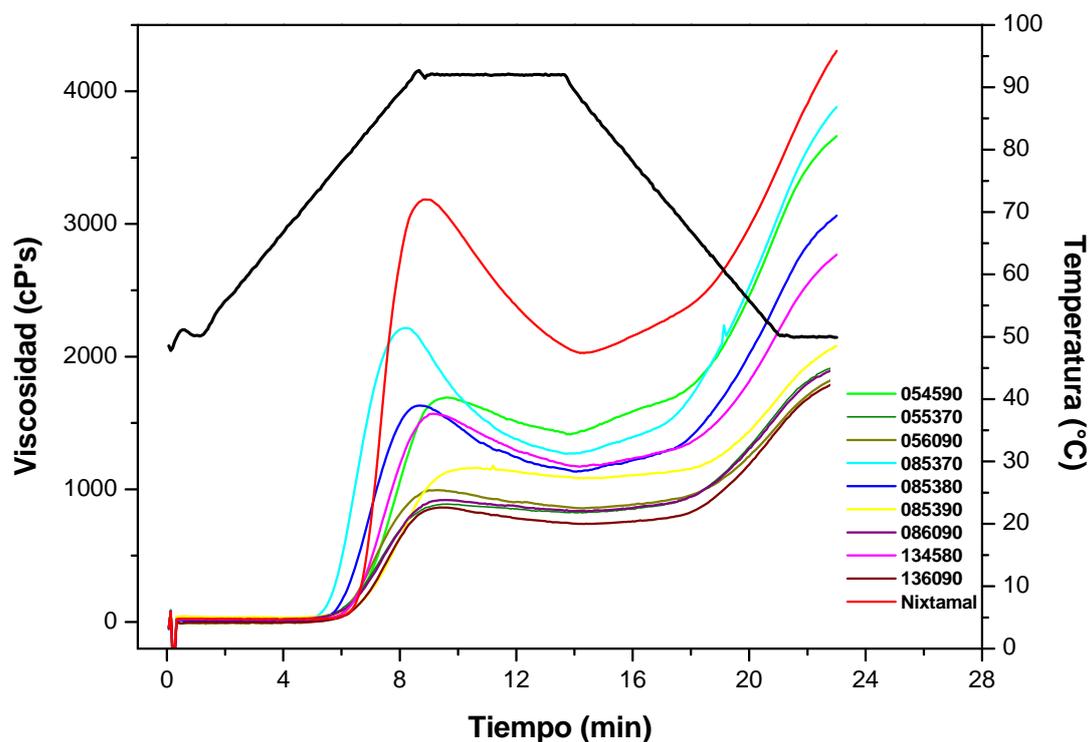


Figura 16. Perfil de viscosidad de suspensiones acuosas de harinas obtenidas por calentamiento óhmico.

Tabla 16. Valores de viscosidad y temperatura de pastificado para soluciones acuosas de harinas obtenidas por CO y nixtamal

| Muestra | V máxima | V mínima | TP | V final | Retrogradación |
|----------|----------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| M054590 | 1706.56 ^d | 1420.89 ^b | 76.11 ^a | 3651.38 ^b | 2230.50 ^{ab} |
| M055370 | 887.74 ^f | 828.305 ^e | 72.38 ^a | 1928.92 ^d | 1100.96 ^c |
| M056090 | 1002.11 ^f | 858.20 ^e | 73.90 ^a | 1723.18 ^d | 864.98 ^c |
| M085370 | 2217.24 ^b | 1269.93 ^{bc} | 74.95 ^a | 3857.84 ^{ab} | 2587.92 ^a |
| M085380 | 1635.63 ^d | 1139.42 ^{cd} | 73.0 ^a | 3057.47 ^c | 1918.05 ^b |
| M085390 | 1156.72 ^e | 1084.90 ^d | 76.50 ^a | 2079.43 ^d | 994.53 ^c |
| M086090 | 918.99 ^f | 834.48 ^e | 72.69 ^a | 1910.40 ^d | 1075.92 ^c |
| M134580 | 1905.43 ^c | 1367.04 ^b | 73.88 ^a | 3564.73 ^b | 2197.69 ^{ab} |
| M136090 | 863.67 ^f | 747.40 ^e | 73.90 ^a | 1806.41 ^d | 1041.96 ^c |
| Nixtamal | 3176.26 ^a | 2031.30 ^a | 77.45 ^a | 4291.99 ^a | 2259.94 ^{ab} |

Valores de viscosidad expresados en cP, temperatura en °C. Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes.

La viscosidad es la resistencia de un líquido a fluir. De acuerdo al principio del equipo de medición RVA, la harina acondicionada a un exceso de humedad, con acción de trabajo mecánico y tratamiento térmico produce una viscosidad que aumenta hasta un punto máximo, o viscosidad máxima ocasionada por el hinchamiento de los gránulos de almidón. Este parámetro es considerado importante para los industriales cuando la masa o pasta formada por harina de maíz se quiere transportar para un posterior tratamiento. Por otro lado, también permite conocer el grado de modificación del almidón de la harina por la severidad del tratamiento previo.

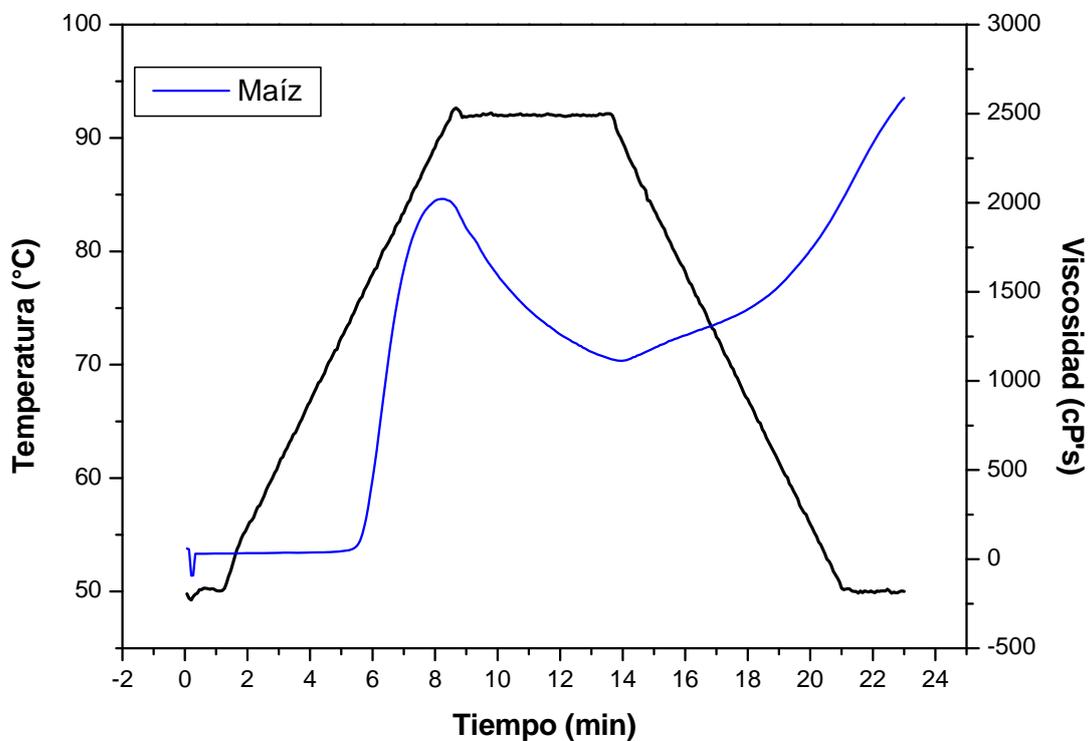


Figura 17. Perfil de viscosidad de suspensiones acuosas de maíz crudo molido.

Los valores de viscosidad encontrados para las harinas obtenidas por CO (Tabla 16), en todos los casos mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) comparados con la harina control, donde este presenta un valor mayor de viscosidad máxima, mínima y final. Sin embargo existe una relación del comportamiento entre tratamientos con condiciones de temperatura y humedad similares, por ejemplo se

observa que en la viscosidad mínima los tratamientos con humedad de 60% y temperatura de proceso 90°C, no presentan diferencias significativas entre sí en este parámetro. Por otro lado la viscosidad encontrada para harinas de CO es en general baja y se atribuye a un mayor daño del almidón en las harinas, ocasionado por trabajo mecánico durante la molienda y finalmente el tratamiento óhmico, esta observación se sustenta en la viscosidad máxima generada por el maíz molido, que se presenta en la Figura 17 y que tuvo un valor de 2033.4 cP, su temperatura de pastificado de 73.04°C, viscosidad mínima de 1111 cP, viscosidad final de 2564.83 cP y retrogradación de 1453.83 cP.

La temperatura de pastificación encontrada en las harinas obtenidas por CO, no presenta diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos y el nixtamal. De acuerdo a los resultados, el tratamiento que generó una menor viscosidad fue el M136090, que involucra condiciones de alta humedad y alta temperatura (Figura 16). El valor de viscosidad máxima para nixtamal fue de 3176.26 cP. Los valores que se reportan de viscosidad máxima para harinas de nixtamal son de alrededor de 3000 a 4000 cP (Véles Medina, 2004), en harinas por extrusión a 90°C el valor va de 457 a 1126.5 cP (Yáñez Ortega, 2005). De los valores reportados, las harinas procesadas por CO se encuentran por debajo de la viscosidad máxima reportada para harinas de nixtamal y por arriba de la viscosidad máxima de harinas extrudidas. Es importante mencionar que una baja generación de viscosidad se atribuye a una alta gelatinización del almidón ocasionada por molienda y tratamiento térmico (Véles Medina, 2004), por lo cual se observa que el CO produce menos daño al almidón que la extrusión, pero aparentemente mayor daño que la nixtamalización tradicional. En cuanto a la retrogradación se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos de CO y el nixtamal excepto con los tratamientos M134580, M085380, M054590 y M085370. Se observa que el nixtamal presentó un valor alto de retrogradación, no obstante el tratamiento que presenta mayor retrogradación de las harinas de CO es M085370 con un valor de 2587.92 cP. En este contexto, una retrogradación alta no es deseable en productos como tortilla o pan, debido a que indica pérdida de humedad que se refleja en las características de textura; un valor alto de retrogradación da lugar a un producto que se endurece fácilmente a través del tiempo.

6.2.2. Caracterización química de las harinas obtenidas por los tratamientos CO y tradicional

El análisis proximal de harinas de maíz tratadas por CO, nixtamal y maíz crudo se presenta en la Tabla 17. Como se observa, en general los valores de proteína no mostraron diferencias significativas entre tratamientos de calentamiento óhmico ni maíz, pero sí con respecto a nixtamal, en el cual el valor es menor, esto es debido a que durante el proceso tradicional de nixtamalización se pierde alrededor de un 10% de nitrógeno, que se elimina en el nejayote según lo reportado por Bressani y col. (1958). Por otro lado durante el proceso de CO se utiliza el grano de manera integral y no se produce agua de desecho, razón por la cual los valores de proteína son similares al maíz.

Tabla 17. Análisis proximal de harinas obtenidas por CO y método tradicional

| Muestra | Proteínas | Cenizas | Grasa | Fibra cruda | Carbohidratos |
|------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| M054590 | 8.09 ^{ab} | 1.42 ^{ab} | 1.30 ^{cd} | 1.13 ^b | 82.11 ^a |
| M055370 | 7.96 ^b | 1.46 ^{ab} | 1.21 ^d | 1.27 ^b | 79.09 ^{cd} |
| M056090 | 8.2 ^{ab} | 1.47 ^{ab} | 1.57 ^{bcd} | 1.16 ^b | 76.45 ^f |
| M085370 | 8.11 ^{ab} | 1.54 ^{ab} | 0.93 ^d | 1.26 ^b | 81.12 ^b |
| M085380 | 8.28 ^{ab} | 1.47 ^{ab} | 1.99 ^b | 1.19 ^b | 77.66 ^e |
| M085390 | 8.13 ^{ab} | 1.35 ^{ab} | 1.92 ^{bc} | 1.25 ^b | 77.03 ^{ef} |
| M086090 | 8.15 ^{ab} | 1.32 ^{ab} | 1.06 ^d | 1.13 ^b | 78.98 ^{cd} |
| M136090 | 8.03 ^{ab} | 1.48 ^b | 1.53 ^{bcd} | 1.25 ^b | 79.74 ^c |
| M134580 | 8.21 ^{ab} | 1.28 ^b | 1.19 ^d | 1.16 ^b | 78.71 ^d |
| Nixtamal | 7.12 ^c | 1.59 ^a | 4.59 ^a | 1.1 ^b | 76.8 ^f |
| Maíz crudo | 8.39 ^a | 0.74 ^c | 4.63 ^a | 2.63 ^a | 70.84 ^g |

Valores expresados en porcentaje. Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes.

Es importante recordar que el contenido proximal de maíz está en función de su genotipo. Los valores encontrados en las harinas obtenidas por óhmico mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los análisis proximales. Donde en el caso de las proteínas, éstas se conservan mejor en los tratamientos de CO comparados con la harina de nixtamal, debido a que posterior al proceso de cocimiento por CO, no hay generación de nejayote donde se eliminan las proteínas solubilizadas. El contenido de proteínas se relaciona con la dureza del grano; esto es, cuando se utilizan granos más duros, el contenido de este parámetro es mayor.

