

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”



DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE HARINA DE NOPAL

**(*Opuntia ssp*) NATURAL Y LIBRE DE CLOROFILA EN LA ELABORACIÓN DE
TORTILLAS DE MAIZ.**

Por:

ELVIA HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE

ALIMENTOS

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. ABRIL 2003

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE NUTRICION y ALIMENTOS.

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICION DE HARINA DE NOPAL (*Opuntia ssp*)
NATURAL Y LIBRE DE CLOROFILA EN LA ELABORACIÓN DE TORTILLAS DE MAIZ**

Por

Elvia Hernández Hernández

Tesis

Que somete a Consideración del H. Jurado Examinador Como Requisito Parcial

Para Obtener el Titulo de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

APROBADA

c.M.C. ANTONIO AGUILERA CARBÓ

PRESIDENTE

D.R. MARIA DE LA LUZ REYES VEGA

VOCAL

LIC. LAURA OLIVIA FUENTES LARA

VOCAL

M.C. XOCHITL RUELAS CHACON

VOCAL SUPLENTE

ING. JOSE RODOLFO PEÑA ORANDAY

COORDINADOR DE LA DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

BUENAVISTA, SALTILLO COAHUILA, MÉXICO. ABRIL 2003.

El presente trabajo de investigación forma parte del proyecto 02.03.0404.2379 registrado en la sub dirección de investigación de la universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y lleva por titulo: “**Evaluación del Efecto de la Adición de Harina de Nopal (*Opuntia Ssp*) Natural y Libre de Clorofila en la Elaboración de Tortillas de Maíz**”, se llevo a cabo en el Departamento de Nutrición y Alimentos de la División de Ciencia Animal de la, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, el Departamento de Investigación en Alimentos, de la Facultad de Ciencias Químicas, de la Universidad Autónoma de Coahuila, además con el apoyo económico del programa beca tesis del COECYT y Verano de la Investigación Científica en Coahuila, y a sido dirigido por el siguiente comité científico.

c.M.C. Antonio F. Aguilera Carbó (U.A.A.A.N.)

Dra. María de la Luz Reyes Vega (U.A. de C.)

Lic. Laura Olivia Fuentes Lara. (U.A.A.A.N.)

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (ALMA TERRA MATER)** que me concedió las facilidades necesarias para realizar mis estudios de Licenciatura y a sus maestros.

Al **Departamento de Nutrición y Alimentos** y a todos los integrantes del mismo así como a los profesores de la **Carrera de Ingeniería en Ciencia y Tecnología de Alimentos** por su apoyo y amistad brindada.

A todos los académicos y estudiantes del **Departamento de Investigación en Alimentos (DIA)** de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila, por su amistad y apoyo brindado.

Al **Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología** por otorgarme la beca para que llevara a cabo este proyecto de investigación y especialmente a **M.C. Mario Dávila Flores** y **Licenciada Gabriela Azucena Torres Valdés** por su gran disponibilidad, amabilidad y buen trato para todos los estudiantes.

Al **M.C. Antonio Aguilera Carbo, Dr. Cristóbal Noé Aguilar González** y a la **Dra. María de la Luz Reyes Vega**, por su confianza brindada y por darme la oportunidad de trabajar y aprender bajo su asesoría, pero sobre todo por brindarme su amistad y cariño.

A la **Lic. Laura Olivia Fuentes Lara**, por su amistad y por su apoyo brindado en este trabajo de investigación.

A el **T.L.Q. Carlos Alberto Arévalo Sanmiguel (CHARLY)** por su apoyo brindado en el laboratorio,

A la **T.L.Q. Maria de Jesús Sánchez Velásquez (CHACHA)**, por su amistad y su apoyo brindado.

A la **M.C. Mildred Flores Verastigui**, por su amistad y apoyo durante mi trabajo.

A **Rocío Guadalupe Ramírez Hernández (Secretaria)** por su amistad y confianza.

DEDICATORIAS

A **DIOS** por darme la vida, y por ayudarme a llegar a una de las metas mas anheladas de mi vida y sobre todo, por que siempre estuvo y estará en mi. Por guiarme al camino de la sabiduría.

A mis padres **Ignacia y Fidel**, gracias por creer en mi y darme la oportunidad de estudiar, que para mi, representa la mejor herencia que he recibido.

A mis hermanos (**Alejandro, Arnulfo, María de Jesús, Merari Ruth y Ruth Merari**): por sus consejos y por ser mis mejores amigos en la vida y se que siempre están conmigo en las buenas y en las malas y espero que sea el ejemplo mas valioso que les pueda heredar. LOS AMO.

A mi tíos **Elizabeth y Jerónimo** ⁽⁺⁾ por entenderme y tener la suficiente paciencia, confianza y apoyo económico que recibí de ellos, ya que es lo mejor que han dado los dos, los quiero.

A mis primos **Yessica y Oscar** por escucharme y estar siempre conmigo los quiero y que contaran siempre conmigo moralmente y económicamente.

A alguien muy especial **Nelly** mi tía, por apoyarme moral y económicamente y recuerda que siempre contarás conmigo ya sea en las buenas y en las malas por que eres una de mis mejores amigas te quiero.

A ti **BENITO (mi novio)** por tu amor, comprensión, y apoyo moral y económico, que a sido mi mejor estímulo para seguir adelante. Y finalizar este trabajo de investigación. Te amo.

Agradezco a toda la **Familia Hernández** por su apoyo brindado durante mi estancia en la universidad para concluir mis estudios de Licenciatura.

A mis compañeros y amigos de la **Generación II de alimentos**: Rosenda, Alexander, Juan, Hugo Javier, Alfonso Lazcano, Rubén Darío, Berenice, José Luis, Araceli, Guadalupe, Rafael, Carlos, Miguel Moreno, Yesica, Miguel Gallardo, Cristina, Francisco Dávila, Francisco Barranco, Imir, Christian Ely, Fabiola, Francisco Javier, Alejandro, Zoyla, Lilia Olga, Sayuri, María del Carmen, Alba, Martín, María Esther, Olga, María de Jesús, Julio Enrique, Felix, Norma, Victor, Héctor y Yurico, y la nena Ligni Yaret por su amistad, apoyo y agradable compañía.

Y todos mis amigos del alma que siempre estuvieron conmigo, como aquellas personas por las que alguna forma conviví durante mi estancia en la Universidad y que

han contribuido en mi formación como profesionista y como persona Inés, Alejandra, Lupita Segundo, Nadia, Edith, Lupita Martínez, Rubén, a Lic. Dora Elia, Ponce, Eduardo, Erick, Luis Ángel, Efraín, María Jiménez, Jorge, Ruth, Thelma y a todos mis Maestros de la preparatoria, gracias por su amistad y apoyo.

INDICE GENERAL

Agradecimientos	
Dedicatorias	
Índice de Figuras	
Índice de Tablas	
Resumen.....	xiii
Capítulo 1	1
1. Introducción.....	1
Capítulo 2	5
2. Objetivo.....	5
2.1 Objetivo General.....	5
2.2 Objetivos Específicos.....	5
Capítulo 3	6
3. justificación	6
Capítulo 4	8
4. Revisión de literatura.....	8
4.1 La tortilla de maíz , producción y consumo.....	8
4.1.1 Elaboración de la tortilla de maíz.....	8
4.1.2 Cocción de la masa.....	9
4.2 Proceso industrial para elaborar la tortilla del maíz.....	10
4.3 Consumo de la tortilla.....	11
4.4 El maíz.....	12
4.4.1 Consumo del maíz.....	14
4.4.2 Proceso de nixtamalización.....	14
4.4.3 Nejayote.....	15
4.5 Cambios producidos en el maíz durante la nixtamalización.....	15
4.6 Producción de masa.....	16
4.6.1 Cambios estructurales, físicos y químicos.....	17
4.6.1.1 Cambios estructurales.....	17
4.6.1.2 Cambios físicos y químicos.....	18
4.6.1.3 Almidón.....	18
4.7 Harinas de maíz Nixtamalizado.....	19
4.8 Usos de las harinas nixtamalizadas.....	20
4.9 Control de calidad de tortillas de maíz.....	21
4.10 Propiedades fisicoquímicas y Reologicas en masas y tortillas de maíz... ..	21
4.11 El Nopal.....	23
4.11.1 Descripción Del Nopal.....	23
4.11.2 Fibra dietética de la harina de nopal.....	25
4.11.3 Deshidratación de los cladodios para obtención de harina de nopal.....	26

4.11.4 Mucílago De Nopal.....	27
4.11.5 Características del mucílago.....	27
4.12 Clorofila.....	28
4.12.1 Composición química de la Clorofila.....	28
4.12.2 Los carotenos.....	29
4.13 Carbohidratos.....	29
4.13.1 Clasificación.....	30
4.13.2 Fibra Dietética.....	30
4.13 Textura.....	32
4.13.1 El concepto de textura en los alimentos.....	32
4.13.2 Métodos para determinar textura.....	33
4.13.3 Pruebas para medición de fuerza.....	34
4.13.4 Prueba de punción.....	34
4.13.5 Prueba de tensión.....	35
4.13.6 Pruebas de doblado y quebrado.....	35
4.14 Evaluación sensorial.....	36
4.14.1 Importancia de las propiedades sensoriales de los alimentos.....	36
4.14.2 Pruebas sensoriales.....	38
Capitulo. 5.....	40
5. MATERIALES Y METODOS.....	40
5.1 Materia Prima.....	40
5.2 Materiales.....	40
5.3 Equipos y Reactivos Químicos.....	40
5.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	41
5.4.1 Selección de la materia prima.....	41
5.4.2 Deshidratación de nopal y obtención de la harina.....	41
5.4.3 Determinación de humedad.....	41
5.4.4 Determinación de proteína cruda por el método Kjeldhal.....	42
5.4.5 Determinación del contenido de lípidos (Extracto etéreo) Método Soxhlet.....	43
5.4.6 Determinación del contenido de minerales.....	43
5.4.7 Determinación de fibra cruda.....	44
5.4.8.1 Determinación De Azucares Hidrosolubles Totales.....	44
5.4.8.2 Determinación De Azucares Reductores.....	45
5.4.9 Determinación de clorofila.....	45
5.4.10 Extracción de clorofila de la harina de laboratorio y comercial.....	46
5.4.11 Formulación de tortillas adicionadas con harina de nopal libre de clorofila.....	47
5.4.12 Determinación de color de las tortillas formuladas.....	47
5.4.13 Determinación Instrumental de los atributos de textura.....	48
5.4.14 Análisis sensorial.....	50
5.4.15 Diseños Experimentales.....	51

Capítulo 6	52
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES	52
6.1 Caracterización de la materia prima. (ETAPA 1).....	52
6.2 Resultados de caracterización química de la tortilla de maíz, harina de nopal y harina de nopal comercial.....	52
6.3 Determinación del proceso de extracción de clorofila y determinación de color de la harina durante la cinética de extracción (ETAPA II.).....	54
6.3.1 Extracción de clorofila	54
6.3.2 Determinación de color de la harina de nopal durante la cinética de Extracción de la clorofila.....	55
6.4 Caracterización y evaluación de tortilla (ETAPA III).....	59
6.5 Resultados de caracterización bromatológico, análisis instrumental y sensorial de las tortillas formuladas.....	60
6.5.1 Resultados de la prueba de humedad de la tortilla.....	60
6.5.2 Resultados de la caracterización bromatológica de la tortilla.....	60
6.5.3 Resultados de la determinación de azúcares totales y reductores de las tortillas	61
6.5.3.1 Azúcares totales.....	61
6.5.3.2 Azúcares reductores	62
6.6 Determinación Instrumental de textura.....	64
6.6.1 Resultados del análisis de tensión.....	64
6.6.2 Resultados de análisis de punción.....	66
6.7 Efecto de color de las tortillas adicionadas (HLC) Y (HCC).....	67
6.8 Análisis sensorial de las tortillas adicionadas con HLC y HCC.....	69
6.8.1 Resultados de la prueba sensorial de ordenamiento por rangos de la dureza de la tortilla.....	69
6.8.2 Resultados de la prueba sensorial de ordenamiento por rangos de la evaluación de sabor típico a tortilla de maíz.....	70
6.8.3 Resultados de la prueba sensorial de ordenamiento por rangos de la evaluación de preferencia de las tortillas de maíz adicionadas con HLC y HCC.....	71
6.8.4 Resultados de la prueba de evaluación sensorial de color.....	72
Capítulo 7	74
CONCLUSIONES	74
Capítulo 8	75
RECOMENDACIONES	75
Capítulo 9	76
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	76
ANEXO I	84

INDICE DE FIGURAS

Figura		Pagina
1	Diagrama de flujo del proceso tradicional para la elaboración de tortillas.....	10
2	Prueba de rasgado de la tortilla.....	49
3	Prueba de punción de la tortilla.....	50
4	Diagrama de cromaticidad a.b.....	57
5	Diagrama de cromaticidad a.b.....	59
6	Contenido de azúcares totales en las tortillas adicionadas en mg/g	62
7	Contenido de azúcares reductores en las tortillas adicionadas mg/g	63
8	Efecto de la HLC y HCC adicionadas a las tortillas de maíz. Sobre las características de textura de tensión.....	65
9	Efecto de la HLC y HCC adicionadas a las tortillas de maíz. Sobre las características de textura de punción.....	67
10	Diagrama de cromaticidad a.b.....	68
11	Tortillas adicionadas con harina de nopal.....	73

INDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Composición química del maíz y tortilla (a).....	9
2	Valor Nutritivo Del Nopal Verdura En 100 g De Peso Neto de maíz en base seca.....	24
3	Caracterización bromatológica de la harina de nopal, Harina comercial y harina de maíz en base seca.....	53
4	Valores de clorofila total en la harina de nopal.....	54
5	Resultados de color sobre la extracción de clorofila de harina de laboratorio.....	56
6	Resultados de color sobre la extracción de clorofila de harina comercial..	58
7	Resultados de humedad y de sólidos en la tortilla (%)......	60
8	Valores de caracterización bromatológica de las Tortillas Formuladas con harina de nopal libre de clorofila y con clorofila.....	61
9	Contenido de azúcares totales de las tortillas con H.N.....	62
10	Contenido de azúcares reductores de las tortillas adicionadas.....	63
11	Fuerza máxima (N) de resistencia a tensión de las tortillas.....	64
12	Fuerza máxima (N) de resistencia a punción de las tortillas.....	66
13	Resultados de análisis de color de la tortilla con HLC Y HCC.....	68
14	Resultados de diferencias significativas entre medias de intensidad de dureza.....	69
15	Resultados de diferencias entre medias del sabor típico a tortilla de maíz.....	70
16	Resultados de diferencias entre medias para la prueba de preferencia ...	71
17	Frecuencia relativa y porcentaje de preferencia por el color de la tortilla	72



RESUMEN

El presente trabajo de investigación muestra la evaluación del efecto de la adición de la harina de nopal natural y libre de clorofila en la elaboración de tortillas de maíz. Para este estudio se evaluaron dos diferentes harinas, una obtenida en el laboratorio y otra de una marca comercial. Se les practico un análisis bromatológico y posteriormente una porción de las harinas se sometieron a la extracción de clorofila con alcohol etílico al 96 %.

Optándose por el uso de la harina comercial por ser más practica y su granulometría inferior a la del laboratorio. Seleccionada la harina de nopal se prosiguió a la adición de la misma a niveles de, 5%, 10 % y 15 % de HLC (harina libre de clorofila) y HCC (harina con clorofila) a la harina de maíz nixtamalizada, como control solo se uso esta ultima para la elaboración de las tortillas. Se realizó un análisis bromatológico, instrumental (color, tensión y punción) y sensorial (dureza, color, sabor típico a tortilla y preferencia).

Los resultados obtenidos de la extracción de clorofila los valores mas favorable fue de una relación de 1:10 (m/v). En relación a la adición de harina de nopal con HLC Y HCC de mostraron que mejoran las características de calidad de textura de las tortillas de maíz, y estas presentaron mayor suavidad con relación al control. En cuanto a las pruebas sensoriales los jueces prefirieron las tortillas de HLC 5 % y 10 % debido a que no

presentan coloración verde. La adición de harina de nopal aumento el porcentaje de algunos componentes de la tortilla, sobre todo la fibra cruda que se incrementa 1.78 veces del 15 % HLC Y HCC, mientras que en los demás componentes no existieron cambios significativos.



CAPITULO 1

INTRODUCCION

El maíz es uno de los cereales que juegan un papel muy importante en la dieta de la población en los países latinoamericanos (Kent, 1983). Su principal forma de consumo es la tortilla, la cual provee el 70 % de las calorías y la mitad de las proteínas de su dieta.

La tortilla, denominada Tlaxcalli por los aztecas, se puede definir como un pan no leudado, elaborado a partir de maíz nixtamalizado. Para su elaboración, se toman pedazos de masa (30 g) se moldean a mano o con prensas manuales en un disco de aproximadamente 15 cm de diámetro y 2 mm de grosor, el cual se transforma en tortillas cuando se hornean sobre una superficie caliente o comal a 180 °C durante 25,40 y 20 segundos sobre la primera, segunda y primera cara respectivamente. Las tortillas en la mayoría de los casos, son acompañadas con otros alimentos tales como frijoles, carne de diferentes especies animales, huevo, quesos, etc. (Reyes-Vega 1998).

Actualmente en México se consume 800 millones de tortilla /día (22.8% provienen de harinas nixtamalizadas, 36.7% de masa de molino de nixtamal, 40.5% de

nixtamalización tradicional-zonas rurales. Existen 2,500 molinos en el país, además los de las zonas rurales (García -Cañedo, 2002).

La tortilla es un producto de largo camino cultural, industrial y comercial (Ordaz-Ortiz, 1994). La necesidad que tenemos los consumidores es que no falten tortillas, a la hora de la comida.

Las características de calidad de las tortillas de maíz varían entre las diferentes regiones en México, y mucho más fuera del país. La adición de aditivos han mejorado sus características sensoriales. Sin embargo, es una preferencia común que las tortillas sean flexibles y que se puedan recalentar, por lo que la cantidad de humedad juega un papel importante en este aspecto.

Trabajos realizados han reportado la adición de diferentes compuestos químicos y materiales vegetales complementarios para mejorar la textura de las tortillas (González-Ramos 2001).

En este trabajo se presenta un estudio sobre la adición de la harina de nopal en forma natural y libre de clorofila a las tortillas elaboradas con harina de maíz nixtamalizado, las cuales se evaluaron bromatológicamente, tanto las tortillas como las harinas usadas en la elaboración de las mismas, también se analizan los atributos de calidad sensorial e instrumental de las tortillas adicionadas con harina libre de clorofila (HLC) y harina con clorofila (HCC), el color de la harina, color de la tortilla, prueba de punción y tensión además pruebas de evaluación sensorial para el producto terminado. Una

de las finalidades de la adición de la harina de nopal es incrementar el nivel de fibra cruda. Debido a que el efecto de la fibra en la dieta humana ha recibido una atención creciente en los últimos años, este interés surge de Burkitt y Trowell en 1975 citado por (R.L. Duque., 1998). cuando observan una relación entre diversas enfermedades tales como arteriosclerosis, diabetes, cáncer de colón, etc, y la deficiencia de fibra en la dieta. Sin embargo, aun falta evidencia clara de que la ausencia de fibra en la dieta sea un factor determinante en la presencia de dichas enfermedades. Se ha visto que el consumo de fibra soluble tiende a disminuir la concentración de colesterol sanguíneo.

El nopal y el maíz son alimentos importantes en México y en otros países Latinoamericanos y su alto consumo en la dieta resultan benéficos por sus características funcionales que ayudan a mantener la salud y bienestar de sociedad. (R.L. Duque., 1998).

Además de los factores en cuanto a calidad que puede mejorar la adición de esta harina de nopal, como son el mejorar la retención de agua, menor esfuerzo para su corte y otros.

El presente trabajo ha sido organizado de la siguiente manera: En el capítulo 2 se muestran los objetivos del presente trabajo, el capítulo 3 la justificación sobre este tema, en el capítulo 4 se hace una revisión de literatura sobre los temas relacionados con este proyecto como son la importancia de la tortilla de maíz, producción, consumo, la importancia del maíz, cambios físico-químicos durante la nixtamalización, características generales sobre el nopal y la importancia de las evaluaciones sensoriales e instrumentales, en el capítulo 5 se aborda lo relacionado con la metodología emplea para la realización del mismo, donde se hace mención de cómo se llevo acabo la selección de materia prima, materiales que utilizaron durante el análisis bromatológico de la harina y tortilla por ultimo

las pruebas instrumentales y sensoriales de la tortilla, en el capítulos 6 se muestran los resultados y discusiones del análisis bromatológico, determinación de color de la harina y tortilla y pruebas sensoriales e instrumentales, en el capítulo 7 se presentan las conclusiones finales de la investigación y en el capítulo 8 se hace una serie de recomendaciones para estudios posteriores sobre este tema y en el capítulo 9 se enlistan las referencias bibliográficas utilizadas para el desarrollo del presente trabajo de investigación.



CAPITULO 2

OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

El objetivo general de este estudio es evaluar el efecto de la adición de harina de nopal libre de clorofila y con clorofila a las tortillas de maíz en diferentes porcentajes para evaluar su efecto en cuanto a algunos parámetros de calidad como la textura, color y aceptación, además incrementar la concentración de fibra cruda de las mismas.

2.2 Objetivos Particulares:

1.-Extracción de clorofila de la harina de nopal.

Evaluar los niveles ó concentración de agentes de blanqueo de material vegetal (para la extracción de clorofila).

2.-Evaluación de los parámetros de calidad de las tortillas elaboradas. Mediante métodos instrumentales y sensoriales

- Textura
- Color
- Grado de aceptación
- Evaluar el incremento de fibra cruda en las tortillas.