Por otro lado, el contenido graso es aparentemente menor en las harinas de CO; sin embargo, es importante mencionar que la determinación se realizó por método Soxhlet utilizando como solvente éter etílico, el cual no solubiliza algunos ácidos grasos ya saponificados, que es el caso que puede estar presentando. Ya que en el proceso de CO no hay pérdida material. Para comprobar esta hipótesis es necesario hacer un estudio más detallado del contenido de extracto etéreo en las muestras de óhmico que permita incluir los ácidos grasos que hayan cambiado por reacciones químicas.

Dentro de lo reportado para análisis proximales, en harinas nixtamalizadas comerciales en México el porcentaje de proteína varía de 9.2 a 10.49%, cenizas de 1.2 a 1.5%, extracto etéreo de 3.9 a 5.1%. El contenido proximal reportado para harinas comerciales de Guatemala es de 6.68 a 8.01% de proteína, 2.16 a 3.77% de grasa y 1.25 a 2.78% de cenizas (Bressani y col., 2001).

En los reportes para harina de nixtamal tradicional los valores encontrados son $6.99 \pm 0.26\%$ de proteína, $1.74 \pm 0.16\%$ de cenizas, $4.36 \pm 0.31\%$ de grasa. De acuerdo a ello, los valores encontrados para proteína en harinas obtenidas por calentamiento óhmico están dentro de lo reportado para las harinas nixtamalizadas y para harinas comerciales muestreadas en Guatemala y ligeramente debajo de lo reportado para harinas comerciales en México. El extracto etéreo de harinas de tratamiento óhmico, está por debajo de los valores para harinas comerciales o para el proceso tradicional.

El valor encontrado para cenizas en general no mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) comparado con el de harina de nixtamal, sin embargo este último es ligeramente mayor, relacionado con la mayor cantidad de álcali adicionado y el tiempo de reposo en el proceso tradicional, que influye de manera positiva en la incorporación de calcio. Continuo a lo anterior, el porcentaje de cenizas encontrado es mayor en todos los tratamientos analizados, comparados con el maíz que se utilizó como materia prima y en general los tratamientos de CO se encuentran

dentro de lo reportado para harinas comerciales y ligeramente debajo de lo que se reporta para harinas de nixtamal.

El contenido de fibra cruda no mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos de CO y el nixtamal, y en ambos casos existe una disminución con respecto al maíz de origen, sin embargo, se observa que a pesar de que estadísticamente no hay diferencias entre harina de nixtamal y las harinas de CO, el contenido en la harina control tiende a ser menor que en las harinas obtenidas por el tratamiento alternativo. Es importante recordar que la fibra cruda se define como el contenido de elementos fibrosos presentes en la pared celular de los vegetales, que incluyen principalmente celulosa y lignina. Esta definición por ende, no abarca contenido de fibra dietética que considera elementos no fibrosos como gomas que en muchos casos están ligadas a almidón y otros carbohidratos (Rojas, 1994). El valor que se reporta para harinas de nixtamal es $1.87 \pm 0.37\%$ de fibra cruda (Figueroa y col., 2001) y en harinas comerciales el intervalo es de 1.26 a 1.63% (Flores Farías y col., 2002). Los valores encontrados se encuentran ligeramente debajo de lo reportado.

El contenido de carbohidratos se determinó partiendo de un 100%, y restando las otras determinaciones proximales incluyendo la humedad. Este valor mostró diferencias significativas de acuerdo a las determinaciones anteriores ($p < 0.05$).

6.3. Caracterización de masas de maíz provenientes de harinas procesadas por calentamiento óhmico y nixtamalización tradicional

En la Tabla 18 se reportan los valores encontrados para los parámetros físicos y reológicos evaluados en las masas de harinas procesadas por CO y la masa obtenida por nixtamal tradicional como control. El valor de humedad está dado en porcentaje, los valores de adhesión y cohesión en kg como unidades de fuerza y el rendimiento de la masa está dado en g masa/ g harina.

Tabla 18. Análisis de las masas obtenidas por CO y nixtamal

| Muestra | Humedad | Adhesión | Cohesión | Rendimiento |
|----------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| M054590 | 54.74 ^{ab} | 0.021 ^a | 0.111 ^d | 2.13 ^a |
| M055370 | 55.22 ^{ab} | 0.0325 ^a | 0.19 ^{abc} | 2.07 ^{abc} |
| M056090 | 56.34 ^a | 0.0350 ^a | 0.15 ^{bcd} | 2.10 ^{ab} |
| M085370 | 49.40 ^e | 0.0208 ^a | 0.12 ^{cd} | 1.87 ^e |
| M085380 | 52.71 ^{cd} | 0.0217 ^a | 0.12 ^{cd} | 2.04 ^{bc} |
| M085390 | 54.82 ^{ab} | 0.0208 ^a | 0.18 ^{abcd} | 2.09 ^{ab} |
| M086090 | 54.76 ^{ab} | 0.0392 ^a | 0.23 ^a | 2.08 ^{ab} |
| M134580 | 51.22 ^{de} | 0.0242 ^a | 0.12 ^{bcd} | 1.93 ^{de} |
| M136090 | 54.17 ^{bc} | 0.0350 ^a | 0.22 ^a | 2.10 ^{ab} |
| Nixtamal | 53.78 ^{bc} | 0.0240 ^a | 0.20 ^{ab} | 2.00 ^{cd} |

Medias con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas ($p < 0.05$).

Humedad expresada en porcentaje, Fuerzas de adhesión y cohesión en kg y rendimiento de masa en g masa/ g harina.

En la Tabla 18 se muestra el comportamiento de la masa obtenida de las diferentes harinas. Se observa que el parámetro de humedad en general no mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto a la masa obtenida por el nixtamal control que presentó un valor de 53.8%, excepto en el tratamiento M056090 que presentó el valor más alto, con 55.9% de humedad, y las masas de los tratamientos M134580 y M085370 que presentaron los valores más bajos con 51 y 49% respectivamente. Algunos valores reportados para masa de nixtamal se encuentran en los rangos de 52.9% y 56.3% (Figuroa y col., 2001). En masas obtenidas por el método de extrusión, la humedad muestra un amplio rango dependiendo de las condiciones, que va de 49 a 58% (Martínez Flores y col., 1998). Comparando la humedad de las masas obtenidas por calentamiento óhmico se encuentran dentro de los rangos reportados a excepción de la humedad de la masa del tratamiento M085370, la cual es menor que las masas del proceso tradicional, pero se asemeja a los valores menores de las masas extrudidas. Recordando el procedimiento para la obtención de masa a partir de harina se realizó el acondicionamiento de la harina agregando pequeñas cantidades de agua atemperada y se amasó manualmente, determinando la cantidad de agua necesaria mediante una prueba subjetiva, en la cual se tomó una porción de la masa y se moldeó manualmente, ésta se presionó con las manos y en el caso de presentar aberturas se continuó con la adición de agua, de esta

manera se determinó la capacidad de absorción de agua en la harina y se obtuvo la masa. El acondicionamiento de la harina para obtener masa depende en gran parte de la percepción del experimentador, por lo cual se pueden encontrar diferencias entre la humedad y la capacidad de absorción de agua de muestras semejantes; esto explica la variabilidad de los resultados. Por otro lado, es importante recordar la relación existente entre la temperatura de cocimiento y la capacidad de absorción de agua, que repercutirán en la humedad de la masa y su calidad reológica (adhesividad y cohesividad); una temperatura mayor de tratamiento producirá una mayor gelatinización del almidón, aumentando la capacidad de absorción de agua (Bello Pérez y col., 2002). Sin embargo, para poder evaluar la calidad de la harina y la masa es necesario considerar en conjunto los efectos del tratamiento térmico y del tamaño de partícula (Rooney y Suhendro, 1999).

En los resultados de adhesión (Tabla 18) no se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, incluyendo el nixtamal. El rango observado en este parámetro es de 0.039 kg a 0.0188 kg y el nixtamal presenta una adhesividad media de 0.024 kg. Entre los valores encontrados en la bibliografía, se reporta una adhesividad para masa de nixtamal de 0.014 kg y valores de adhesividad para masas extrudidas a diferentes condiciones que van de 0.008 kg a 0.051 kg (Martínez Flores y col., 1998). En un estudio de optimización del proceso de nixtamalización, se reportó un valor de adhesividad de 0.015 ± 0.003 (Cuevas Rodríguez García y col., 2009). Flores Farías (2004) reporta un valor para nixtamal de 0.04 kg. Comparando con los valores de la bibliografía, las masas obtenidas por calentamiento óhmico se encuentran dentro de estos rangos. El parámetro adhesividad es importante porque se relaciona con la funcionalidad de la masa; valores muy altos se atribuyen a una alta gelatinización del almidón, y se consideran indeseables, ya que la masa es pegajosa y difícil de troquelar (Bello Pérez y col., 2002; Flores Farías, 2004).

En los resultados encontrados para la fuerza de cohesión (Tabla 18), se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos M054590, M085370 y M085380 (0.111 kg, 0.119 kg y 0.119 kg, respectivamente) y el nixtamal (0.199 kg). Estos tratamientos presentan los valores más bajos de cohesión, que indican una

masa más suave. La literatura ubica los valores de cohesividad para nixtamal en un mínimo de 0.074 kg (Flores Martínez y col., 1998) y un valor máximo de 0.2 kg (Flores Farías, 2004). Masas obtenidas por procesos alternativos como el cocimiento dieléctrico (Gaytán Martínez y col., 2000) presentan una cohesión mínima de 0.2 y máxima de 0.3 kg. Con base a lo reportado, la cohesión obtenida de los tratamientos se encuentra dentro de los valores de nixtamal y ligeramente abajo comparada con el tratamiento dieléctrico. Los valores obtenidos para el rendimiento de masa (Tabla 18), mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto del nixtamal control que presentó un valor de 2 g masa/ g harina, presentando mejores rendimientos en las harinas obtenidas por calentamiento óhmico, excepto en los tratamientos M085370 y M134580 que presentaron el menor rendimiento con un valor de 1.8 g masa/ g harina y 1.9 g masa/ g harina respectivamente. Los valores reportados para harinas comerciales en México se encuentran ubicados en un mínimo de 2.2 y un máximo de 2.3 g masa/ g harina (Flores Farías y col., 2002), para nixtamal tradicional la media es de 2.17 (Flores Farías, 2004) y para masas obtenidas por cocimiento dieléctrico el valor es de 1.8 (Gaytán Martínez y col., 2000). Es importante recordar que el rendimiento es un parámetro importante desde el punto de vista económico, es por esta razón que la industria de harinas nixtamalizadas incluye aditivos que permiten aumentar la capacidad de retención de agua y consecuentemente el rendimiento de la harina transformada a masa (Flores Farías, 2002).

6.4. Caracterización de la tortilla

6.4.1. Pérdida de peso, rendimiento de tortilla, color de tortilla, porcentaje de humedad, pH y rolabilidad.

En la Tabla 19 se muestran los valores obtenidos para el porcentaje de pérdida de peso por cocimiento para las tortillas elaboradas con las diferentes harinas procesadas por CO y nixtamal, en las cuales se observa que no existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, el rango encontrado de este parámetro fue de 18.54% a 21.064% para tortillas de tratamiento óhmico y el valor de tortillas de nixtamal fue de 20.954%.

Tabla 19. Parámetros evaluados en tortilla recién elaborada

| Muestra | PP | RT | Inflado | L | a | b | HT | pH | RoI |
|----------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| M054590 | 20.64 ^a | 1.67 ^a | 1.33 ^a | 62.01 ^a | 0.53 ^b | 16.43 ^{bc} | 43.15 ^{ab} | 7.63 ^b | 1.00 ^a |
| M055370 | 20.64 ^a | 1.63 ^a | 1.63 ^a | 59.64 ^a | 1.35 ^b | 15.448 ^c | 43.24 ^{ab} | 7.62 ^b | 1.00 ^a |
| M056090 | 19.41 ^a | 1.69 ^a | 1.76 ^a | 62.49 ^a | 1.01 ^b | 17.06 ^{bc} | 45.84 ^a | 7.79 ^b | 1.00 ^a |
| M085370 | 18.54 ^a | 1.57 ^a | 1.33 ^a | 59.18 ^a | 1.26 ^b | 16.69 ^{bc} | 37.84 ^c | 7.70 ^b | 1.00 ^a |
| M085380 | 20.50 ^a | 1.61 ^a | 1.25 ^a | 61.48 ^a | 1.76 ^b | 18.04 ^b | 41.18 ^{bc} | 7.76 ^b | 1.00 ^a |
| M085390 | 21.06 ^a | 1.63 ^a | 1.67 ^a | 61.51 ^a | 1.20 ^b | 17.13 ^{bc} | 41.99 ^{ab} | 7.60 ^b | 1.00 ^a |
| M086090 | 20.87 ^a | 1.64 ^a | 1.33 ^a | 61.62 ^a | 0.69 ^b | 16.48 ^{bc} | 41.59 ^{bc} | 7.65 ^b | 1.00 ^a |
| M134580 | 17.96 ^a | 1.65 ^a | 1.00 ^a | 61.34 ^a | 1.12 ^b | 16.95 ^{bc} | 39.83 ^{bc} | 7.46 ^b | 1.00 ^a |
| M136090 | 21.57 ^a | 1.62 ^a | 1.37 ^a | 60.40 ^a | 0.75 ^b | 16.48 ^{bc} | 41.22 ^{bc} | 7.70 ^b | 1.00 ^a |
| Nixtamal | 20.95 ^a | 1.58 ^a | 1.00 ^a | 63.08 ^a | 3.48 ^a | 20.80 ^a | 41.10 ^{bc} | 8.34 ^a | 1.00 ^a |

PP= % Pérdida de peso, RT= Rendimiento de tortilla (g tortilla/ g harina), HT = %Humedad de tortilla, rolabilidad (1= no presenta ruptura, 2= 25% de ruptura, 3= ruptura del 50%, 4= ruptura del 75% y 5= ruptura completa. Medias con letras iguales en la misma columna no muestran diferencias significativas ($p < 0.05$).