CAPITULO 3

JUSTIFICACIÓN

El nopal, es uno de los vegetales típicos y característicos de México. Esta planta, se encuentra distribuida prácticamente en casi toda la república mexicana, y no se le ha dado la relevancia adecuada, difusión e importancia que se merece por ser un vegetal especial por sus propiedades funcionales.

Se han hecho investigaciones sobre la adición de harina de nopal en tortilla de maíz donde se ha observado que mejora las características de calidad en cuanto a suavidad, pero el principal problema es el color y por lo tanto es rechazada por los consumidores; según (González- Ramos., 2001).

En este trabajo se pretende extraer la clorofila presente en la harina de nopal y la adición de esta harina de nopal libre de clorofila (HLC) y la comparación con harina con clorofila (HCC).

Además de mejorar los atributos de calidad a la tortilla de maíz a la harina de nopal se le atribuyen otras funciones relacionadas con la disminución del riesgo de padecer ciertas enfermedades, esta propiedad se le confiere principalmente a la gran cantidad de fibra cruda que contiene, la cual ayuda a prevenir trastornos de tipo digestivo, además en la reducción de colesterol sanguíneo, cardiopatía, diabetes mellitus, obesidad, y otros.

Actualmente se le atribuye a la fibra diversas propiedades fisicoquímicas: capacidad de absorción de agua, retención de líquidos, por lo que facilita el movimiento del bolo

digestivo, mejorando el tránsito intestinal, otra característica (a la que se atribuye a la fibra) es que la ingestión diaria de la misma puede favorecerse un mejor control de la tensión arterial y prevenir y disminuir el sobre peso.

Por estas razones es importante adicionar la harina de maíz nixtamalizado con harina de nopal, además eliminar el pigmento de clorofila para permitir una mejor aceptación por parte de los consumidores.



CAPITULO 4

REVISION DE LITERATURA

4.1 La tortilla de maíz, producción y consumo

La tortilla, el alimento diario de la dieta mexicana, es redonda y plana, parece un panqué muy fino. La forma de la tortilla se hace a mano usando harina de maíz o de trigo, pero siempre se hornea o se cuece en un comal. Se puede comer sola o envolviendo varios rellenos. La tortilla es la base de los Tacos, Burritos y una multitud de otros platos. Las tortillas de harina de maíz o trigo, se venden empacadas, en tiendas y supermercados. La tortilla, era la comida principal de los antiguos Aztecas. Usadas como sabrosas cucharas para comer, se pueden tostar y servir con ensaladas, o simplemente solas y calientes. El maíz es uno de los cereales que juegan un papel muy importante en la dieta de la población en los países Latinoamericanos (Ken, 1983). Su principal forma de consumo es la tortilla, la cual provee el 70 % de las calorías y la mitad de las proteínas de su dieta (Vásquez – Lara, 2000). En la tabla 1 se indica la composición químicas del maíz y de la tortilla de maíz.

4.1.1 Elaboración de la tortilla de maíz

El proceso de elaboración de la tortilla inicia cuando el maíz se cuece con agua con cal, se toman pedazos de masa de aproximadamente 30 g, se moldean a mano o con

prensas manuales en un disco de aproximadamente de 15 cm de diámetro y 2 mm de grosor, el cual se transforma en tortillas cuando se hornea sobre una superficie caliente o comal. En Centro América, las tortillas son de mayor grosor y menor diámetro que las contrapartes producidas en México.

Tabla.1 Composición química del maíz y tortilla (a)

Producto	Composición (g/100g)				(mg/100g)			
	H*	Proteína (Nx6.25)	extracto etéreo	carbohidratos	C*	Fibra cruda	Ca*	P*
Maíz (b)	12.2	9.6	5.1	84	1.3	1.5	13	137
Nixtamal	49.1	10.3	3.9	84.3	1.5	1.3	265	225
Tortilla	47.1	10.7	3	84.7	1.5	1.1	263	240
Maíz (c)	12.3	11.1	4.9	-	1.4	-	20	-
Nixtamal	49.5	11.1	4.6	-	1.5	-	150	-
Tortilla	44.2	11.2	4.4	-	1.6	-	150	-
Tortilla (d)	46.4	10.7	2.3	89	1.6		202	-
Tortilla (e)	40.5	9.7	1.5	86	1.8	2.4	275	97

^aDatos reportados en base seca. ^bDatos de Bressani et. al., (1985). ^cDatos de serna-Saldivar, et. al., (1987)

^dDatos de V.w. Krause (1985) promedio de 50 tortillas elaboradas con el método tradicional en Guatemala.

^eDatos de saldaña y Brown, (1984).

*H= Humedad. C = cenizas, Ca = calcio y P= fósforo.

4.1.2 Cocción de la masa

Los componentes del grano se estructuran tridimensionalmente en la tortilla. Durante la cocción se produce la evaporación del agua de la superficie de la tortilla y una severa gelatinización del almidón. Los gránulos que se encuentran en la superficie de la tortilla están parcialmente gelatinizados y más deshidratados que aquellos que se

encuentran en el centro, en donde el almidón está gelatinizado (Gómez y cols., 1992). La tecnología para la elaboración de tortilla se describe en la figura. 1.

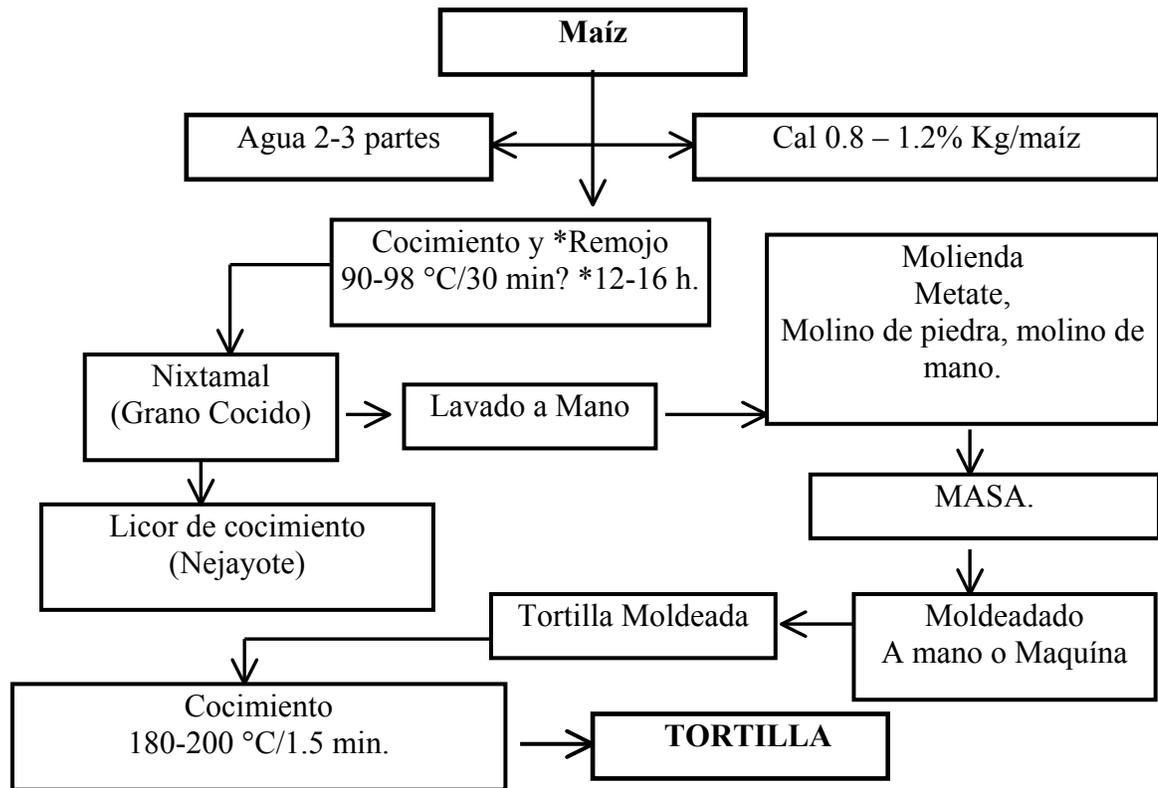


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso tradicional para la elaboración de tortillas modificado de (Serna-Saldivar et al. 1990)

4.2 Proceso industrial para elaborar la tortilla del maíz

El proceso industrial de la tortilla inicia cuando el maíz se cuece con cal en contenedores abiertos agitados, cocedores verticales o calderas de vapor. El grano se mezcla con aproximadamente 3 partes de agua y 1 % de cal (CaO) con relación al peso del grano y se cuece durante 10-45 minutos a una temperatura que oscila entre 75 y 100 °C. Luego el nixtamal se deja remojando de 8 a 16 horas en una solución caliente en cal.

Posteriormente al remojo, el maíz es bombeado junto con el licor de remojo o decantado por gravedad hacia unos lavadores. El licor de cocimiento es drenado y el nixtamal lavado con agua presurizada. La mayor parte del pericarpio y el exceso de cal son removidos durante el lavado. El nixtamal se muele entre 2 piedras volcánicas o sintéticas, talladas radialmente, una de las cuales esta fija y la otra gira a una velocidad de 500 a 700 rpm. Durante la molienda, el nixtamal es triturado hasta formar partículas finas y gruesas, las cuales son amasadas por mezcladores o extrusores que alimentan la maquina formadora o los rodillos plegadores para formar una masa cohesiva y plástica. Las características de la masa están relacionadas directamente con la separación o presión entre las piedras, el tamaño y la profundidad de las ranuras, la relación temperatura / tiempo de cocción y tiempo de remojo, así como el tipo de maíz. Durante la formación, la masa se va enrollando hasta formar una hoja delgada que es cortada por un cortador giratorio que está colocado debajo de los rodillos. Las piezas de masa formadas entran a un horno de hileras de hornillas de gas para ser horneadas a temperaturas que oscilan entre 250 y 400 °C durante 30-45 ° segundos luego son enfriadas y/o empacadas (Rooney y Almeida,1995).

4.3 Consumo de la tortilla

La industria de la tortilla ocupa el quinto lugar en el mercado mexicano, con ventas anuales de aproximadamente 4000 millones de dólares. La producción de la tortilla en México asciende actualmente a 11 millones de toneladas anuales (Figueroa etal.,

1994) citado por (López-Lara.1995). Actualmente en México se consumen 800 millones de tortilla por día (22.8% provienen de harinas nixtamalizadas, 36.7 % de masa de molinos de nixtamal, y 40.5 % de nixtamalización tradicional en zonas rurales. Existen 2,500 molineros en el país, además de los que se encuentran en las zonas rurales (García-Cañedo, 2002)

4.4 El maíz

El maíz, es la planta doméstica del genero *Zea*, perteneciente a la familia de las gramíneas, subfamilia Andropogonacea, tribu Maidea, identificada específicamente como: *Zea mays L.*

Es una planta anual; alta, robusta y monoica, con vaina sobrepuesta y limbos anchos; con espiguillas estimadas en racimos largos que parecen espigas; los racimos son numerosos, formando panículas largas y esparcidas; las inflorescencias femeninas se localizan en las axilas de las hojas; las espiguillas en 8-16 y hasta 30 hileras en raquiz engrosado y casi leñoso (olote) todo esto encerrado en numerosas brácteas o espantos falaceas (totomoxtle u holoche), los estilos son largos y sobre salen en la punta, como una masa de hilo sedoso (jilote), los granos en la madurez son mucho más largos que las glumas. Jugenheimer (1972) citado por (Hernández.1972.) mencionó que el maíz (*Zea mays L.*) no se encuentra como planta silvestre en la actualidad y no se sabe cuando se originó, pero hay evidencias de que fue hace miles de años.