El valor de pérdida de peso en las tortillas durante el cocimiento, es un parámetro relacionado con la humedad de la masa, la temperatura y tiempo de cocimiento en el comal. A este respecto, las tortillas se troquelaron enseguida de acondicionarlas a la humedad adecuada, y posteriormente se cocieron en el comal a una temperatura aproximada de 260 a 270°C en tiempos establecidos para cada cara, con la finalidad de homogenizar el cocimiento de las mismas. Los valores que se reportan de pérdida de peso van de 16 a 20% para tortillas elaboradas por el proceso tradicional, a este respecto se menciona que es deseable que la tortilla tenga una pérdida de peso menor a 20% para que posea cualidades óptimas de textura (Arámbula Villa y col., 2001). El rendimiento de tortilla está relacionado con la pérdida de peso y la capacidad de absorción de agua de la harina (Flores Farías, 2004).

El inflado o formación de ampolla (Tabla 19), no presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las tortillas provenientes de los tratamientos de CO y las tortillas elaboradas con harina de nixtamal, en general se observó una formación de la ampolla en todas las tortillas. El inflado de las tortillas es un parámetro deseable,

relacionado con valores altos de humedad en la masa que favorecen la formación de la ampolla en la tortilla (Yáñez Ortega, 2005).

El color de las tortillas en el eje L no fue significativamente diferente ($p < 0.05$) entre tratamientos, el rango encontrado para este parámetro fue de 59.64 a 62.489 en tortillas obtenidas por calentamiento óhmico, y el valor de tortillas de harina de nixtamal fue de 63.08. En este caso se observa que las tortillas obtenidas de harinas provenientes de calentamiento óhmico son ligeramente más oscuras que el nixtamal, a este respecto se debe recordar que algunos de los responsables importantes del cambio de color en productos provenientes de plantas o cereales son los compuestos fenólicos que al oxidarse y polimerizarse producen la formación de melaninas (Fennema, 1996) relacionadas con el oscurecimiento reflejado en la luminosidad. En las tortillas de harina nixtamalizada se produce la inactivación completa de la enzima por la temperatura de cocimiento, el tiempo de tratamiento y el pH altamente básico del líquido de cocción, pero en el tratamiento de CO, los tiempos de residencia del producto en la celda son de 3 a 5 minutos y se realizan con un pH menor al del proceso tradicional, lo cual puede permitir que la enzima responsable de los cambios en color; la *polifenol oxidasa* no se inactive por completo, además de que durante la nixtamalización tradicional se pierde parte del pericarpio que es en donde residen principalmente los compuestos fenólicos (Salinas Moreno y col., 2007). Para el eje L el valor reportado de bibliografía para tortillas de nixtamal es de 67.29 (Flores Farías, 2004), este valor al ser comparado con las tortillas obtenidas por CO y las tortillas de nixtamal control está muy por encima de los valores de luminosidad obtenidos, por lo cual se puede atribuir los valores obtenidos, no sólo a la concentración de cal, y la presencia de grupos fenólicos, sino también al genotipo del maíz. La diferencia de claridad en la tortilla contra lo reportado y lo encontrado en los tratamientos evaluados puede influir en la aceptación de la tortilla en el consumidor, para lo cuál será necesario hacer un estudio posterior.

Siguiendo en la evaluación del color, para el eje a, las tortillas de los diferentes tratamientos, presentaron diferencias ($p < 0.05$) con respecto al nixtamal, pero no entre los tratamientos de calentamiento óhmico. Los valores encontrados están

todos en el rango de coloración rojiza (valores positivos de a), pero el valor de las tortillas de nixtamal es mayor. El rango de valores de a determinado en las tortillas de harinas de calentamiento óhmico fue de 0.52 a 1.7 y para nixtamal fue de 3.48. Las tortillas de nixtamal se ubican en un valor de 1.33 (Flores Farías, 2004). Finalmente, para el eje b de color, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de calentamiento óhmico y el nixtamal ($p < 0.05$) donde el nixtamal presenta un valor de 20.8 en el rango de los amarillos y el rango encontrado para las tortillas de óhmico fue de 16.43 a 18.04. La diferencia en este eje de valores de los tratamientos con respecto a las tortillas de nixtamal es atribuible a la concentración de cal adicionada durante el tratamiento térmico, que fue menor en las harinas obtenidas por calentamiento óhmico. En cuanto a los valores reportados para el eje b se reporta un valor de 15.02 (Flores Farías, 2004). Comparando el valor reportado con el eje b de las tortillas de los diferentes tratamientos, se observa que los valores encontrados están por encima del mismo, al igual que el nixtamal que tuvo un valor de 20.

El porcentaje de humedad de la tortilla (HT), en general no mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos de calentamiento óhmico y el nixtamal, excepto en los tratamientos M054590, M055370, M056090, en los cuales, la humedad de las tortillas fue mayor (Tabla 19). De acuerdo a los resultados se observa una relación entre el tamaño de partícula y la humedad de la tortilla; donde ésta es mayor para tamaños de partícula menores. El rango general encontrado para la humedad de las tortillas de los tratamientos de calentamiento óhmico fue de 37.83% a 43.2% y para las de nixtamal de 41.104%. Sin embargo la humedad de la tortilla está influenciada por la humedad de la masa, la CAAS, el tamaño de partícula y principalmente por el proceso de cocimiento de la tortilla (Véles Medina, 2004). Valores reportados en bibliografía para tortillas de nixtamal presentan humedad de 44.92% (Flores Farías, 2004). Las harinas procesadas por calentamiento óhmico produjeron tortillas con humedades más bajas que las reportadas.

El pH de las tortillas (Tabla 19) elaboradas con harina proveniente de CO presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) comparado con el pH de las tortillas de nixtamal.

El pH de las tortillas de nixtamal fue mayor que en las tortillas obtenidas por calentamiento óhmico, este valor de pH se relaciona con la intensidad del color amarillo; generalmente las tortillas con pH más alto son más amarillas que las que presentan un pH menos básico; generalmente las tortillas con pH más alto son más amarillas que las que presentan un pH menos básico.

En el parámetro de rolabilidad (Tabla 19), las tortillas de los diferentes tratamientos no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$), rolando sin presentar ninguna ruptura enseguida de su elaboración. Este parámetro tiene relación con la humedad de la tortilla que en general al ser superior a 35% será una tortilla suave, no quebradiza. Los reportes de este parámetro mencionan que tortillas recién elaboradas de nixtamal tradicional y atemperadas a 30°C presentan una buena rolabilidad, con una calificación de 1, algunos factores que la afectan además de la humedad son la cantidad de fibra adicional (Figuroa y col., 2001). La importancia de esta medición subjetiva es que dará información acerca de la calidad de la tortilla para formar un taco, sin romperse (Figuroa, y col., 2001).

6.4.2. Evaluación de las fuerzas de tensión y corte en tortillas recién elaboradas

La fuerza de tensión (Tabla 20) en las tortillas mostró diferencias significativas entre tratamientos de calentamiento óhmico y nixtamal ($p < 0.05$), observándose que la fuerza de tensión en general fue mayor en el nixtamal que en las tortillas elaboradas por calentamiento óhmico. El rango encontrado de fuerza de tensión fue de 0.17 a 0.26 kg contra una fuerza de tensión del nixtamal de 0.27 kg. Por otro lado, se reportan valores de fuerza de tensión de 0.309 kg (Flores Farías, 2004), otros valores reportados para tensión de tortillas nixtamalizadas de diferentes genotipos de maíz criollo están en el rango de 0.155 a 0.256 kg (Antuna Grijalva y col., 2008). Dentro de lo reportado, las tortillas de calentamiento óhmico se ubican dentro de los rangos de fuerza de tensión para tortillas de maíces criollos. Es importante mencionar que la tensión y el corte son parámetros relacionados con las cualidades sensoriales en las tortillas.

Tabla 20. Fuerzas de tensión y corte en tortillas

| Muestra | Tensión | Corte |
|----------|--------------------|----------------------|
| M054590 | 0.172 ^b | 0.629 ^{cd} |
| M055370 | 0.18 ^b | 0.781 ^{bcd} |
| M056090 | 0.147 ^b | 0.519 ^d |
| M085370 | 0.262 ^a | 1.148 ^b |
| M085380 | 0.184 ^b | 0.856 ^{bcd} |
| M085390 | 0.18 ^b | 0.823 ^{bcd} |
| M086090 | 0.187 ^b | 0.763 ^{bcd} |
| M134580 | 0.259 ^a | 1.007 ^{bc} |
| M136090 | 0.19 ^b | 0.748 ^{bcd} |
| Nixtamal | 0.277 ^a | 1.614 ^a |

Fuerzas de tensión y corte en kg. Medias con letras iguales en la misma columna no muestran diferencias significativas ($p < 0.05$).

La fuerza de tensión se relaciona con los atributos de elasticidad y dureza en la tortilla evaluados de forma subjetiva por un consumidor, debido a que representa la fuerza necesaria para rasgar una tortilla al estirarla, simulando el rasgado con las manos (Reyes Vega y col., 1998). Con referencia a lo anterior, las tortillas evaluadas en el presente estudio son más suaves que las tortillas de nixtamal, y por lo tanto presentan mayor facilidad al rasgado. La fuerza de corte en las tortillas de los diferentes tratamientos mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) comparada con la fuerza de corte para tortilla de nixtamal, siendo mayor en las tortillas de nixtamal que presentaron un valor medio de 1.614 kg, contra el rango de fuerza de corte para tortillas de calentamiento óhmico que fue de 0.52 a 1.148 kg. El valor medio reportado para tortillas de nixtamal es de 1.782 kg (Flores Farías, 2004); otros reportes incluyen fuerzas de tensión en tortillas nixtamalizadas de maíces criollos, donde el rango reportado es de 0.89 kg a 1.523 kg (Antuna Grijalva y col., 2008). De acuerdo a lo anterior, las tortillas producidas por harina de tratamiento óhmico, se ubican dentro de lo reportado para tortillas nixtamalizadas de maíces criollos. La textura de la tortilla reflejada en sus propiedades mecánicas se relaciona con la retrogradación del almidón del nixtamal (Román Brito y col., 2007). A este respecto, es importante recordar que los resultados de retrogradación en harinas de nixtamal presentaron los valores más altos (Tabla 20).

El parámetro de corte por otro lado, muestra un valor numérico de la percepción sensorial de dureza de la tortilla al morderla o cortarla con los dientes (Reyes Vega y col., 1998), por lo cual, los valores bajos de resistencia a la fuerza de corte muestran una tortilla suave, fácil de morder, como es el caso de las tortillas producidas por harina de calentamiento óhmico.

6.4.3. Evaluación de tortillas a las 24 hrs. de elaboración

Se evaluaron las tortillas a las 24 hrs. de elaboradas en su vida útil, midiendo los parámetros de color, porcentaje de humedad, pH y rolabilidad, los resultados encontrados se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Color, porcentaje humedad y pH evaluados en tortillas a las 24 hrs.

| Muestra | Color | | | Humedad | pH | Rolabilidad |
|----------|---------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| | L | a | b | | | |
| M054590 | 59.38 ^b | 1.26 ^b | 17.31 ^{bc} | 39.01 ^{abc} | 7.61 ^b | 1.83 ^a |
| M055370 | 56.81 ^b | 1.01 ^b | 15.51 ^c | 39.79 ^{ab} | 7.74 ^b | 1.33 ^a |
| M056090 | 59.63 ^{ab} | 1.46 ^b | 17.43 ^{bc} | 42.24 ^a | 7.74 ^b | 1.56 ^a |
| M085370 | 57.65 ^b | 1.66 ^b | 16.87 ^{bc} | 34.88 ^c | 7.66 ^b | 1.67 ^a |
| M085380 | 58.81 ^b | 1.39 ^b | 17.52 ^{bc} | 36.36 ^{bc} | 7.71 ^b | 1.17 ^a |
| M085390 | 58.42 ^b | 1.13 ^b | 16.74 ^{bc} | 37.53 ^{abc} | 7.79 ^b | 1.67 ^a |
| M086090 | 57.95 ^b | 1.82 ^b | 17.1 ^{bc} | 37.99 ^{abc} | 7.64 ^b | 1.11 ^a |
| M134580 | 59.75 ^{ab} | 2.22 ^b | 17.91 ^b | 37.16 ^{bc} | 7.51 ^b | 1.28 ^a |
| M136090 | 57.50 ^b | 1.51 ^b | 16.80 ^{bc} | 37.02 ^{bc} | 7.70 ^b | 1.33 ^a |
| Nixtamal | 63.36 ^a | 4.58 ^a | 21.49 ^a | 35.87 ^{bc} | 8.55 ^a | 1.33 ^a |

Medias con letras iguales en la misma columna no muestran diferencias significativas (p<0.05).

De acuerdo a los resultados encontrados se muestra que hay diferencias significativas (p<0.05) en el parámetro L entre las tortillas de nixtamal y las tortillas de CO evaluadas a las 24 hrs de elaboración, excepto en los tratamientos M056090 y M134580, que presentan similitudes con el control. Se encontró que se presenta un oscurecimiento en las muestras de tratamiento óhmico al segundo día de elaboradas, que se observa en la luminosidad, sin embargo en el nixtamal el valor

aumenta; los resultados encontrados para el eje a presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) comparados con el nixtamal, pero no entre tratamientos de CO. En todos los casos se mantienen en el rango de los rojizos, pero aumentan ligeramente con respecto al primer día. En el eje b, aumenta la intensidad de la coloración amarilla, por efecto de la oxidación en las tortillas. El pH aumenta al día siguiente de elaboradas las tortillas y la humedad disminuye por disipación del agua libre al ambiente.

6.4.4. Vida de anaquel a temperatura ambiente durante 0, 24 y 48 hrs.

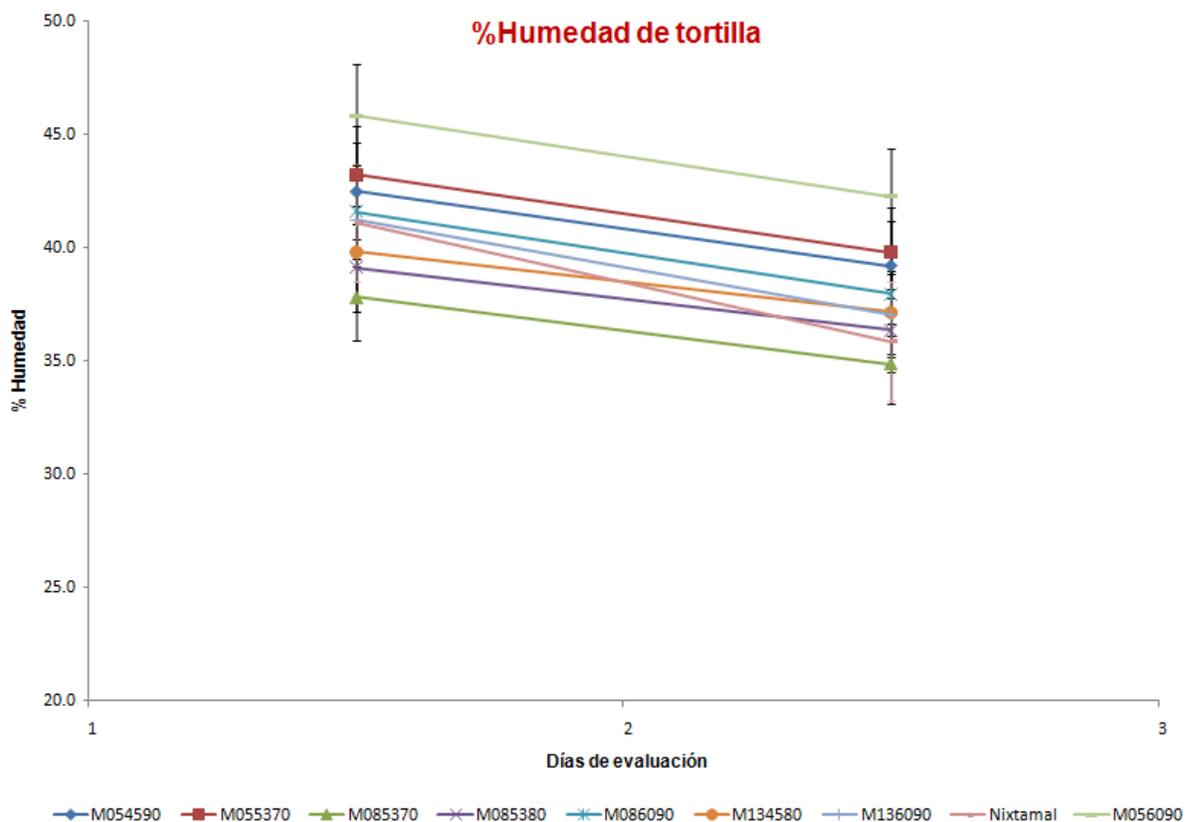


Figura 18. Comportamiento de humedad en tortillas evaluadas a 0 y 24 hrs.

La humedad de las tortillas evaluadas a temperatura ambiente mostró una disminución entre el día de elaboración y el día siguiente, tal como se muestra en la Figura 18. En esta gráfica se observa que la menor pendiente corresponde al

tratamiento M134580, que tiene la menor pérdida de humedad en tortillas de un día a otro.

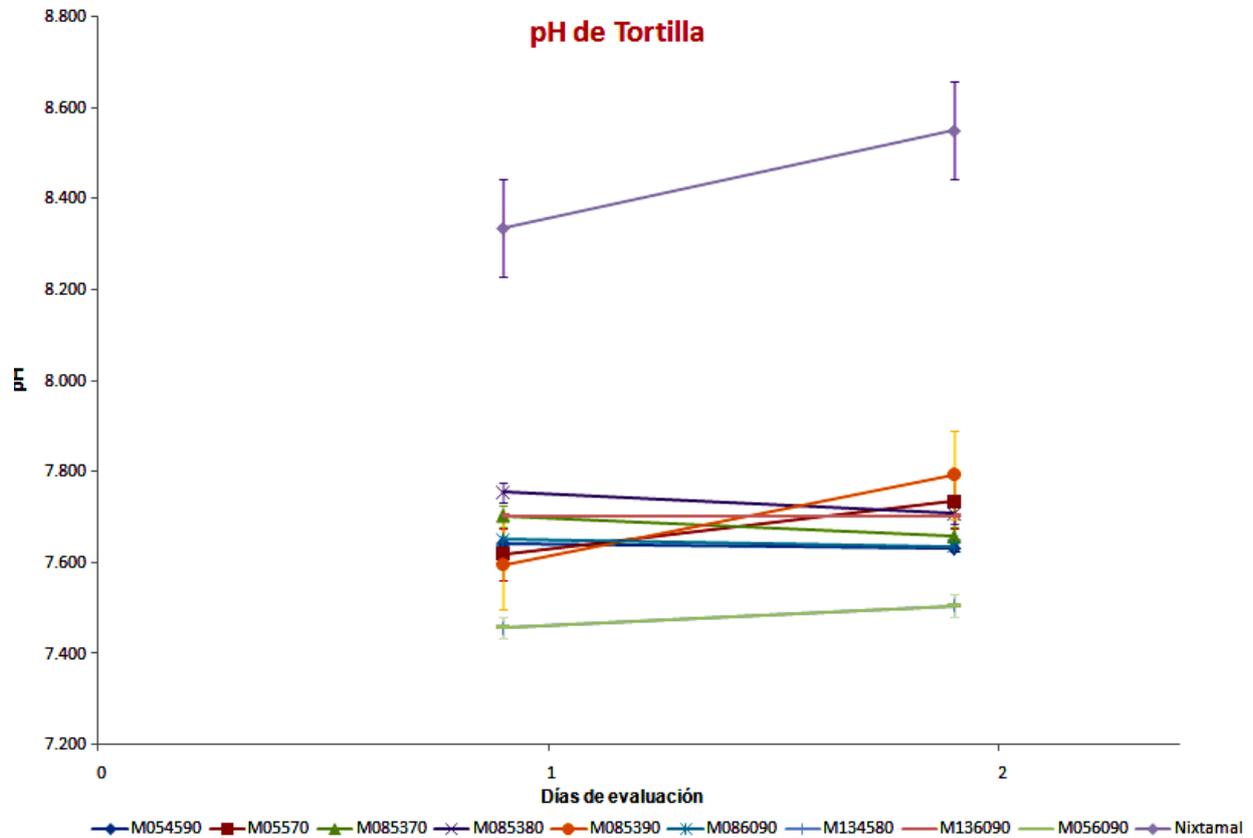


Figura 19. pH en tortillas evaluadas a 0 y 24 hrs de evaluación.

El pH de las tortillas de harinas obtenidas por CO y método tradicional en general no mostró cambios significativos a partir de su elaboración al día siguiente de evaluación excepto en el tratamiento M085390, pero existe una tendencia a aumentar a través del tiempo (Figura 19). Las fuerzas de tensión y corte relacionadas con la pérdida de humedad en las tortillas, aumentaron a las 24 hrs de elaboradas (Figuras 20 y 21), excepto en el tratamiento M086090, que presentó una disminución en la fuerza de tensión.

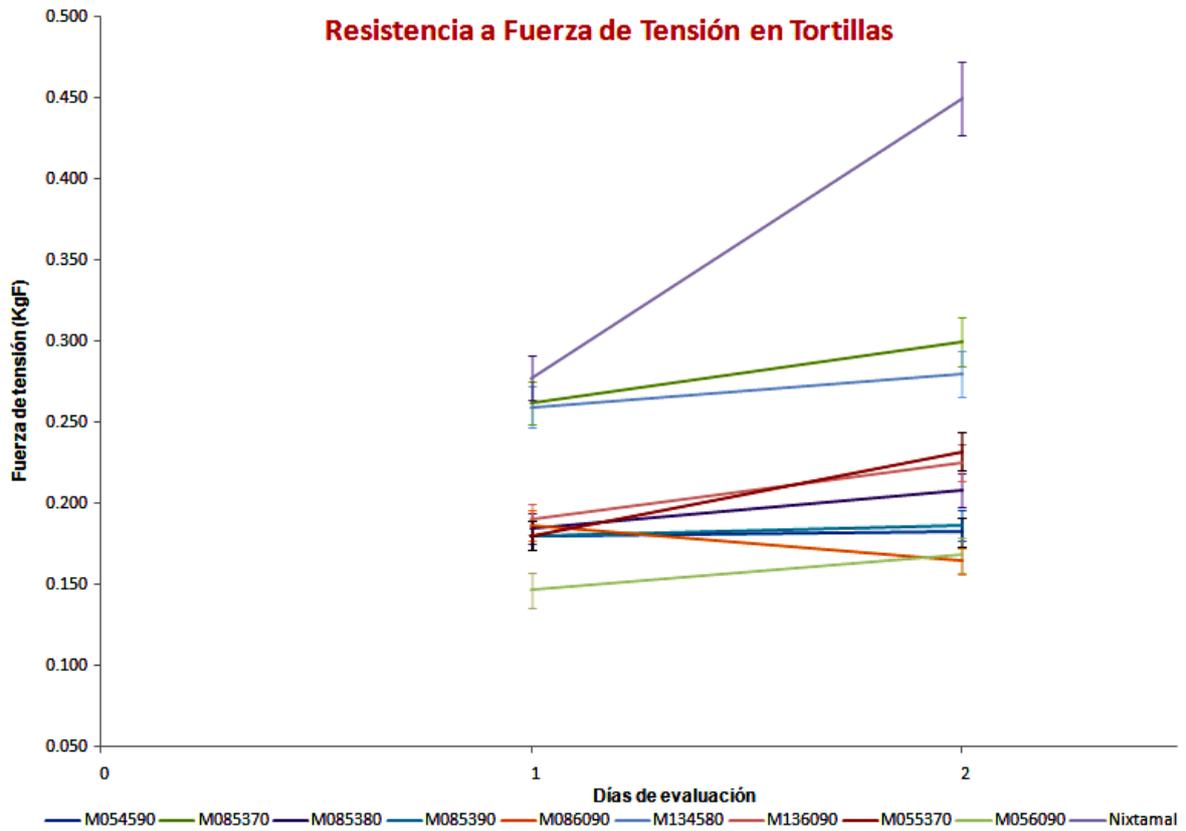


Figura 20. Evaluación de fuerza de tensión en tortillas a 0 y 24 hrs.

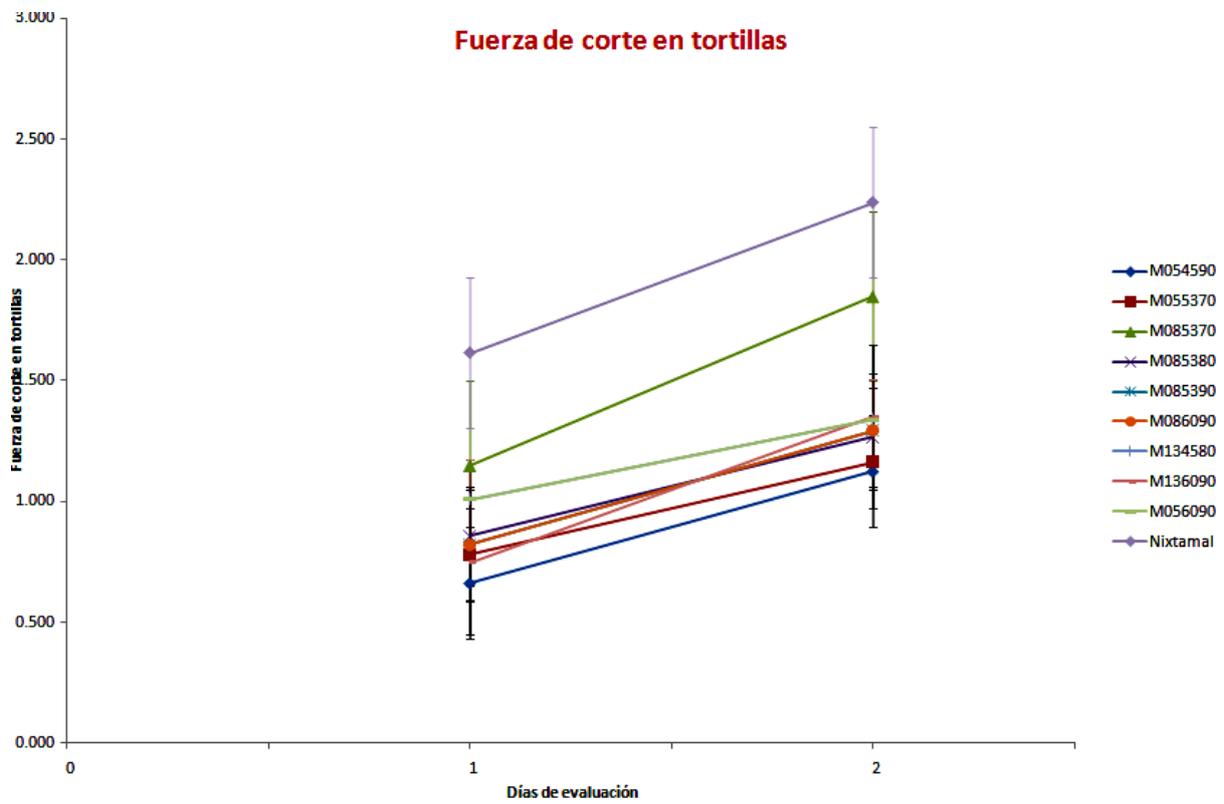


Figura 21. Evaluación de fuerza de corte en tortilla a 0 y 24 hrs.