Las excavaciones, arqueológicas, geológicas y las mediciones con carbón radioactivo en mazorcas del maíz antiguas encontradas en cavernas, indican que la planta debe haberse cultivado por lo menos desde hace 5000 años. Los granos de polen de *Zea uchlaena* y *Tripsacum*, encontrados en la ciudad de México, son aún más antiguos.

Aún cuando es generalmente aceptado el origen americano, los investigadores no se han puesto de acuerdo si este cultivo se origino en México (Hernández.,1972)

El grano de maíz es un cariósipide formado por una sola semilla en la cual el recubrimiento de la fruta (pericarpio) se adhiere firmemente en la semilla. El grano compuesto de pericarpio o piel, germen o embrión y endospermo. El pericarpio resiste la penetración del agua y protege al grano, está compuesto principalmente de cenizas, fibra y aceite, con muy poco almidón y proteína, azúcares, vitaminas y minerales, siempre y cuando haya sido refinado completamente del grano. La aleurona es una sola capa de células localizadas inmediatamente bajo el pericarpio, que contiene grandes cantidades de aceites, proteína, minerales, cenizas, vitaminas y enzimas.

La composición del maíz varía y se ve afectada por su genética y el ambiente. Los maíces de diente amarillo y blanco contienen aproximadamente 8 - 10 % de proteína, 3.5-4.5 % de grasa, 1.5-2.0 % de cenizas, 1.5-2.1 % de fibra cruda, 1.4-2.0 % de azúcares solubles, 10-14 % de agua y 65-70 % de almidón, calcio (158 mg.), hierro (2.3 mg.), tiamina(0.34 mg.), riboflavina (0.08 mg.), niacina (1.6 mg) y retinol (17mcg-eq.). La textura del grano varia oscila de un endospermo, casi 100 % harinoso (o suave) a un 100 % duro (o pedematino) (Rooney, y Almeida-Domínguez, 1995) citado por (González-Ramos., 2001).

4.4.1 Consumo del maíz

En México, como en otros países latinoamericanos, el maíz es y ha sido históricamente el alimento básico ya que se consume una gran cantidad y es parte esencial de la dieta (Billeb de Sinalbi y Brissani, 2001). Se estima que el maíz y sus productos proveen cerca del 70 % de las calorías y casi la mitad de las proteínas de la dieta diaria (Serna-Saldivar y col., 1990). Con respecto al consumo total del maíz, este no ha registrado cambios significativos, ya que mantiene un promedio anual de 15 '000'000 de toneladas; que en su mayor parte es canalizada al consumo humano para la elaboración de tortillas (INEGI,1996); (Ramírez-Wong.; 2002).

4.4.2 Proceso de nixtamalización

El cocimiento alcalino de los cereales, principalmente el maíz, con álcali es ampliamente practicado en México y Centro América. La nixtamalización es el proceso de cocer el cereal en presencia de cal (CaCO_3), antiguamente cenizas de hogueras, para posteriormente molerlo y formar "tortillas" (Serna -Saldivar y col. 1990).

La nixtamalización es una palabra azteca (lenguaje Náhuatl) que significa cocinar y remojar el maíz en una solución de cal o de lixiviado de cenizas de madera. En forma tradicional, el maíz se cuece en ollas sobre fuego, seguido de un remojo de 8 a 16 horas (toda la noche). El licor del cocimiento, llamado nejayote, es desechado y luego el maíz

nixtamalizado (nixtamal), se lava y se muele manualmente en un metate, molino de discos o de piedra eléctrica hasta formar una masa fina (Rooney y Almeida-Domínguez,1995).

4.4.3 Nejayote

El nejayote es uno de los afluentes más difíciles de tratar por su alto pH y demanda biológica o química de oxígeno (DBO). Esto es especialmente importantes en pequeñas factorías donde debido al volumen de producción no es prácticamente redituable invertir en una planta tratadora de nejayote.

4.5 Cambios producidos en el maíz durante la nixtamalización

Los cereales almacenan energía en el grano en forma de almidón contenido en el grano del cereal varía, oscilando entre 60 y 75 % del peso del grano. El almidón es importante debido a su efecto sobre las propiedades físicas de muchos de nuestros alimentos. El almidón se encuentra en dos formas moleculares: Amilosa y amilopectina. La amilosa es un polímero lineal, con enlaces α -(1-4), formado por 100-1, 000 unidades de glucosa. Las cadenas de amilosa son helicoidales y contienen aproximadamente 6 unidades de glucosa por cadena vuelta de su hélice; su peso molecular varía desde unos miles hasta 500,000 daltones (D). La amilopectina es un polímero ramificado con uniones α -(1-4) en las regiones lineales y enlaces α -(1-6) en los puntos de ramificación, que se presentan a dos longitudes: la primera, cada 12 a 20 unidades de glucosa y la segunda cada 40 a 60

unidades; su peso molecular puede llegar hasta los 1×10^8 D (Lehninger, 1985) citado por (Reyes-Vega., 1998).

El almidón del endospermo se encuentra contenido en los gránulos de almidón que se localizan en el interior de unos organelos celulares llamados amiloplastos; los gránulos generalmente tienen forma esférica, pueden adquirir formas poligonales de acuerdo al grado de estrechamiento entre las células del endospermo; su tamaño es variable, los más grandes tienen un diámetro de 25 μm y están formados por amilosa y amilopectina. Los gránulos del almidón de maíz tiene una estructura cristalina que permite el fenómeno de birrefringencia al ser expuestos a la luz polarizada; presentan también un modelo característico (cruz de malta) con difracción de rayos X. La cristalinidad del almidón se presenta debido al contenido de amilopectina.

Los gránulos de almidón de los maíces cerosos, que no contienen amilosa, presentan las mismas propiedades de cristalinidad que los endospermos de maíces normales. Por otra parte, los almidones con un elevado contenido de amilosa no presentan un alto grado de cristalinidad y frecuentemente se observan regiones amorfas (Lehninger, 1985).

4.6 Producción de masa

La masa se considera un sistema bifásico en el cual la fase continua está constituida por una red polimérica de almidón solubilizado y la fase dispersa está formada por gránulos de almidón crudos e hinchados, fragmentos celulares y lípidos (Gómez y cols., 1990). Los gránulos de almidón, hinchados y parcialmente gelatinizados, actúan

como partículas deformables, dispersas en una red de polímeros de almidón que permiten el moldeo de la tortilla durante el amasado y la retención del vapor de agua producido durante la cocción. Se obtiene un mayor grado de gelatinización por la combinación de un alto contenido de humedad, el daño previo de los gránulos de almidón hidratados, el calentamiento a mayor temperatura y una mayor fuerza de tensión. La gelatinización adicional contribuye a la adhesión entre los componentes celulares: paredes, matriz proteica y almidón. Durante el enfriamiento de la masa se produce la retrodegradación de la amilosa, lo cual provoca la formación de un gel de redes más rígidas (Gómez y cols., 1990). Ring (1985) citado por (Reyes-Vega., 1998) definió la retrogradación del almidón como un cambio en los geles de almidón en el cual la agregación de cadenas y la cristalización, ocurre rápidamente durante el enfriamiento.

4.6.1 Cambios estructurales, físicos y químicos

4.6.1.1 Cambios estructurales

La cocción y el remojo alcalino ocasionan una disolución parcial de la cutícula, así como la hinchazón y el debilitamiento de las paredes celulares, lo cual facilita la remoción del pericarpio. Las laminillas internas y paredes celulares se degradan y solubilizan (Gómez y col. 1987).

4.6.1.2 Cambios físicos y químicos

Las proteínas presentes en el maíz son zeína (44 %), glutelinas (28 %), albúminas y globulinas (5 %) el 17 % está formado por una fracción de tipo zeína, con enlaces de disulfuro, que es soluble en solución alcohólica conteniendo mercaptoetanol (Hoseney, 1986). Durante el proceso de nixtamalización se obtiene una mayor disponibilidad de triptofano presente en el maíz (Bressani y col. 1978). Se ha demostrado que la cocción alcalina altera los patrones de solubilidad de las proteínas, disminuye el contenido de albúminas, globulinas y prolaminas, proteínas solubles en agua, soluciones salinas y soluciones alcohólicas respectivamente incrementa la cantidad de proteínas imposibles de extraer del grano nixtamalizado (Rooney y Almeida-Domínguez, 1995).

4.6.1.3 Almidón

En realidad sólo se gelatiniza una pequeña parte de los gránulos de almidón durante la cocción y el remojo. La susceptibilidad enzimática del almidón se incrementa ligeramente conforme se va cocinando el maíz con cal; sin embargo, el mayor incremento se presenta durante la molienda y el horneado.

La estructura del gránulo del almidón se descompone parcialmente durante la cocción. Sin embargo, las alteraciones en la cristalinidad del almidón ocasionada por la cocción se restauran parcialmente por una recristalización o recocido durante el remojo (Gómez y col. 1990,1991).

4.7 Harinas de maíz Nixtamalizado

En los últimos años, la producción de harina de maíz nixtamalizado, para la fabricación de la tortillas de maíz, se ha incrementado considerablemente. El proceso industrial para la fabricación de la harina es una adaptación del método de nixtamalización tradicional. La harina así obtenida se emplea comercialmente en México y Estados Unidos para preparar masa fresca (Gomez y cols., 1987).

Típicamente la harina de maíz nixtamalizada (HMN) presenta del 10 al 12 % de humedad y una baja susceptibilidad a la contaminación microbiológica (Bressani, 1990; Carrillo-Pérez y col., 1989). Sin embargo, la HMN es altamente susceptible a desarrollar sabores y olores desagradables, los cuales son asociados con la oxidación de los lípidos. Los principales factores que afectan a la oxidación de lípidos en alimentos son la presencia de catalizadores metálicos, exposición a la luz, concentración de oxígeno, actividad de agua y temperatura (Labuza, 1971; Chan, 1987; Pokorny, 1987; Vidal-Quintana y col., 2000).

La producción y descomposición de hidroxiperóxidos producen compuestos capaces de interactuar con proteínas y vitaminas, alterando su biodisponibilidad y su capacidad reactiva, resultando en modificaciones de las características sensoriales y fisicoquímicas de la HMN (Vidal-Quintana y col 2000).