De acuerdo a lo mostrado en las Tablas 21, 22 y 23, y las Figuras 18, 19, 20 y 21, las tortillas se mantuvieron viables las primeras 0 y 24 hrs. a temperatura ambiente, la cual osciló de 25 a 33°C, sin embargo a las 48 hrs. de elaboración se presentó desarrollo de microorganismos en la mayoría de las muestras, lo cual no permitió evaluar las cualidades texturales y de pérdida de humedad a través del tiempo en todas las replicas a las 48 hrs. Por esta razón, se analiza estadísticamente únicamente el efecto del tratamiento el día 1 (de elaboración) y día 2 (a las 24 hrs), y el efecto del almacenamiento en los mismos tiempos.

Los microorganismos encontrados mostraron apariencia de mohos, con colonias punteadas circulares color gris oscuro, tal como se muestra en la Figura 22.

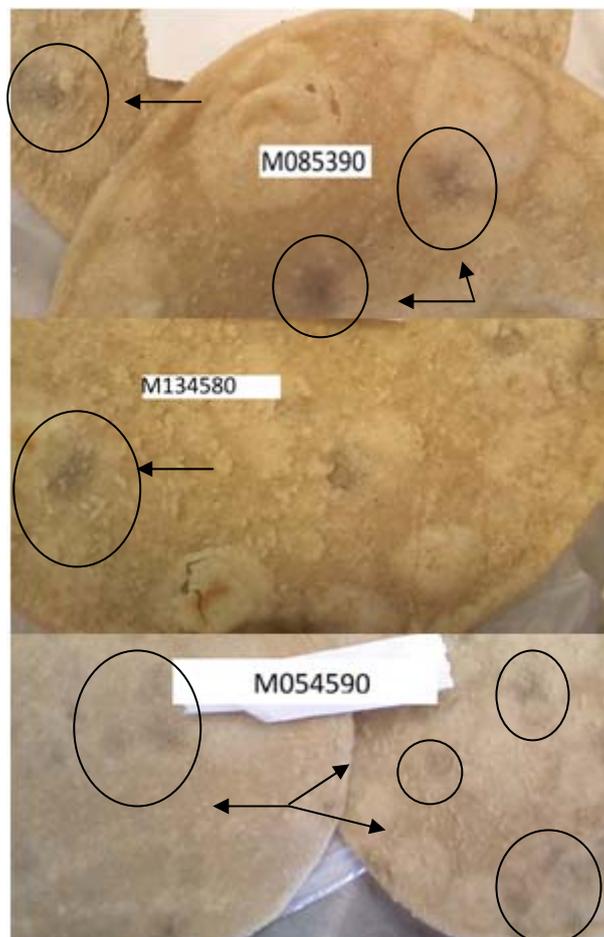


Figura 22. Tortillas con desarrollo microbiano a las 48 hrs. de elaboración.

Otras características en estas tortillas fueron: una alta humedad en su superficie.

La contaminación puede atribuirse a las altas temperaturas registradas en los días de evaluación; sin embargo no se descarta contaminación por contacto con materiales no inocuos.

6.4.5. Análisis del efecto del tratamiento y almacenamiento en tortillas almacenadas a 0 y 24 hrs.

Tabla 22. Comportamiento del color, la humedad y el pH de tortillas con respecto al tratamiento a las 0 y 24 hrs. de evaluación

| Muestra | Color | | | Humedad | pH |
|----------|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| | L | A | b | | |
| M054590 | 60.69 ^{abc} | 0.893 ^b | 16.87 ^b | 41.08 ^{bc} | 7.62 ^{bc} |
| M055370 | 58.22 ^c | 1.183 ^b | 15.48 ^b | 41.52 ^{ab} | 7.68 ^b |
| M056090 | 61.06 ^{ab} | 1.233 ^b | 17.25 ^c | 44.04 ^a | 7.76 ^{bc} |
| M085370 | 58.41 ^{bc} | 1.459 ^b | 16.78 ^{bc} | 36.36 ^d | 7.68 ^{bc} |
| M085380 | 60.14 ^{bc} | 1.574 ^b | 17.78 ^b | 38.77 ^{bcd} | 7.73 ^{bc} |
| M085390 | 59.97 ^{bc} | 1.165 ^b | 16.94 ^b | 39.76 ^{bc} | 7.70 ^{bc} |
| M086090 | 59.78 ^{bc} | 1.254 ^b | 16.79 ^{bc} | 39.79 ^{bc} | 7.64 ^{bc} |
| M134580 | 60.55 ^{abc} | 1.671 ^b | 17.43 ^b | 38.49 ^{cd} | 7.48 ^c |
| M136090 | 58.95 ^{bc} | 1.126 ^b | 16.64 ^{bc} | 39.12 ^{bc} | 7.70 ^{bc} |
| Nixtamal | 63.22 ^a | 4.031 ^a | 21.15 ^a | 38.49 ^{cd} | 8.44 ^a |

Medias con la misma letra en la misma columna no muestran diferencias significativas ($p < 0.05$).

En la Tabla 22 se muestran los valores promedio de la evaluación de las tortillas a las 0 y 24hrs. de elaboración, en los parámetros de color, humedad y pH, con la finalidad de evaluar el efecto de los tratamientos por día de almacenamiento. De acuerdo a los resultados, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos de harinas obtenidas por calentamiento óhmico y harina de nixtamal, en el parámetro de color en el eje de luminosidad L para el caso de los tratamientos M136090, M086090, M085390, M085380, M085370 y M055370, donde los valores encontrados son menores para las harinas procesadas por CO, mostrando tortillas con mayor oscurecimiento en los tratamientos de calentamiento óhmico, que pueden ser atribuidos a cambios en la composición química de la tortilla, por efecto del tratamiento térmico dieléctrico. Con respecto a estos resultados, comparados con los valores de luminosidad para tortillas recién elaboradas (Tabla 20), se

observa que a primer día de elaboración el efecto del tratamiento no es significativo en el parámetro L, sin embargo, el efecto se observa al promediar los valores de la evaluación de L para los dos días, en este caso, es de esperarse que exista no sólo efecto del tratamiento, sino también del almacenamiento.

Para el caso del parámetro *a* se observaron diferencias significativas de los tratamientos de óhmico comparados con tortillas de nixtamal ($p < 0.05$), presentando el nixtamal el valor más alto con 4.3 contra un rango de 0.893 a 1.67 encontrado en las tortillas obtenidas por CO. El parámetro de humedad presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las tortillas de los tratamientos de calentamiento óhmico y las tortillas de nixtamal, donde se observa que se obtuvieron valores más altos de humedad para tortillas de harinas obtenidas por calentamiento óhmico, este valor está reflejado en sus propiedades texturales, por otro lado, a pesar de las diferencias entre tratamientos de calentamiento óhmico y nixtamal, se encuentran similitudes o traslapes de valores de humedad entre otros tratamientos de CO, por lo cual, en general dentro de los propios tratamientos de calentamiento óhmico, se observa que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$) del parámetro, excepto en los tratamientos M056090 y M085370. El pH de las tortillas es significativamente diferente ($p < 0.05$), con respecto de los tratamientos de óhmico y el proceso tradicional, pero no entre tratamientos de CO.

Tabla 23. Efecto del tratamiento en la rolabilidad, fuerzas de tensión y corte en tortillas almacenadas 0 y 24 hrs.

| Muestra | Rolabilidad | Tensión | Corte |
|----------|-------------------|---------------------|--------------------|
| M054590 | 1.39 ^a | 0.18 ^d | 0.86 ^c |
| M055370 | 1.17 ^a | 0.21 ^{bcd} | 0.97 ^{bc} |
| M056090 | 1.28 ^a | 0.16 ^d | 0.63 ^c |
| M085370 | 1.42 ^a | 0.281 ^b | 1.50 ^{ab} |
| M085380 | 1.08 ^a | 0.20 ^{cd} | 1.06 ^{bc} |
| M085390 | 1.33 ^a | 0.18 ^d | 1.06 ^{bc} |
| M086090 | 1.06 ^a | 0.18 ^d | 0.85 ^c |
| M134580 | 1.17 ^a | 0.27 ^{bc} | 1.17 ^{bc} |
| M136090 | 1.14 ^a | 0.21 ^{bcd} | 1.05 ^{bc} |
| Nixtamal | 1.17 ^a | 0.36 ^a | 1.93 ^a |

Medias con letras iguales en la misma columna no muestran diferencias significativas.

La rolabilidad mostrada en la Tabla 23, no presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. La fuerza de tensión mostró diferencias entre tratamientos ($p < 0.05$) siendo mayor en las tortillas de nixtamal que en el resto de las tortillas. Para la fuerza de corte se observaron, igualmente diferencias significativas entre tortillas procesadas por CO y tortillas de nixtamal, mostrando estas últimas el mayor valor de fuerza de corte. Es importante recordar que los valores de textura se relacionan con la humedad de la tortilla, donde a menores humedades, generalmente se presentan mayores fuerzas de tensión y corte (Flores Farías, 2004). Según los reportes de tortilla de nixtamal almacenada a temperatura ambiente y evaluada a las 0 y 24 hrs., se reportan valores de fuerza de corte de 1.05 kg (Flores Farías, 2004) a 2.31kg (Figuroa y col., 2001), el primer día y de 1.5 kg a 2.77 kg el segundo día (Flores Farías, 2004; Figuroa y col., 2001), con una media de ambos días de 1.275 kg a 2.54 kg. De acuerdo a lo anterior los valores obtenidos como promedio de las fuerzas de corte para este estudio son menores a lo reportado para tortillas de nixtamal, por lo que se corrobora la suavidad de la tortilla, relacionada con su humedad, debido a que las pérdidas de humedad en tortillas obtenidas mediante el calentamiento óhmico fueron mínimas de un día a otro.

Tabla 24. Efecto del almacenamiento a 0 y 24 hrs, en tortillas

| Parámetro | Evaluación a 0 hrs. | Evaluación a 24 hrs. |
|-------------|---------------------|----------------------|
| L | 61.18 ^a | 58.84 ^b |
| a | 1.28 ^a | 1.65 ^b |
| b | 17.10 ^a | 17.32 ^b |
| %H | 41.84 ^a | 37.62 ^b |
| pH | 7.750 ^a | 7.79 ^a |
| Rolabilidad | 1.00 ^a | 1.48 ^b |
| Tensión | 0.20 ^a | 0.24 ^b |
| Corte | 0.86 ^a | 1.39 ^b |

En la Tabla 24, se muestra el efecto del almacenamiento sobre los parámetros de las tortillas obtenidas por calentamiento óhmico y nixtamal. Las medias mostradas son un valor obtenido de todos los tratamientos, incluyendo el nixtamal. A este respecto, los resultados muestran que existe efecto significativo del almacenamiento sobre todos los parámetros evaluados, excepto el pH, que se mantuvo estable en el día de elaboración de las tortillas y al siguiente día. Los resultados obtenidos se encuentran acordes a lo reportado en bibliografía; que mencionan que el valor de las fuerzas de tensión y corte aumenta por los días de almacenamiento (Flores Farias, 2004).

6.5. Mejores tratamientos obtenidos por calentamiento óhmico

De acuerdo al análisis estadístico previo, en la Tabla 25 se muestra un concentrado de resultados de algunos parámetros que se evaluaron en la caracterización de harina, masa y tortilla. En los cuales se observa que los tratamientos señalados con dos asteriscos fueron los que mostraron mayor similitud con el control. Sin embargo se encontraron mejores características de calidad comparadas con el control, en los parámetros señalados en negritas de los diferentes tratamientos. Estas características incluyen capacidad de absorción de agua, rendimiento de masa y tortilla, que son parámetros importantes para los industriales, debido a que un mayor rendimiento de producto tiene impacto económico positivo. Por otro lado, un valor de

CAAS elevado contribuye a la suavidad de la tortilla (menores valores de fuerzas de tensión y corte), mayor humedad de la masa y de la tortilla.

Tabla 25. Evaluación general de los tratamientos obtenidos por CO

| MUESTRA | Harina | | | Masa | | | Tortilla | | | | |
|-----------|---------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| | CAAS | LH | Retro | RM | HM | Coh | LT | HT | RT | Tensión | Corte |
| M054590 | 1.13 ^a | 81.77 ^a | 2230.50 ^{ab} | 2.13 ^a | 54.74 ^{ab} | 0.111 ^d | 62.01 ^a | 43.15 ^{ab} | 1.67 ^a | 0.17 ^b | 0.63 ^{cd} |
| M055370 | 1.07 ^{abc} | 77.99 ^f | 1100.96 ^c | 2.07 ^{abc} | 55.22 ^{ab} | 0.19 ^{abc} | 59.64 ^a | 43.24 ^{ab} | 1.63 ^a | 0.18 ^b | 0.78 ^{bcd} |
| M056090 | 1.11 ^{ab} | 79.07 ^e | 864.98 ^c | 2.11 ^{ab} | 56.34 ^a | 0.15 ^{bcd} | 62.49 ^a | 45.84 ^a | 1.69 ^a | 0.15 ^b | 0.52 ^d |
| M085370** | 0.87 ^e | 79.87 ^{de} | 2587.92 ^a | 1.87 ^e | 49.40 ^e | 0.12 ^{cd} | 59.18 ^a | 37.84 ^c | 1.57 ^a | 0.26 ^a | 1.15 ^b |
| M085380** | 1.04 ^{bc} | 81.41 ^{ab} | 1918.05 ^b | 2.04 ^{bc} | 52.71 ^{cd} | 0.12 ^{cd} | 61.48 ^a | 41.18 ^{bc} | 1.61 ^a | 0.18 ^b | 0.86 ^{bcd} |
| M085390 | 1.09 ^{ab} | 81.00 ^{abc} | 994.53 ^c | 2.09 ^{ab} | 54.82 ^{ab} | 0.18 ^{abcd} | 61.51 ^a | 41.99 ^{ab} | 1.63 ^a | 0.18 ^b | 0.82 ^{bcd} |
| M086090 | 1.09 ^{ab} | 77.85 ^f | 1075.92 ^c | 2.09 ^{ab} | 54.76 ^{ab} | 0.23 ^a | 61.62 ^a | 41.59 ^{bc} | 1.64 ^a | 0.19 ^b | 0.76 ^{bcd} |
| M134580** | 0.93 ^{ed} | 81.44 ^{ab} | 2197.69 ^{ab} | 1.93 ^{de} | 51.22 ^{de} | 0.12 ^{bcd} | 61.34 ^a | 39.83 ^{bc} | 1.65 ^a | 0.26 ^a | 1.01 ^{bc} |
| M136090 | 1.10 ^{ab} | 80.38 ^{dc} | 1041.96 ^c | 2.10 ^{ab} | 54.17 ^{bc} | 0.22 ^a | 60.40 ^a | 41.22 ^{bc} | 1.62 ^a | 0.19 ^b | 0.75 ^{bcd} |
| Nixtamal | 1.00 ^{cd} | 80.67 ^{bcd} | 2259.94 ^{ab} | 2.00 ^{cd} | 53.78 ^{bc} | 0.20 ^{ab} | 63.08 ^a | 41.10 ^{bc} | 1.58 ^a | 0.28 ^a | 1.61 ^a |

CAAS= Capacidad de absorción de agua subjetiva (mL agua/ g harina), LH = luminosidad de la harina, Retro= Retrogradación (cP), RM= rendimiento de masa (g masa/ g harina), Coh= Cohesividad de la masa (kg), LT = luminosidad de la tortilla, HT= Humedad de la tortilla a las 0 hrs., RT= Rendimiento de tortilla (g tortilla/ g harina), Tensión (kg), Corte ((Kg). Medias con letras iguales en la misma columna no muestran diferencias significativas (p<0.05).

Este concentrado se compara finalmente con un trabajo realizado por Figueroa (2002) relacionado a las características de calidad en harina, masa y tortilla, el cual especifica que un valor aceptable de retrogradación en soluciones acuosas de harina debe estar entre 1800 y 2800 cP. Una humedad ideal en la tortilla en el rango de 40% a 50%, el color en un rango de 65 a 75 de luminosidad, fuerza de corte de 0.5 a 1.2 kg y fuerza de tensión de 0.05 a 0.15 kg, en el primer día de elaboración. Con base a lo anterior, se observa que los valores de retrogradación en las harinas se encuentran dentro de los rangos estipulados de calidad, pero que son menores en harinas obtenidas por óhmico que en harina nixtamalizada por método tradicional. Las humedades de tortilla están dentro de los rangos, excepto en los tratamientos M134580 y M085370. Las fuerzas de tensión son ligeramente mayores que el rango estipulado, pero menores en tortillas de harinas de CO, que en tortillas

elaboradas del control, finalmente, las fuerzas de corte están dentro del intervalo de calidad.

6.6. Análisis de componentes principales de las harinas obtenidas por calentamiento óhmico comparadas con el nixtamal.

Se realizó el análisis de componentes principales (ACP) para asociar las características comunes de las muestras, considerando algunos parámetros físicos relacionados con la calidad en harina, masa y tortilla; los cuales fueron CAAS, IAA, ISA, viscosidad máxima y retrogradación, para harina; contenido de humedad, cohesividad y rendimiento, para masa; y humedad, fuerzas de tensión y corte, para tortilla.

El ACP mostró que los primeros tres componentes explican el 85.8% de la variabilidad total entre los tratamientos; de los cuales el aporte del componente principal 1 (CP1) es de 56%, el del componente principal 2 (CP2) es de 17% y el del componente principal 3 (CP3) es de 12.5%. Los parámetros del CP1 estuvieron interrelacionados con la capacidad de absorción de agua (CAAS) y la retrogradación principalmente. Asimismo, los parámetros determinantes para el CP2 y CP3 fueron los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA e ISA), interrelacionados con la fuerza de cohesión en masa y corte en tortillas. Los parámetros determinantes para cada vector están indicados en la Tabla 26 con asterisco.

Tabla 26. Componentes principales y sus parámetros

| Componente Parámetro | CP1 | CP2 | CP3 |
|-----------------------------|---------|---------|---------|
| CAAS | 0.351* | 0.162 | 0.140 |
| IAA | 0.212 | -0.410* | 0.290* |
| ISA | 0.060 | -0.602* | -0.307* |
| Viscosidad máxima | -0.326* | 0.303* | 0.229 |
| Retrogradación | -0.346* | 0.138 | -0.086 |
| Humedad de Masa | 0.347* | 0.211 | 0.189 |
| Cohesión | 0.129 | -0.236 | 0.663* |
| Rendimiento Masa | 0.351* | 0.162 | 0.140 |
| Rendimiento Tortilla | 0.182 | 0.318* | -0.238 |
| Humedad de Tortilla | 0.314* | 0.309* | -0.038 |
| Tensión | -0.333* | 0.082 | 0.220 |
| Corte | -0.317* | 0.048 | 0.376* |

Los *Eigen*vectors presentados en las gráficas de componentes principales (Figura 23, 24 y 25) como líneas azules, muestran la dirección en la que se incrementa el valor del parámetro.

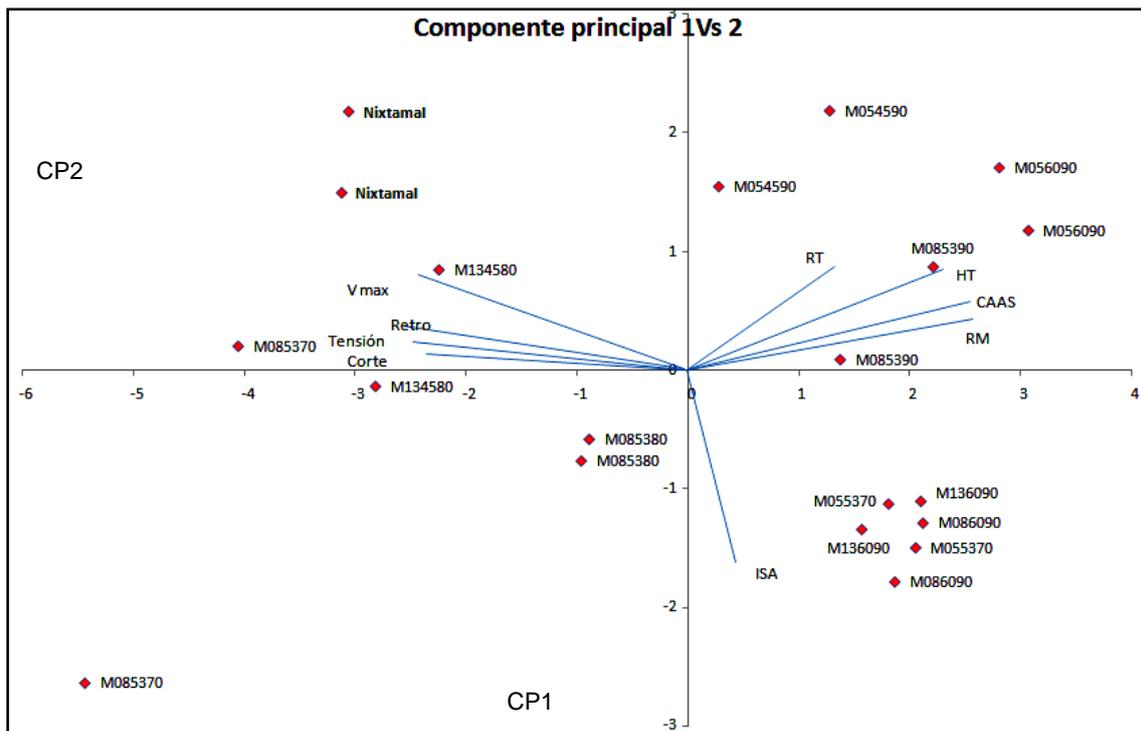


Figura 23. Análisis de los componentes principales 1 y 2.

Se observa que los tratamientos que presentaron mayores valores de viscosidad máxima y retrogradación se ubican en el extremo izquierdo de la Figura 23, que es donde se encuentra el nixtamal; los tratamientos que se agrupan con el mismo son el M134580, M085370, los cuales también presentan valores altos de retrogradación con respecto a los otros tratamientos de CO. En el mismo cuadrante se observa la textura de la tortilla determinada por los parámetros de tensión y corte; las tortillas de harina de nixtamal tuvieron los valores más altos en estos parámetros, seguidos de las tortillas del tratamiento M085370, M134580 y M085380. De acuerdo a lo observado en el cuadrante inferior derecho de la Figura 23, las harinas que presentaron mayor ISA, tienen en común humedades de tratamiento de 53 a 60%, pero en general todas las harinas de calentamiento tienen valores más altos de ISA que la harina de nixtamal. Entre otros aspectos interesantes se observa que los tratamientos con temperatura de tratamiento de 90°C, presentan una alta capacidad de absorción de agua, rendimiento de tortilla (RT), humedad de tortilla (HT) y rendimiento de masa (RM), que se ubican a la derecha de la gráfica.

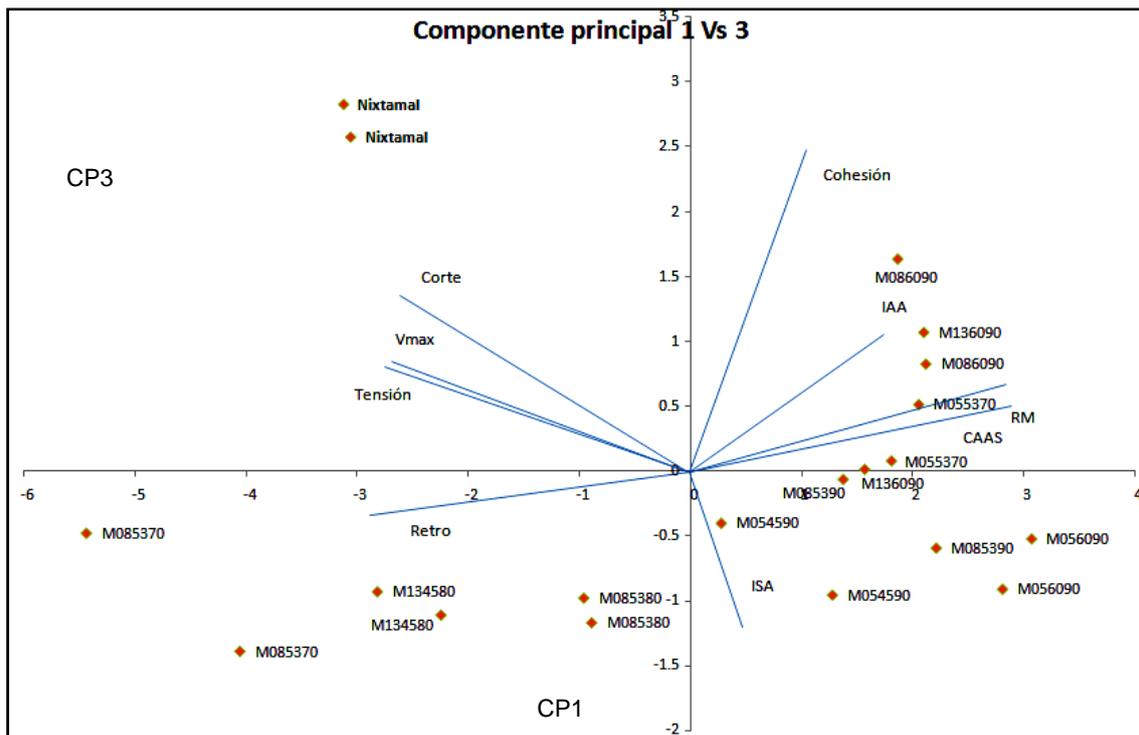


Figura 24. Análisis de los componentes principales 1 y 3.