4.8 Usos de las harinas nixtamalizadas

El uso de harinas nixtamalizadas se ha incrementado notablemente debido a que tiene una vida de anaquel de hasta un año, requieren sólo de agua y una mezcladora para formar la masa que puede fácilmente transformarse en tortillas o frituras. Los productores de tortilla y botanas a partir de la masa fresca requieren programar el cocimiento del maíz cuando menos 12 horas antes de obtener el producto mientras que los que utilizan harina nixtamalizada necesitan menos de una hora para obtener productos terminados. La adquisición de la harina nixtamalizada ahorra en la compra de equipo necesario para cocinar (marmitas, generadores de vapor, etc.) y lavar el maíz, además del molino de piedras para producir la masa. Esto representa el ahorro de energía, mano de obra y espacio de la planta. Las principales ventajas de utilizar harinas de nixtamal es que prácticamente se reduce a cero de contaminación ambiental y da mucha flexibilidad a la planta ya que existen harinas comerciales de diversos colores y aplicación (tortillas, fritos, tamales, etc.).

Una de las principales ventajas de la harina nixtamalizada es que puede ser utilizada como vehículo para incorporar nutrientes deficitarios en la población. A partir de 1999 la harina está siendo enriquecida con vitaminas (tiamina, riboflamina, niacina y ácido fólico) y minerales (hierro y zinc) y algunas harinas se fortifican con soya. (Gómez y cols.,1987).

4.9 Control de calidad de tortillas de maíz.

En la actualidad, en México no existen normas de control de calidad para las tortillas de maíz. Sin embargo, la población mexicana prefiere el maíz blanco para la elaboración de tortillas, mientras que las industrias de frituras prefieren el maíz amarillo. El contenido de humedad óptimo de la masa para producir tortillas de alta calidad y buena vida de anaquel varían con las variedades de maíz, se ha visto que los mejores resultados se obtienen con una masa de un contenido de humedad de 50-55 % (Paredes-López y Mora-Escobedo 1983).

Un factor importante a controlar el proceso de tratamiento térmico del maíz es el grado de cocimiento, debido a las reacciones tanto físicas como químicas que sufre el grano al ser sometido a un tratamiento con agua y cal.

4.10 Propiedades fisicoquímicas y Reológicas en masas y tortillas de maíz.

Algunas de las propiedades reológicas subjetivas de la masa son la plasticidad, la cohesividad y la pegajosidad utilizados para evaluar las condiciones óptimas de cocimiento (Pflugfelder, 1986; Serna-Saldívar et. al. 1990). Las pruebas analíticas que se han aplicado, han sido para almidón susceptible a enzimas (Khan et. al. 1980), pérdida de birrefringencia (Serna-Saldívar, 1990), pico de viscosidad en el viscoamilógrafo, y fuerza de corte en el Instron (Bedolla y Rooney, 1984). Para propósitos de control de calidad, la humedad puede estimarse con la balanza de humedad Ohaus (Serna-Saldívar, 1990) o en el horno

de microondas (Jacksony Rooney, 1987). La pegajosidad de la masa se puede evaluar con un aparato mecánico de pegajosidad, descrito por (Ramírez-Wong.(1989) cit.pos. Serna-Saldívar et. al. 1990), lo cual afecta la manejabilidad del producto.

Los factores a controlar durante el aplanamiento o formación de tortilla y cocimiento son el ajuste de la máquina, la cual afecta la característica del producto (grosor y peso), y el rendimiento de la máquina. Se requiere de monitorear frecuentemente estos procesos para obtener un producto uniforme incluyendo el tiempo de residencia y la temperatura de los cocedores, debido a que afectan el contenido de humedad de la tortilla y sus características.

Un parámetro de control de calidad importante es el enfriamiento adecuado, debido a que al ser almacenadas juntas y calientes se produce una evaporación y como consecuencia la condensación de agua entre las tortillas lo cual propicia el desarrollo de microorganismos y por lo tanto una vida de anaquel corta. Un enfriamiento no adecuado afecta el peso y la calidad de las mismas.(López-Lara,1995).

La rolabilidad es una forma de predecir la textura y puede ser evaluada subjetivamente al enrollar una tortilla (Bedolla y Rooney, 1984). El color de la masa y la tortilla se pueden evaluar con varios tipos de colorímetros.

El pH de la masa y de la tortilla afecta el sabor y la vida de anaquel del producto. Se requiere una buena medición de pH cuando se adicionan conservadores y acidulantes, debido a que el pH de la masa determina la cantidad óptima de acidulante necesario para disminuir el pH. (Serna-Saldívar et.al. 1990).

4.11 EL NOPAL

4.11.1 DESCRIPCIÓN DEL NOPAL

Los nopales (*Opuntia ssp.*, *Cactaceae*) son plantas xerofíticas, suculentas, espinosas y arborescentes, cuyos tallos son llamados cladodios o artículos. Las nopaleras son nativas de las zonas desérticas del noreste de México y del suroeste de los Estados Unidos (Knight, 1980). La planta fue llevada a Europa por los primeros colonos españoles establecidos en México y se han cultivado a lo largo de la costa mediterránea desde el siglo XVII (Retamal y col., 1987) citado por (Ramos-González., 2001). La planta puede alcanzar una altura de 5 m y prefiere los suelos calcareos y el clima semiárido, con temperaturas de 18 a 26 ° C. A la fruta se le conoce como "Tuna", "higo de barbarie" e "higo indio". Los frutos son bayas carnosas, ovoides o periformes de dimensiones variables (5-10 cm de largo y 4-8 cm de diámetro) con pequeñas espinas en su epidermis y con pulpa jugosa, de color blanco, amarillo, rojo naranja o púrpura, con numerosas semillas (Domínguez -López, 1995). La planta requiere de cuidados de cultivo mínimos. Es propagada principalmente por medios vegetativos (cladodios). La fructificación comienza a los 2 ó 3 años y alcanza su óptimo a los 7 u 8 años. Una planta adulta puede rendir 100 a 200 frutas (Knight, 1980). Debido a su hábitat xerofítico, la tuna no tienen problemas serios de parásitos y otras enfermedades. No obstante, en algunas áreas, la mosca de fruta (*Ceratistis ceratitidis*) causa algunos daños (Barbera y col. 1992; Lionakis, 1994). Los cladodios de nopal y las tunas son útiles para una variedad de propósitos, incluyendo su uso como alimento humano (fruta fresca, puré, mermelada, ensalada y bebidas), como forraje (ganado vacuno, ovino), e industrial para la obtención de

alcohol jabón, pigmentos, pectinas y aceites (Lakshminarayana y col. 1980; Borrego y col.1990; Hegwood, 1990) citado por (Ramos- Gonzales., 2001). Además, la harina de nopal se prepara generalmente de cladodios.

Se conservan a temperaturas menores de 10 °C, son severamente dañados por frío y los daños mecánicos ocasionados durante el corte, que son la causa de la pudrición. Su cosecha se lleva acabo a partir de 3 meses de efectuada la plantación.

(Hernández y col.1980).

Tabla 2. Valor nutritivo Del nopal verdura en 100 g de peso neto y análisis proximal de harina de nopal en porcentaje.

Concepto	Contenido ^a	Contenido ^b %
Porción Comestible %	78.00	--
Energía Kcal	27.00	--
Proteína (g)	1.70	15.2
Grasa (g)	0.30	0.8
Carbohidratos (g)	5.60	--
Fibra total	--	12.3
Ceniza	--	2.4
Fibra soluble	--	0.9
Fibra insoluble	--	12.2
Calcio (mg)	93.0	--
hierro (mg)	1.60	--
Tiamina (mg)	0.03	--
Riboflavina (mg)	0.06	--
Niacina (mg)	0.3	--
Ascorbico (mg)	8.0	--
Retinol (mcg)	41.0	--

Fuentes: a = Hernández y col., 1980. b =Duque y col., 1998

4.11.2 Fibra dietética de la harina de nopal

Se han hecho estudios acerca de la obtención y caracterización de la harina a partir de los cladodios del nopal, en donde se ha demostrado que contienen un elevado contenido de fibra dietética (Saenz y Col.1995), por lo que podría ser una interesante fuente de enriquecimiento para los alimentos, incorporándola como polvo, en alimentos sólidos, semisólidos o en suspensiones. La fibra dietética de nopal es empleada para la elaboración de bebidas de autoconsumo (Ideal, 2001). La bebida de nopal de autoconsumo consiste en agregar una cantidad determinada de fibra a un vaso de agua o jugo, la cual es ingerida inmediatamente. La fibra de nopal es un factor coagulante para disminuir riesgos de desarrollo de enfermedades crónicas no transmitibles (Saenz y Col.1995).

Está constituida principalmente por los polisacáridos de la pared celular y la función de algunos de ellos es el almacenamiento de agua y energía de las plantas. Estos polisacáridos no pueden ser hidrolizados por las enzimas digestivas humanas. La lignina, una molécula muy compleja de unidades de polifenol-propano, está presente en pequeñas cantidades en la dieta humana y se encuentra en la fibra dietética.

La fibra dietética soluble es aquella fracción de la fibra total que se suspende en agua durante su análisis.

El mercado para la fibra dietética es altamente competitivo y es necesario que en los nuevos productos se encuentren nuevas propiedades relacionadas con la salud, adicionales a la de los productos tradicionales (Larrauri, 1999). Entre los procesos desarrollados para la obtención de productos con alto contenido de fibra, se han establecido diferentes tratamientos para mejorar la funcionalidad de la fibra insoluble, la

cual es el principal componente de algunos productos comerciales: la deslignificación parcial de la lignocelulosa por tratamiento alcalino con peróxido de hidrógeno, la extrusión, el encapsulado de la fibra soluble para obtener un producto con mejores propiedades de textura y la modificación enzimática para mejorar las propiedades sensoriales (Larrauri, 1999).

4.11.3 Deshidratación de los cladodios para obtención de harina de nopal

Diversos autores han considerado la transformación del cladodio de nopal en harina. La deshidratación de los cladodios de nopal para la preparación de harina se considera un método eficiente para la conservación de este material durante largos periodos.

Los cladodios pueden ser deshidratados usando secadores solares, secadores de gabinete, secadores de banda transportadora y secadores de lecho fluido (Lizarraga-Camacho y col. 1997). La harina de nopal se prepara, generalmente, de cladodios maduros.

En la época actual, el cladodio es transformado para su aplicación en la elaboración de una variedad de productos alimenticios; por ejemplo, fibra dietética para la elaboración de galletas (Saenz y col., 1996), flan (Saenz y col., 1999), tallarines (Lee y col. 1999), etc.

4.11.4 Mucílago De Nopal

Después de la harina de nopal, el producto más interesante es el mucílago ya que a partir de este se puede elaborar champoos, cremas enjuagues, etc. Es factible, desde el punto de vista tecnológico, elaborar cremas comerciales a partir de extracto de nopal utilizando las propiedades humectantes limpiadoras y refrescantes del mucílago. Estas propiedades se deben al contenido de polisacáridos formados por unidades: rammosa, galactosa, arabinosa, xilosa y ácido galacturónico, además de su contenido de minerales.

El mucílago de nopal se puede extraer con agua por medio de acidulado, precipitando los polisacáridos con alcohol y una posterior deshidratación

4.11.5 Características del mucílago

El mucílago está constituido por polisacáridos secretados por las células vegetales. Existen diferentes tipos de mucílago, muchos de los cuales tienen una estructura de tipo glucurono-xilosa (Stephen, 1983). Generalmente los cladodios son utilizados como materiales maduros. El mucílago presente en *Opuntia ficus-indica* es un heteropolisacárido compuesto por una cadena vertebral, con una estructura repetida, alternada de $\rightarrow 4(-\beta\text{-D-Gal A-(1}\rightarrow$ con cadenas laterales unidas a los residuos de rammosa en O(4), formadas por unidades trisacárido de D-galactosa con uniones $\beta(1\rightarrow 6)$. A su vez las unidades de D-galactosa presentan substituyentes R en las posiciones O(3) y O(4) (McGrave y Parolis, 1981). En la actualidad se están consumiendo alimentos

dietéticos, debido a que son bajos en calorías, bajos en colesterol, con un menor contenido de grasa, ricos en fibra, etc.

4.12 Clorofila

Son pigmentos verdes presentes en las plantas que realizan un importante cometido en los fenómenos de fotosíntesis, y que están ampliamente distribuidos en todos los tejidos verdes de las plantas. La clorofila constituye el 0.1 % del peso de la hoja (fresca) verde y se localiza en los cloroplastos, estructuras que poseen una estructura delicada y característica. Cada cloroplasto contiene numerosas partículas pequeñas llamadas granos, que a su vez constan de numerosas laminas proteicas entre las cuales se encuentran las moléculas de clorofila. Existen dos variedades de clorofila **a** y **b** que se presentan siempre juntas y aproximadamente en la misma proporción y están acompañadas por cantidades menores de los pigmentos de carotenoides, caroteno y xantofilas.

4.12.1 Composición química de la clorofila

Las clorofilas se clasifican químicamente como compuestos de tipo tetrapirrol, unidos por puentes de metilo, con un anillo de ciclopentanona, cuyo grupo carboxilo está esterificado con un grupo metilo. La clorofila está esterificada en las posiciones 1 y 5 con un grupo metilo en la posición 4 con un grupo etílico y en la 2 con un grupo vinilo ($-\text{CH}=\text{CH}_2$), en la posición 7 se localiza un resto de ácido propiónico que está esterificado con el alcohol fitol, el cual es un radical hidrófoba; la clorofila **b** se distingue de la **a**

solamente por que el grupo metilo del carbono 3 esta sustituido por un grupo aldehído en forma de un resto formílico (-CHO).

4.12.2 Los carotenos

Son compuestos isoprenoides, de formula general $C_{40}H_{56}$, que se distinguen entre si por los agrupamientos terminales de su estructura molecular. El más común de ellos es el β caroteno, que es una estructura simétrica que al dividirse forma la vitamina A. Dentro de este grupo encontramos al caroteno, y caroteno, xantofilas, luteína, violaxantina, neoxantina y zeaxantina, que constituyen los carotenoides más comunes encontrados en las plantas (Delgado-Ortega y cols. 1986). Los usos que se le ha dado la clorofila son como colorantes en la fabricación de productos de confitería, etc.

4.13 Carbohidratos

La mayor parte de la energía que se requiere para moverse, llevar acabo el trabajo, y vivir se produce a partir del consumo consume de carbohidratos. Los carbohidratos, principalmente los almidones, son la forma de combustible menos costosa, mas fácil de obtener y de digestión mas rápida. Los carbohidratos son compuestos orgánicos que constan de carbono, hidrógeno y oxígeno ($C_n H_{2n} O_n$). varían desde azúcares simples que contienen de tres a siete átomos de carbono hasta polímeros muy complejos. Sólo las hexosas (azúcares de seis carbonos) y las pentosas (azúcares de cinco carbonos) y sus

polímeros son importantes en la nutrición.

4.13.1 Clasificación

La clasificación de los carbohidratos refleja el hecho de que todas las formas, desde la glucosa hasta aquellos de complejidad creciente, se relacionan con los azúcares simples o "sacáridos". Los monosacáridos son incapaces de hidrolizarse a una forma más simple. Los disacáridos pueden hidrolizarse a dos moléculas disacáridas. Los oligosacáridos forman de 3-10 unidades de monosacáridos y los polisacáridos forman desde 10 unidades hasta 10 000 o más.

4.13.2 Fibra Dietética

No es un nutrimento pero sí es un componente importante en la dieta para la salud

Durante décadas se han analizado alimentos donde se ha medido un "extracto no nitrogenado" resistente a la digestión por ácidos y álcalis que se presenta solo en los vegetales; debido a su apariencia filamentosa se le ha llamado fibra.

La fibra dietética (FD) está constituida por los materiales presentes en las paredes celulares de los vegetales, a las que confiere cierta rigidez, la FD no se digiere en el tubo digestivo superior (hasta el íleon) de nuestra especie. La mayoría de los componentes son polisacáridos como la celulosa, la hemicelulosa, las pectinas y los galatomananos, entre otros, pero se incluye la lignina que no es un polisacárido.

Los alimentos que contienen FD son las frutas y verduras y las semillas refinadas de los cereales, las leguminosas y las oleaginosas; hoy en día se agregan algunas FD como aditivos a los alimentos procesados industrialmente. En tanto que en las frutas y verduras predominan las pectinas (35 % de las FD) y la celulosa (35 %), en las semillas predomina la hemicelulosa (80 %).

Las propiedades que destacan en las FD son: su solubilidad en agua, que determina la viscosidad y que establece dos clases: FD solubles (pectinas) y las insolubles (celulosa, hemicelulosa y lignina); su capacidad de retener agua, que hace aumentar el volumen del bolo digestivo y por lo tanto su desplazamiento; su digestibilidad en el colon, es mínima para la celulosa y la hemicelulosa, pero es apreciable para las pectinas, las gomas y los mucílagos; y su capacidad de combinarse específicamente con otros componentes de la dieta. El contenido de FD en la tortilla por 100 g (base seca) es de 6.6 g. La dieta de la mayoría de la población mexicana, rica en tortilla y frijol aporta cantidades altas de FD. Un factor muy importante en la dieta humana debido a que evita riesgos de algunas enfermedades. El Instituto Nacional de Cáncer (National Cancer Institute) recomienda una ingesta diaria de 25 a 35 g o 10 a 13 g /1000 Kcal. (Rombeau y col, 1990). La fibra en exceso puede interferir con la absorción de calcio y zinc, en especial en niños y ancianos.

4.13 Textura

4.13.1 El concepto de textura en los alimentos.

Es difícil establecer una definición clara de textura. Si buscamos en un diccionario castellano qué significa este término encontraremos: disposición y orden de los hilos en una tela o la disposición que tienen entre sí las partículas de un cuerpo. Esta definición (Real Academia Española, (1970) no nos dice nada que tenga que ver con los alimentos.

Azaldual-Morales (1984), define la textura como la propiedad sensorial de los alimentos que es detectada por los sentidos del tacto, la vista y el oído, y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación.

Khan et. al., (1982) citado por (Lopez-Lara.,1995) menciona que la textura de la tortilla es posible expresarla utilizando una máquina tracción Universal Instron, como el área total bajo la curva o como el pico más alto, lo cual se relaciona con la humedad de la masa. Padua y Whitney (1982), menciona que la humedad de la masa debe ser mayor al 53 %.

Durante el proceso de elaboración de la tortilla se presentan diferentes modificaciones sobre la textura, por lo que en diversos trabajos de investigación se han variado cualquiera de los aspectos anteriores para evaluar la calidad del producto, recurriendo tanto a los métodos sensoriales como a los instrumentales, y considerando la textura como el principal elemento de dicha calidad.

La textura puede ser evaluada mediante el uso de métodos instrumentales, químicos o de microscopía. Uno de los instrumentos más usados para este tipo de pruebas es la

máquina de tracción Universal Instron. Esta máquina consiste de un cabezal que se puede mover verticalmente, a velocidad constante, entre dos tornillos giratorios muy largos. Mediante un juego de engranes, así mismo la velocidad del papel en el graficador puede fijarse en el valor requerido, con el fin obtener la resolución mas conveniente. Tiene la ventaja de que casi cualquier celda de prueba puede adaptarse a su cabezal para realizar cualquier tipo de prueba, como por ejemplo compresión, punción, corte y tensión (Anzaldúa –Morales 1982).

García (1994), en un estudio de procesos no convencionales (hidrotérmico y microondas) de elaboración de tortillas han utilizado el texture analyzer (TA-XT2) en su investigación. El encontró que la textura y la calidad de la masa y tortillas están relacionadas directamente con la absorción de agua y el tamaño de partícula. El proceso empleado influyó de manera directa en la textura y la calidad de las tortillas.

4.13.2 Métodos para determinar textura

Las pruebas de textura son usadas para cereales, carne, pescado, aves, vegetales, fruta, productos lácteos, grasas, confiterías, bebidas, leguminosas, oleaginosas y alimentos misceláneos. Drake (1961) desarrolló un sistema de clasificación basado en la geometría de los aparatos como sigue: (1) movimiento rectilíneo (paralelos, divergentes, convergentes); (2) movimiento circular (rotación, torsión); (3) movimiento axilar simétrico (ilimitado, limitado); (4) otros movimientos definidos (doblado, transversal); y (5) movimiento indefinidos (tratamiento mecánico, tratamiento muscular).

4.13.3 Pruebas para medición de fuerza

Son los más comunes de los instrumentos para medición de textura. La fuerza tiene las dimensiones $\text{masa} \cdot \text{longitud} \cdot \text{tiempo}^{-2}$. La unidad estándar de la fuerza es el Newton (N). Por su multiplicidad estas pruebas se dividen en: Punción, compresión-extrusión, cortado, tensión, torsión y doblado y quebrado (Bourne,1982).

4.13.4 Prueba de punción

Mide la fuerza requerida para empujar un punzón o sonda hacia un alimento. La prueba se caracteriza por: el instrumento de medición de fuerza, la penetración de una sonda dentro del alimento causando un aplastamiento irreversible o flujo del alimento y la profundidad de penetración es usualmente constante. Cuando un punzón se monta en un instrumento que dibuja automáticamente curvas de fuerza -distancia o fuerza -tiempo (semejante al Instron) se obtiene 5 tipos de curvas básicas. Durante esta etapa el producto es deformado bajo presión; esto no implica una perforación de los tejidos. esta etapa termina abruptamente cuando el punzón termina de penetrar en el alimento, lo cual se representa por el cambio brusco de pendiente de la curva, denominado punto de cedencia.

4.13.5 Prueba de tensión

Hoy en día, instrumentos como Instron, el Sistema de Medición de Textura de Ottawa, o el Sistema de Pruebas Tecnológicas de Textura de alimentos se usa generalmente para realizar pruebas de tensión. Las pruebas tensión son usadas para medir la adhesividad de la superficie de un alimento. En este tipo de prueba la muestra es comprimida entre dos discos, los cuales se separan posteriormente para estimar la fuerza necesaria para separarlos. El parámetro de Perfil de Análisis de Textura de Adhesividad mide la fuerza máxima requerida para estirar la superficie comprimida de la pieza probada después de la primera compresión y por lo tanto contiene un elemento de la prueba de tensión.