En la Figura 24 se muestran los parámetros que determinan los componentes principales 1 y 3. Los parámetros de viscosidad máxima en harina, fuerza de tensión y fuerza de corte en las tortillas, separan al nixtamal de los otros tratamientos, debido a que la harina de nixtamal presentó los mayores valores en estos parámetros. Se observa también que los tratamientos con mayor cohesividad fueron el M086090, M136090, que son tratamientos con altas condiciones de humedad y temperatura, asimismo, el nixtamal también presenta un valor alto de cohesión. Se observan agrupaciones de los tratamientos con temperaturas de 90°C en el extremo derecho de la gráfica, en los cuadrantes superior e inferior, mostrando menores valores de viscosidad máxima, retrogradación, fuerzas de tensión y corte en tortillas.

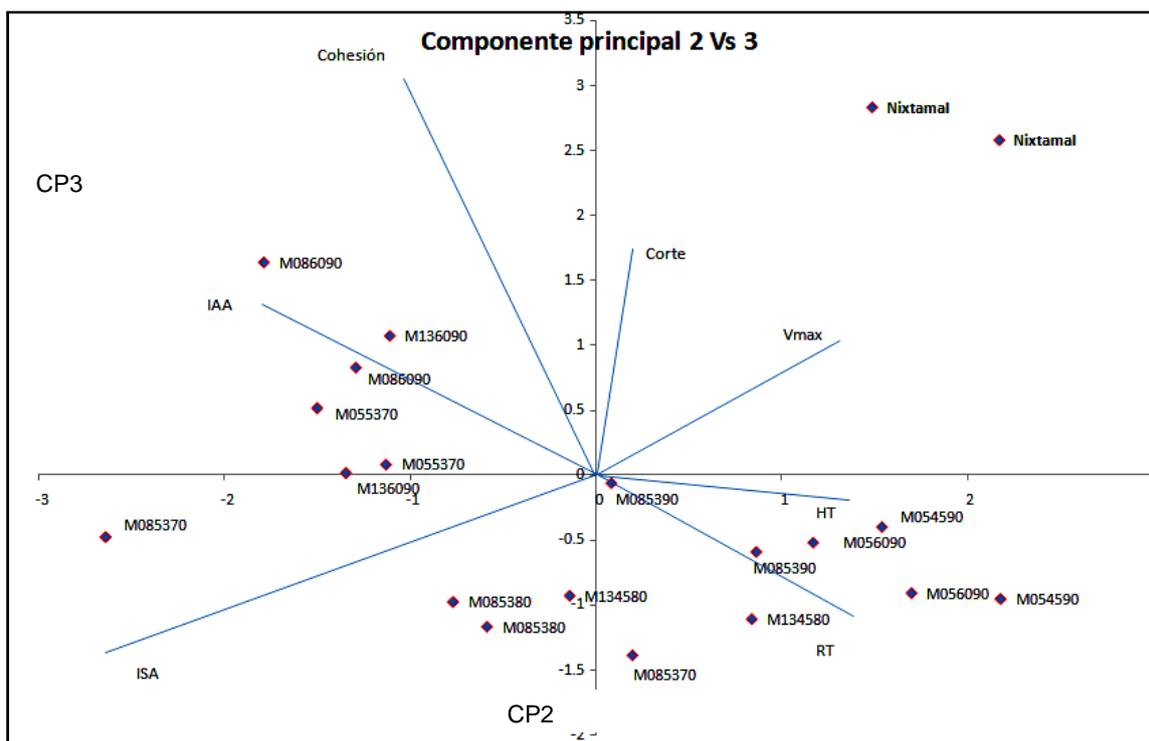


Figura 25. Análisis de componentes principales 2 y 3.

En la Figura 25 se observa que los valores menores de índice de solubilidad en agua (ISA) se presentaron en harinas de nixtamal en contraparte todas las harinas de óhmico tuvieron valores elevados de ISA, este parámetro separa claramente los tratamientos de óhmico del nixtamal. Otras observaciones muestran que los tratamientos con tamaño de partícula 0.5 presentaron cohesiones bajas, al igual que los tratamientos de partícula 0.8 mm con temperaturas menores a 90°C. Por otro lado, los índices de absorción de agua (IAA) fueron en general mayores en harinas de óhmico, donde el mayor valor fue el del tratamiento M086090. Se observa un grupo en el cuadrante inferior derecho de harinas con alto rendimiento de tortillas.

De acuerdo al ACP realizado, se encontró que los parámetros que más influyen en las características del producto, son la CAAS relacionada con los rendimientos de masa y tortilla, humedad de la masa y humedad de la tortilla; y el parámetro viscosidad máxima, referente al grado de modificación en el almidón y que está relacionado con los índices de solubilidad y absorción de agua y la retrogradación.

Capítulo 7. Conclusiones

Con base en los objetivos planteados para el presente proyecto y los resultados obtenidos de la caracterización de las harinas elaboradas por calentamiento óhmico, se concluye que:

- Es posible obtener, bajo determinadas condiciones, harinas instantáneas de maíz por calentamiento óhmico que presentan características con calidad similar a las harinas obtenidas por nixtamalización tradicional y adecuadas para la fabricación de tortillas.
- Las harinas que presentaron mayor similitud con la harina control fueron tres, con las claves: M134580, M085370, M085380, que son las obtenidas con las variables de entrada: tamaño de malla de 1.3 mm y 0.8 mm, humedad de 45% y 53%, temperatura de tratamiento de 70 y 80°C. Las similitudes encontradas fueron en el color de la harina, reología y rendimiento de la masa; rolabilidad en tortillas y fuerzas de tensión en las mismas.
- En las harinas M054590, M055370, M056090, M085390, M086090, M136090, se obtuvieron mayores rendimientos de masa y de tortilla, que en la harina control y en las harinas M134580, M085370, M085380.
- Las harinas que presentan mayor rendimiento dan lugar también a tortillas más suaves, reflejando esta cualidad en menores fuerzas de tensión y corte que las tortillas de harina de nixtamal.
- Las características comunes de las harinas que presentan mayor rendimiento tienden a presentar alta temperatura de proceso, excepto en la muestra M055370.

- Del análisis estadístico general y ACP, se obtiene que los parámetros evaluados están en general relacionados con la CAAS y viscosidad, y estas se relacionan con rendimientos de masa y tortilla, índices de absorción agua e índice solubilidad en agua en harinas y fuerzas de tensión y corte en tortillas.
- El ACP, al agrupar tratamientos específicos indica que las condiciones del proceso permiten controlar los parámetros responsables de la calidad del producto.
- Se observó que las tortillas obtenidas de harinas por CO son más oscuras que las tortillas obtenidas de harina de nixtamal, lo cuál representa una desventaja sensorial. Sin embargo, estas tortillas son más suaves, lo cuál es una ventaja. Estas características se ven afectadas durante el almacenamiento; a las 24 hrs las tortillas son más oscuras pero continúan siendo más suaves que las obtenidas a partir del control.
- De acuerdo a los resultados de análisis proximales en las harinas de CO, el contenido de proteínas y el contenido de fibra cruda fueron mayores que en el control, esto representa una ventaja del proceso óhmico comparado con el proceso tradicional debido a que mantiene la cantidad de nutrientes del maíz de origen, porque se evita el desecho de agua de cocimiento.

De acuerdo a lo anterior se concluye finalmente, que es posible obtener harinas instantáneas de maíz por este nuevo proceso ecológico.

Capítulo 8. Trabajo futuro

Los alcances de la investigación abordaron únicamente la caracterización fisicoquímica de las harinas, masa y tortilla.

Como continuidad al trabajo presentado, queda por realizar un estudio nutricional de estas harinas que permita conocer la calidad y disponibilidad de los nutrientes presentes en las mismas debidos a los cambios ocasionados por los diferentes tratamientos, a través de un modelo biológico. Aunado a ello es importante hacer un estudio sensorial de las harinas con paneles de degustación entrenados y también con consumidores en general de tortilla, lo cual permitirá conocer el potencial de mercado de las tortillas como producto final elaboradas por harinas obtenidas de calentamiento óhmico.

Otros estudios que quedan por realizar incluyen la evaluación de la vida de anaquel en las harinas a diferentes tiempos y condiciones de temperatura; por análisis físicos y químicos de las harinas, índice de peróxidos y análisis microbiológico.

Por otro lado, sería interesante evaluar el potencial de formado y cocimiento de las masas provenientes de harinas procesadas por CO, en una tortilladora automática convencional de expendio de tortillería.

Dentro de los aspectos técnicos es necesaria la automatización del equipo y el rediseño de prototipo que permita un fácil escalamiento industrial, en el cual se puedan evaluar directamente los rendimientos y costos de energía y del producto mismo. Así como la energía requerida para un proceso industrial.

Capítulo 9. Bibliografía

AACC. 1995. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists 8th ed. The Association, St. Paul, MN.

ACERO Guadalupe, 2000. Uso del cerdo como modelo biológico para evaluar la calidad de la tortilla por dos procesos de nixtamalización y la fortificación con vitaminas y pasta de soya. Tesis de Maestría. Universidad de Colima. México.

ALMEIDA DOMÍNGUEZ, H. D., Cepeda, M., y Rooney, L. W., 1996. Properties of commercial nixtamalized corn flours. *Cereal Food World*; 41:624.

ANDERSON RH, Conway HF, Pfeifer VF y Griffin EL Jr., 1969. Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion- cooking. *Cereal Science Today*; 14; 4- 7; 11- 12.

ANTUNA GRIJALVA O., Rodríguez Herrera S. A., Arámbula Villa G., Palomo Gil A., Gutiérrez Arias E., Espinosa Banda A., Navarro Orona E., Enríquez A. E., 2008. Calidad tortillera en maíces criollos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31:3:23-27.

ARÁMBULA VILLA Gerónimo, Mauricio, S. R. A., Figueroa C. J. D., González Hernández J. Y Ordorica F. C. A., 1999. Corn masa and tortillas from extruded instant corn flour containing hydrocolloids and lime. *Journal of Food Science*, 64: 1: 1999.

ARÁMBULA VILLA G., Barrón Ávila L., González Hernández J., Moreno Martínez E. y Luna Barceinas G., 2001. Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano, masa y tortillas de maíz. *ALAN*, 51: 2:187-194. ISSN 0004-0622.

ARÁMBULA VILLA Gerónimo, Méndez Albores J. Abraham, González Hernández Jesús, Gutiérrez Árias Edmundo y Moreno Martínez Ernesto, 2004. Evaluación de una metodología para determinar características de textura de tortilla de maíz (*Zea mays* L.) ALAN, 54: 2. Consulta web http://www.alanrevista.org/ediciones/2004-2/evaluacion_metodologia_textura_tortilla_maiz.asp. (Mayo 2008).

BANCO DE NORMAS 2004, Norma Oficial Mexicana NMX-F-046-S-1980 Harina de Maíz Nixtamalizado Norma Mexicana, Dirección General de Normas. Sitio web <http://www.colpos.mx/bancodenormas>. Consulta web <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-046-S-1980.PDF>. (Marzo 2008).

BAZÚA, C.D.; Guerra, R.; Sterner, H. 1979. Extruded corn flour as an alternative to lime-heated corn flour for tortilla preparation. *J. Food Sci.* 44:940.

BEDOLLA, S. 1983. Development and characterization of instant tortilla flours from sorghum and corn by infra-red baking (micronizing) and extrusion baking. PhD dissertation. Texas A&M University: College Station, TX.

BEDOLLA S. & Rooney LW, 1984. Characteristics of U.S. and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World.* 29:11:732-735.

BELLO PÉREZ Luis A., Osorio Díaz P., Agama Acevedo E., Núñez Santiago C., Paredes López O., 2002. Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia.* 33: 6: 319-327.

BILLEB DE SINIBALDI A. C., Bressani Ricardo, 2001. Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. ALAN 51: 1: 86-94.

BRESSANI R., Paz y Scrimshaw, N. S., 1958. Chemical Changes in Corn During Preparation of Tortillas. *J. Agric. Food Chem.* 6: 770- 774.

BRESSANI R., Castillo, S.V., Guzmán, M.A. 1962. The nutritional evaluation of Processed whole corn flour. Agriculture. J. Food Chemistry. 10: 308-312.

BRESSANI R., Turcios Juan C., Reyes Luis y Mérida Roberta, 2001. Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central. ALAN 51: 3.

CALAVERAS Jesús, 2004. Nuevo tratado de panificación y bollería. Mundi- Prensa Libros. ISBN 8484761479, 9788484761471

CORTEZ A., Wild Altamirano C. 1972. Contribución a la tecnología de la harina de maíz. INCAP L-3, p. 90-106. Guatemala, INCAP.

CUEVAS RODRÍGUEZ E. O., Reyes Moreno C., Eckhoff S. R. y Milán Carrillo J. 2009. Nixtamalized Instant Flour from Corn (*Zea mays* L.) Meal: Optimization of Nixtamalization Conditions. Cereal Chemistry 86: 1: 7-11.

DAVIES L. J., Kemp M. R. y Fryer P. J., 1999. The geometry of shadows: effects of inhomogeneities in electrical field processing. Journal of Food Engineering 40:245-258.

DESCHAMPS A. I., 1985. Aprovechamiento industrial del maíz en la manufactura de productos alternos a los de panificación originados en el trigo. Congreso Tecnología de Alimentos Viña del Mar, Chile.

DÍAZ DEL CASTILLO Bernal, 2005. Historia verdadera de la conquista de Nueva España. http://www.lainsignia.org/2005/marzo/cul_047.htm (Consulta web, Diciembre 2008).

DURÁN DOMÍNGUEZ, 1999. Del nixtamal a la opción científica. Periodismo de ciencia y Tecnología, Enero de 1999. <http://www.invdes.com.mx/antiores/Enero1999/htm/maiz.html> (Consulta web, Abril 2007).