Los métodos de tensión suponen que la muestra se rompe casi instantáneamente en un plano aproximadamente perpendicular al eje de la aplicación de la fuerza. La tortilla de maíz, como muchos otros productos alimenticios, cuando se somete a tensión, no se rompe instantáneamente; la fractura no es perpendicular al eje de aplicación de la fuerza. Este tipo de ruptura hace difícil obtener una interpretación significativa de la determinación de la fuerza de tensión (Bourne,1982). Las muestras que se sujetan al equipo pueden prepararse de manera tal que se favorezca la ruptura en la dirección adecuada (Reyes-Vega y col.1998).

4.13.6 Pruebas de doblado y quebrado

Son aplicadas usualmente en alimentos que tiene forma de barra u hoja

4.14 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial es el análisis de los alimentos u otros materiales por medio de los sentidos. La palabra sensorial se deriva del latín *sensus*, que quiere decir sentido. La evaluación sensorial es una técnica de medición y análisis tan importante como en los métodos químicos, físicos, microbiológicos, etc.

Las pruebas sensoriales son utilizadas en diversos tipos de industria, tales como la industria alimentaria, la perfumera, la farmacéutica, la industria de pinturas y tintes, etc.

La evaluación sensorial es muy importante y tiene aplicaciones aun insospechadas, si tan solo es estudiada seria y cuidadosamente. En la actualidad esta rama del análisis está cobrando nuevos bríos, y se esperan nuevos desarrollos en un futuro muy cercano.

4.14.1 Importancia de las propiedades sensoriales de los alimentos

Las propiedades sensoriales son los atributos de los alimentos que se detectan por medio de los sentidos, tales como: color, olor, aroma, gusto o sabor básico, sabor, y textura:

1.-Color tiene tres características: Tono, intensidad, brillo.

El color es la única propiedad sensorial que puede ser medida de instrumentalmente de manera más efectiva que en forma visual. Existen colorímetros especialmente diseñados para alimentos, incluso para frutas enteras granos, o alimentos en polvo, pero resultan muy costosos y requieren de manejo muy cuidadoso y de mantenimiento especializado. Por ello, muchas veces es necesario llevar a cabo la medición del color en forma visual.

2.- Olor es la percepción, por medio de la nariz, de sustancias volátiles presentes en los objetos. En las evaluaciones de olor es muy importante que no haya contaminación de un olor con otro.

3.- Aroma, esta propiedad consiste en la percepción de las sustancias olorosas o aromáticas de un alimento después de haberse puesto este en la boca. Dichas sustancias se disuelven en la mucosa del paladar y la garganta, y llegan a través de la trompa de eustaquio a los centros sensoriales del olfato.

El aroma es el principal componente del sabor de los alimentos y esto lo podemos comprobar cuando tenemos un resfrío o constipado.

4.- El gusto o sabor básico de un alimento puede ser ácido (agrio), dulce, salado o amargo o bien la combinación de los cuatro. Esta propiedad es detectada por la lengua.

5.- Sabor; esta percepción combina tres propiedades: olor, aroma y gusto, por lo tanto, su medición y apreciación son más complejas que las de cada propiedad por separado. El sabor es el que diferencia a un alimento de otro y no el gusto ya que si se prueba un alimento con los ojos cerrados y la nariz tapada, solamente se podrá juzgar si es dulce, salado, amargo o ácido.

6.- Textura es la propiedad sensorial de los alimentos que se detecta por los sentidos del tacto, la vista y el oído, y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación.

La evaluación sensorial ofrece la oportunidad de tener un análisis completo de las propiedades de textura de un alimento como son percibidos por los sentidos humanos. La evaluación sensorial es un aspecto muy importante en el desarrollo de un producto. Es

el mejor método para evaluar la textura de nuevos tipos de alimentos en las primeras etapas del desarrollo.

4.14.2 Pruebas sensoriales

El análisis sensorial de los alimentos se lleva a cabo de acuerdo a diferentes pruebas, según sea la finalidad para que se efectúe. Existen tres tipos principales de prueba: las pruebas afectivas, las discriminativas y las descriptivas.

1.- Pruebas Afectivas: las pruebas afectivas son aquellas en las cuales el juez expresa su reacción subjetiva ante el producto, indicando si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza, o si lo prefiere a otro (Larmond, 1977).

Estas pruebas son las que presentan mayor variabilidad en los resultados y estos son más difíciles de interpretar (Amerine y cols., 1965; Anzaldúa-Morales y Brennan, 1984), ya que se trata de apreciaciones completamente personales. Para las pruebas afectivas es necesario contar con un mínimo de 30 jueces no entrenados, estos deben ser consumidores y compradores. Las pruebas afectivas pueden clasificarse en tres tipos: Pruebas de preferencia, pruebas de grado de satisfacción, y pruebas de aceptación.

2.- Pruebas Discriminativas: Son aquellas en las que no se requiere conocer la sensación subjetiva que produce un alimento a una persona, sino que se desea establecer si hay diferencia o no entre dos o más muestras (Larmond, 1977). Estas pruebas son muy usadas en control de calidad para evaluar si las muestras de un lote están

siendo producidas con una calidad uniforme, si son comprobables a estándares, etc. (Kramer y Twigg, 1972).

Para las pruebas discriminativas pueden usarse jueces semientrenados cuando las pruebas son sencillas, tales como la de comparación apareada simple, la dúo-trío o triangular; sin embargo, para algunas comparaciones más complejas, como las comparaciones apareadas de Scheffé o las de comparaciones múltiples, es preferible que los jueces sean entrenados, ya que hay que considerar diferencias en cuanto a algún atributo en particular y evaluar la magnitud de la diferencia (Azaldúa - Morales y col., 1983).

3.-Pruebas descriptivas: en esta prueba se trata de definir las propiedades del alimento y medirlas de la manera más objetiva posible, aquí no son importantes las preferencias o aversiones de los jueces, y no es tan importante saber si las diferencias entre las muestras son detectadas, sino cuáles la magnitud de los atributos del alimento (Ameri y cols., 1982). Dentro de estas pruebas se clasifican en, calificación con escalas no-estructuradas, calificación con escalas de intervalo, calificación con escalas estándar, calificación proporcional (estimación de magnitud), medición de atributos sensoriales con relación al tiempo, determinación de perfiles sensoriales y relaciones psicofísicas.



CAPITULO 5

MATERIALES Y METODOS

5.1 Materia Prima

- Nopal (*opuntia ssp*) se adquirió en la central de abastos de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México. Provenientes de estado de México los cuales se lavaron y desinfectaron .
- Harina de maíz nixtamalizada marca (Maseca) adquirida en un automercado de Saltillo, Coahuila, México.
- Harina de nopal comercial marca Nopalea, de Mad industrias, que fue adquirida en Monterrey, Nuevo León, México.
- Agua purificada.
- Sal de mesa.

5.2 Materiales

- Se utilizo material de vidrio de laboratorio

5.3 Equipos y Reactivos Químicos

- El equipo y reactivo se menciona en cada una de las técnicas utilizadas.

5.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

5.4.1 Selección de la materia prima

Para la selección de la materia prima se hizo un muestreo en la central de abastos de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México. con la finalidad de obtener pencas o cladodios de igual tamaño y que no presentaran variación en cuanto a su origen.

5.4.2 Deshidratación de nopal y obtención de la harina.

El material vegetal se lavó con agua potable y se desinfectó con hipoclorito de sodio, posteriormente. Se deshidrató en una estufa (Marca, Telco, modelo. 27) a una temperatura de 60 ± 2 °C por 48 horas.

Posteriormente el material vegetal seco se molió en un molino Wiley, con una abertura de malla de 1 mm de diámetro, para la obtención de la harina.

5.4.3 Determinación de humedad.

Se colocan crisoles en la estufa (Marca Thelco, modelo (27) a 105 °C por 12 horas, transcurrido este tiempo se sacan los crisoles de la estufa y se colocan en un desecador de 10-20 min. hasta peso constante y en seguida se pesan en la balanza analítica y se registra el peso. Posteriormente se le agregan 2 g de muestra y se colocan en la estufa por 24 horas, por ultimo se pesa el crisol con muestra (AOAC,1980).

$$\% \text{ Materia Seca Total} = \frac{\text{Peso crisol con muestra} - \text{Peso del crisol solo}}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

Peso de la muestra húmeda

5.4.4 Determinación de proteína cruda por el método Kjeldhal

Consiste en colocar 1 g. de muestra seca y molida en un matraz Kjeldhal, se adiciona la mezcla de selenio (catalizador), 6 a 7 perlas de vidrio y 30 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se coloca el matraz en el digestor Kjeldhal en la parrilla de calentamiento hasta que la muestra cambie de color café oscuro a verde claro (Sistema Kjeldhal, marca Labconco). Se permite que la temperatura del matraz baje a 30-35 °C, para continuar con la metodología. Previamente en un matraz erlenmeyer con 50 mL de ácido bórico, se añaden 5 a 6 gotas de indicador mixto y se coloca la manguera de destilador dentro del matraz. Se agita el matraz Kjeldhal con cuidado, se adiciona lentamente 110 mL de hidróxido de sodio al 45 % y 6 o 7 granallas de zinc, con cuidado se lleva al aparato de destilación Kjeldhal y se recibe hasta 300 mL de solución en el matraz erlenmeyer. La titulación se realizó con ácido sulfúrico 0.1 N (viraje a color rosa pálido). (AOAC,1980).

$$\% \text{ proteína} = \frac{\text{mL gastados H}_2\text{SO}_4 - \text{Blanco } 0.3 \text{ (N ácido)} (0.014)}{\text{g. de muestra}} \times 100 \times 6.25$$

5.4.5 Determinación del contenido de lípidos (Extracto etéreo) Método Soxlet

Se determinó de acuerdo al método de soxhlet, que consiste en la extracción de compuestos no polares por medio de calor.