Li Fa De, Li Te Li, Li Zaigui y Tatsumi Eizo, 2003. Determination of starch gelatinization temperature by ohmic heating. Journal of Food Engineering. Vol. 62: 2: 113-120.

FAO, 1993. El maíz en la nutrición humana. Depósito de documentos de la FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

FAO, 2001. El maíz en los Trópicos, mejoramiento y producción. Depósito de documentos de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

FAO, 2003. FAOSTAT STATISTICS DATA BASE, <http://apps.fao.org/> (Consulta web, Abril 2007).

FDA, 2000. - U. S. Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition.

FENNEMA Owen R. 1996. Química de los alimentos. Edit. Marcel Dekker, New York, Basel. ab

FERNÁNDEZ MUÑOZ J. L., San Martín Martínez E., Díaz Góngora J. A., Calderón A., Ortiz H., 2008. Evaluación de las distribuciones de tamaño de partícula de harina de maíz nixtamalizada por medio de RVA. Superficies de vacío 21:3: 25-30.

FIGUEROA J. D. 1994. Modernización tecnológica del proceso de nixtamalización. Avance y Perspectiva 13: 323-329.

FIGUEROA J. D., 1999. La tortilla vitaminada. Avance y perspectiva 18:149-158.

FIGUEROA J. D., Acero G. M. G., Vasco M. N., Lozano G. A., Flores A. L., González H. J., 2001. Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. ALAN 51: 3: 293-302. ISSN 0004-0622.

FIGUEROA J. D., 2002. Evaluation of Illinois white corn using Mexican grading standards for tortilla production (nixtamalization). University Illinois at Urbana Champaign. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados Unidad Querétaro, México.

FLORES FARÍAS Rivelino, Martínez B. Fernando., Salinas Yolanda, Ríos Elvira, 2002. Caracterización de harinas comerciales de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36:5:557- 567. México.

FLORES FARÍAS Rivelino, 2004. Efecto de la incorporación de fibra dietética de diferentes fuentes sobre propiedades de textura y sensoriales en tortillas de maíz (*Zea mays* L). Tesis de maestría. CICATA, Querétaro.

FRANCO Daniel, 2004. Productos de maíz. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. http://www.alimentosargentinos.gov.ar/0-3/revistas/r_32/cadenas/farinaceos_maiz.htm. Consulta web (octubre 2008).

GALVÁN GRANADOS María Elena, 2007. A comparative study of the entry of water and calcium ions to grain corn. Tesis de maestría. CICATA, IPN, Querétaro.

GARCÍA Susana, 2004. Estudio Nutricional Comparativo y Evaluación Biológica de Tortillas de Maíz Elaboradas por Diferentes Métodos de Procesamiento. Tesis de maestría. CICATA, Querétaro.

GAYTÁN MARTÍNEZ M., Morales S. E., Figueroa Cárdenas J. D. C., 2000. Aplicación de un proceso de cocimiento dieléctrico en la elaboración de harinas instantáneas de maíz amarillo para preparación de frituras de masa y tortillas. *ALAN*, 50: 4: 366 - 373.

GAYTÁN MARTÍNEZ M., Morales Sánchez E., Figueroa Cárdenas J. D. C., Vázquez Landaverde P., 2008. Evaluation Of Ohmic Heating Processing Parameters Used To Obtain Nixtamalized Corn Flour. 3rd International Congress Food Science and Food Biotechnology in Developing Countries. P. 33-37, 2008.

GÓMEZ ALDAPA C. A., Martínez Bustos F., Figueroa J. D. C., Ordorica F. C. A., González Hernández J., 1996. Cambios en algunos componentes químicos y nutricionales durante la preparación de tortillas de maíz elaboradas con harinas instantáneas obtenidas por extrusión. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 46:315-319.

GÓMEZ ALDAPA C., Martínez Bustos F., Figueroa J. D. C., Ordorica F.C.A. 1999. A comparison of the quality of corn tortillas made from instant corn flours by traditional of extrusion process. Int. J. Food Sci. Tech. 34:391-399.

GÓMEZ M.H., Waniska R. D., y Rooney and Pflugfelder, R. L. 1987. Dry corn masa flours for tortilla and snack production. Cereal Foods World. 32:372.

GUERRA, 1978. Extrusión: Una nueva tecnología aplicada al procesamiento de maíz normal y opaco-2. Tesis de licenciatura. Facultad de Química. UNAM. México, D.F.

HALDEN K. de Alwis, A.A.P. and Fryer, P.J. 1990. Changes in the electrical conductivity of foods during ohmic heating. Journal Food Science and Technology 25: 9-25.

HUNTERLAB 2001, Principios básicos de medida y percepción del color. Versión 1.2. Consulta web <http://www.hunterlab.com/pdf/color-s.pdf>. (Mayo 2009).

JOHNSON, B. A.; Rooney, L.W.; Khan, M.N. 1980. Tortilla-making characteristics of micronized sorghum and corn flours. J. Food Sci. Pp. 46, 671.

JOHNSON, M.A., Williams, F.A.H. 1992. Nixtamalization of maize (*Zea mays* L) using a single screw cook-extrusion process on lime treated grits. J. Sci. Food Agric. 60: 509-514.

KARTZ, S. H., Hediger M. L. y Vallelory L. A. 1974. Traditional maize processing techniques in the New World. *Science*. 184: 765.

LOZANO Teruel J. A., 1994. *Ciencia y Salud. La alimentación. Alimentos y Tecnologías*. Consulta web http://servicios.laverdad.es/cienciaysalud/5_2_15.html (Febrero, 2009).

MARTÍNEZ BUSTOS F., Figueroa, J.D.C.; Sánchez Sinencio, F.; González Hernández, J.; Martínez M. L.; Ruiz, M.T, 1996. An extruder and continuous process to make fresh corn masa for the preparation of tortillas, instant masa flours and derivatives. U.S. Patent No. 5, 532, 013.

MARTÍNEZ BUSTOS F., Morales S. E., Chang K., Herrera Gómez A., Martínez M. J. L., Baños L., 1999. Effect of Infrared Baking on Wheat Flour Tortilla Characteristics. *Cereal Chemistry* 76:4.

MARTÍNEZ FLORES H. E., Martínez-Bustos F., Figueroa J. D. C., González Hernández J., 1998. Tortillas from extruded masa as related to corn genotype and milling process. *Journal Food Science* 63:130133.

MARTINEZ FLORES H.E., Martínez Bustos F., Figueroa J.D.C. González Hernández J. 2002. Nutritional studies and biological assays in corn tortillas made from fresh masa prepared by extrusion and nixtamalization processes. *Journal of Food Science*, 67:1196-1199.

MCKENNA B. M. y Lyng J.G., 2006. Advances in food preservation technologies and their implications for the Central and Eastern European food industry Central European Congress on Food, Technology, Nutrition and Health (CE Food Congress), Sophia, Bulgaria.

MENDOZA, 1975. Method for obtaining nixtamalized flours. United States Patent. 3,859,452. Ene. 7.

MOLINA M. R., Letona M. y Bressani R., 1977. Drum-drying for the improved production of instant tortilla flour. J. Food Sci., 42: 1432- 1434.

OROZCO Y OROZCO Menfild Alejo, 2007. Desarrollo de harina de maíz para tortilla de mesa, Tesis de licenciatura. Universidad de San Carlos, Guatemala.

ORTEGA S. Cid, Angeles Marín A. y Cisneros González F., Mariscal Landin G. y Monroy Rivera J. A., 2006. Efecto de los sólidos insolubles de nejayote sobre parámetros de eficiencia alimenticia en cerdos de crecimiento. Ergonmix. Artículos técnicos. Consulta web. http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=423 (Mayo, 2009).

PALANIAPPAN S. y Sastry S. K., 1991. Electrical conductivities of selected solids foods during ohmic heating. Journal Food Process Engineering 14:221- 236.

PAREDES LÓPEZ O. y Saharópulos M.E., 1983. Maize a review of tortilla technology Braken Digest 16- 25.

PAREDES LÓPEZ O., L. A. Bello Pérez, y M. G. López. 1994. Amylopectin: structural, gelatinization and retrogradation studies. Food Chem. 50: 411-418.

PEARSON W.N., Stempfel S. J., Valenzuela T. S., Utley M.H. y Darby W. J.1957. The influence of cooked vs. raw maize on the growth of rats receiving a 9 % casein ration. Journal Nutr., 62: 445-463.

PÉREZ NAVARRETE Cecilia, Betancur Ancona David, Casotto Meris, Carmona Andrés Tovar Juscelino, 2007. Efecto de la extrusión sobre la biodisponibilidad de proteína y almidón en mezclas de maíz y frijol lima. ALAN 57:3:278-276.

PFLUGFELDER R. L., Rooney L. W. y Waniska R. D. 1988. Dry matter losses in commercial corn masa production. Cereal Chem., 65: 127- 132.

RESNICK, R., Halliday, D., Krane, K. S., 2003. Física; CECSA, 5ta Edición.

REYES MORENO C., Milán Carrillo J., Gutiérrez Dorado R., Paredes López O., Cuevas Rodríguez E.O., Garzón Tizado J.A., 2003. Instant flour from quality protein maize (*Zea mays* L). Optimization of extrusion process. *Lebensm Wiss. u.-Technol.* 36: 685–695.

REYES VEGA M.L., Peralta Rodríguez R.D., Anzaldúa Morales A., Figueroa J.D. C., y Martínez Bustos F, 1998. Relating sensory textural attributes of corn tortillas to some instrumental measurements. *Journal of Texture Studies* 29:361-373.

RIVERA L. C., 1994. Valorización de las aguas residuales de la nixtamalización (Nejayote) de Veracruz y Zona Conurbada: Facultad De Ciencias Químicas; Universidad Veracruz. Veracruz.

RODRÍGUEZ GARCÍA Mario E., Boletín UNAM- DGCS- 282, Mayo de 2007. Estudio de Nixtamalización. http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2007/2007_282.html

RODRÍGUEZ GARCÍA Mario E., Serna Saldívar Sergio O., Sánchez Sinencio Feliciano, 2008. Nixtamalización del maíz a la tortilla; aspectos nutrimentales y toxicológicos. UAQ, Serie Ingeniería, Primera Edición, Septiembre- 2008.

ROJAS HIDALGO E., 1994. La fibra dietética. Los carbohidratos en nutrición humana. Edit. Grupo Aula Médica, Madrid; 119-138.

ROMAN BRITO José A., Agama Acevedo Edith, Méndez Montealvo Guadalupe y Bello Pérez Luis A., 2007. Textural Studies of Stored Corn Tortillas with Added Xanthan Gum. *Cereal Chemistry* 84:5:502-505.

ROONEY, L. W., and E. L. Suhendro. 1999. Perspectives on nixtamalization (alkaline cooking) of maize for tortillas and snacks. *Cereal Foods World* 44: 466-470.

SALINAS MORENO Yolanda, López Reynoso José de J., González Flores Guadalupe B., Vázquez Carrillo Gricelda, 2007. Compuestos fenólicos del grano de maíz y su relación con oscurecimiento de masa y tortilla. *Agrociencia*, 41:3:239-305.

SÁNCHEZ GONZÁLEZ Mónica Noel, 2008. Investigación de microorganismos aislados del nejayote. Universidad Autónoma de Nuevo León. Portal UANL. Consulta web http://74.125.45.132/search?q=cache:J2KLLdjl1uAJ:www.uanl.mx/investigacion/resumenes/resumenes_naturales/rcn081.html+pH+de+nejayote&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=mx&client=firefox-a (Mayo, 2009).

SASTRY S. K., In R. P. Singh y F. A. R. Oliveira (Eds), 1994. Minimal processing of foods and process optimization: An interface. Boca Ratón FL: CRC 17-33.

SERNA SALDIVAR S.O., Cannet R., Vargas J., González, M., Bedolla S., Medina C., 1988. Effect of soybean and sesame addition on the nutritional value of Maize and decorticated sorghum tortillas produced by extrusion cooking. *Cereal Chemistry* 64:44-48.

SIMPSON Ricardo R., Jiménez P. Maite, Carevic G. Erica y Grancelli M. Romina, 2007. Aceleración de la deshidratación osmótica de frambuesas (*Rubus idaeus*) por medio de calentamiento óhmico. *ALAN* 57:2.

TANAKA A. y Yamaguchi I., 1972. Dry matter production, yield components and grain yield of the maize plant. *Fac. Agric. Hakkaido Univ.* 57: 71 - 132.

UBA, 1998. Historia del maíz. Consulta web, octubre de 2008 <http://www.saber.golwen.com.ar/hmaiz.htm>

VAQUEIRO Y REYES 1986. Process for producing nixtamalized corn flour. Patent No. 4594260. USA. 1986.

VÉLES MEDINA José Juan, 2004. Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización. Tesis de maestría. CICATA, Querétaro.

VILLAMIEL, 2006. El calentamiento óhmico para la conservación de alimentos, Tecnologías de Conservación, Instituto de Fermentaciones Industriales Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), DIARIO DE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA. Consulta web, Mayo de 2007 www.consumaseguridad.com

WANG W. y SASTRY SK., 2002 Effects of moderate electrothermal treatments on juice yield from cellular tissue. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 3, 371-377.

YÁÑEZ ORTEGA Yadira, 2005. Nixtamalización por extrusión de las fracciones del grano de maíz para la obtención de harinas instantáneas. Tesis de maestría, CICATA, Legaria.