Se colocan en una estufa los matraces bola de fondo plano con tres perlas de vidrio por 12 h, transcurrido este tiempo se sacan de la estufa y se colocan en un desecador de 10-20 min. hasta peso constante. En un papel filtro se pesan 4 g de muestra y se colocan dentro de un dedal de asbesto. A los matraces bola, se les agrega 250 mL de solvente hexano y se colocan con el sifón soxhlet y el dedal en la parrilla durante 16 h se retira el dedal con pinzas y se recupera el solvente excedente. Se colocan los matraces en la estufa durante 12 h se enfrían en el desecador y se pesan (AOAC, 1980)

$$\% \text{ Extracto etéreo} = \frac{\text{Peso del matraz con grasa} - \text{peso del matraz solo}}{\text{g de muestra seca}} \times 100$$

5.4.6 Determinación del contenido de minerales.

Se colocan en la mufla 2 crisoles a 600 °C/1 h, se sacan, se enfrían en el desecador de 10-20 min. hasta peso constante. Se pesan 2 g de la muestra seca, y se lleva a preincinerar, posteriormente las muestras preincineradas se colocan en la mufla a 600 °C/2 h Se retiran, se enfrían por 20 min. en un desecador y se pesan.

$$\% \text{ ceniza} = \frac{\text{Peso del crisol con ceniza} - \text{Peso del crisol solo}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

5.4.7 Determinación de fibra cruda.

Se pesan 2 g de muestra molida y desengrasada, se coloca en un vaso de Bercellius, se agregan 100 mL de ácido sulfúrico al 25 %, colocar el vaso en el digestor Labconco, abrir el sistema de enfriamiento y encender la parrilla y calentar a temperatura entre 80-90 °C. Cuando la muestra empiece a hervir tomar tiempo hasta 30 min. Filtrar

muestra sobre tela de lino, el cual se coloca sobre el embudo, lavar con agua caliente hasta quitar reacción ácida. Vaciar la muestra en el vaso de Bercellius agregando 100 mL de hidróxido de sodio al 25 % y Cuando empiece hervir dejar por 30 min. retirar la muestra, filtrar y lavar con agua caliente, hasta quitar reacción alcalina y colocar la muestra en un crisol, dejar el crisol en la estufa durante 12 h. sacar el crisol enfriar y pesar, colocar el crisol en la mufla durante 2 h. posteriormente enfriar y pesar. Pre-incinerar, meter a la mufla por un tiempo de 3 h. a 600 °C, sacar y enfriar en un desecador (15 min.) y pesar.

$$\% \text{ Fibra Cruda} = \frac{\text{Peso del crisol con muestra seca} - \text{Peso del crisol con ceniza}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

5.4.8.1 Determinación de Azúcares Hidrosolubles Totales

Se determinó de acuerdo al método propuesto por Dubois (1956). Se coloca en un tubo un mL de muestra, en un baño con hielo. Se temperizó por 1 min. se adicionan 2 mL de fenol sulfúrico lentamente por las paredes del tubo. El reactivo fenol (contiene H₂SO₄ concentrado y fenol, debe usarse solo durante 24 horas iniciales de la preparación) se dispone el tubo en un baño a ebullición durante 5 min. se enfría a temperatura ambiente y se lee la absorbancia en un espectrofotómetro. marca 20 Genesy TM a 480 nm. se debe usar una curva de calibración de sacarosa.

5.4.8.2 Determinación De Azúcares Reductores

Se determinó por el método DNS propuesto por Miller 1960. En tubos muy limpios se colocan 0.5 mL de muestra, se adiciona 0.5 ml de reactivo DNS (NaOH, Tartrato de sodio y potasio, además el ácido 3,5, di-nitro salicílico (DNS)) y se ponen en un baño de ebullición por 5 min. sacar y poner en baño de hielo y agua por 2 min pasando este tiempos poner 5 mL de agua destilada a cada tubo, agitar en vortex y leer la absorbancia a 540 nm en el espectrofotómetro marca GenesyTM a 480 nm.

Como control de referencia deberá hacerse una curva de calibración con fructosa.

5.4.9 Determinación de clorofila

Pesar 5 g de muestra finamente picada y colocarlos en un vaso de precipitado. Agregar etanol al 96 % hasta cubrir la muestra, tapar con papel aluminio y dejar reposar por 24 horas en refrigeración, transferir en un mortero y triturar, lavando con acetona al 80 %. Filtrar a través de gasa y recoger el filtrado en un matraz de aforación de 100 mL, aforar con acetona al 80 %, colocar en un volumen aproximado de 10 mL de la muestra aforada en una celdilla y leer la absorbancia a 645 y 663 nm, utilizando como blanco etanol al 96 %. Calcular el contenido de clorofila total, así como la clorofila a y b mediante las siguientes formulas.

$$\text{Clorofila Total (mg/l)} = 20.2 A_{645} + 8.02 A_{663}$$

$$\text{Clorofila a (mg/l)} = 12.7 A_{663} - 2.7 A_{645}$$

$$\text{Clorofila b (mg/l)} = 22.9 A_{645} - 2.7 A_{663}$$

Donde:

A= Absorbancia

Subíndices 645 y 663) = longitud de onda

*mg de clorofila/100 g de fruto

$$\text{mg/100} = \frac{C \cdot V}{P} \cdot 100$$

$$6 \quad P$$

Donde :

C= concentración en mg/L

V= Volumen aforado (mL)

P = peso de la muestra (g)

5.4.10 Extracción de clorofila de la harina de laboratorio y harina de nopal

Comercial

Para la prueba de extracción de clorofila se compró harina comercial de la marca Nopalea, de Mad industrias, de Monterrey N.L.. Para realizar las comparaciones y se realizo de la siguiente manera.

1. Se pesó 1 g de muestra, posteriormente se colocó en un matraz erlenmeyer de 250 mL. y se agregaron 10 mL de alcohol etílico y se inicio la cinética de despigmentación desde tiempo cero (control) hasta las 24 horas, en el tiempo cero se llevó la primera la filtración, la masa filtrada se colocó en una caja petri y así sucesivamente para los siguientes matraces con un tiempo de cada hora hasta cumplir las 24 horas. La prueba se llevó acabo por duplicado. Las muestras fueron evaluadas con un Colorímetro de la Marca Minolta Mod: CR- 300.

Una vez que se obtuvieron los resultados por consiguiente se prosiguió a una extracción de clorofila de 1 kilogramo de harina de nopal con 10 L de alcohol .

5.4.11 Formulación de tortillas adicionadas con harina de nopal libre de clorofila

Se realizó de forma tradicional, las relaciones que se utilizaron fueron de 500 g de harina de maíz nixtamalizada a la que se adicionó de un 5, 10, 15 % de HLC Y HCC, tomando como referencia estudios previos en la literatura (González-Ramos, 2001).

Las tortillas fueron moldeadas en una máquina tortilladora manual ajustado a 2 mm de grosor, ya moldeadas se cocieron en una placa metálica a 180 °C durante 30,60,30 segundos sobre la primera, segunda y primera cara, respectivamente.

5.4.12 Determinación de color de harinas y tortillas.

Se realizó con el colorímetro Minolta CR-300 es un analizador de color de tres estímulos, para medir la reflexión de colores sobre superficies. Una pulsación de una lámpara de arco eléctrico de xenón al encenderse en una cámara mezcladora ilumina la superficie de las muestras. Seis foto celdas de silicón altamente –sensitivas, son usadas por el colorímetro en un sistema de retroalimentación de doble emisión de luz, para medir la incidencia y refractancia de la luz, el colorímetro por esto detecta cualquier ligera desviación de la luz emitida por la pulsación de la lámpara de arco eléctrico de xenón y la compensa automáticamente.

5.4.13 Determinación Instrumental de los atributos de textura

Para determinar los atributos de textura se usó un analizador de textura T.A TX2i (Texture Technology corp., escansdale NY, USA) . Las características de textura se determinaron por los siguientes métodos:

1.- Rasgado o tensión (Reyes - Vega y col., 1998). Se cortaron muestras de acuerdo a la norma ASTM D624 (ASTM, 1995) recomendada para películas plásticas (ver figura 2) . La prueba se aplicó a 15 tortillas de cada tratamiento, la muestra se sujeto al cabezal mediante mordazas y se estira a una velocidad de 2 mm. s^{-1} hasta su ruptura.



Fig.2 prueba de rasgado de la tortilla

2.- Punción con punzón de punta esférica de 25 mm de diámetro (Gómez-Méndez y col., 1996). La tortilla se sujetó entre dos aros metálicos de 10 cm de diámetro interno y el punzón la atravesó completamente a una velocidad de $2 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. La prueba se aplicó a 15 tortillas adicionadas con harina de nopal libre de clorofila y con color de cada tratamiento (control, 5 %, 10 %, 15 % HLC y 5 %, 10 %, 15 % HCC), efectuando una punción sobre cada una.



Fig.3 prueba de punción de la tortilla

5.4.14 Análisis sensorial

En las determinaciones sensoriales participó un equipo de 36 jueces no entrenados, estudiantes de la Universidad Autónoma de Coahuila de 18 a 28 años de edad para la realización de este estudio.

En la prueba de ordenamiento se solicitó al juez que ordenara 7 muestras diferentes de las tortillas elaboradas con HLC y HCC más el control, de acuerdo al incremento de intensidad de dureza, color, sabor típico a tortilla y preferencia de las mismas, para determinar si existía una diferencia significativa entre los tratamientos, para lo cual debería de poner el código de cada muestra secuencialmente de izquierda a derecha, de mayor a menor de acuerdo al parámetro evaluado, identificando el orden mediante números de 1 al 7, en una hoja de respuesta que se le proporciono al inicio de la prueba.

Los resultados se analizaron mediante la prueba de ordenación por rangos para determinar la diferencia significativa entre las suma de rangos, empleando la tabla G1 para obtener el valor critico, con un nivel de probabilidad de 5 % (0.05).

Las tortillas recién hechas se colocaron en servilletas de tela y se colocaron dentro de contenedores térmicos debidamente identificados, en los cuales se conservaron calientes hasta el momento de la prueba.

Diseño Experimental

Se uso un diseño experimental completamente al azar para la evaluación de las variables de 5 %, 10 %, 15 % HLC Y 5 %, 10 %, 15 % HCC de la tortillas. Cada muestra se trato por triplicada o duplicado según la pruebas, o hasta quince repeticiones en el caso de las pruebas instrumentales de textura.

Se utilizó el paquete de diseños experimentales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León versión 2.5, para el análisis de varianza. Para la comparación de medias se uso la prueba de Ducan, (Montgomery; 1991). Para los resultados de las pruebas sensoriales se utilizó el diseño de ordenación por rangos de O' Mahony; 1986.



CAPITULO 6

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La presente investigación se realizó en tres etapas, los resultados obtenidos en cada una de ellas se muestran a continuación:

6.1 Caracterización de la materia prima. (ETAPA 1)

Después de la recepción del material, se llevaron a cabo las operaciones de limpieza, selección y clasificación de los mismos, posterior a esto se deshidrataron los

cladodios, ya secos se molieron hasta un tamaño de partícula de 1mm, obteniendo así harina de nopal.

6.2 Resultados de caracterización química de la tortilla de maíz, harina de nopal y harina de nopal comercial.

Para la caracterización química de la harina de nopal, harina de nopal comercial, y la harina de maíz, se realizó un análisis bromatológico. Los resultados se muestran en la Tabla 3. Al comparar estos resultados con los obtenidos por Duque y col., 1998 (Tabla 2), en cuanto al análisis químico proximal de la harina de nopal observamos que coinciden con los datos reportados por este autor, en cuanto al contenido de fibra, proteínas y humedad, en lo que respecta al contenido de grasas y ceniza existen algunas diferencias. Probablemente se deba a diferentes factores como madurez, tiempo de cosecha, edad y la técnica utilizada para el análisis.

Los resultados obtenidos de la harina de nopal comercial en cuanto al contenido de humedad (10.946 %) y de materia seca (89.053 %), esta última es donde se concentran los demás componentes antes mencionados. En relación al contenido de fibra cruda (14.65 %) comparado con los resultados obtenidos de la harina del laboratorio (11.55 %), no se aprecian diferencias notables y se encuentran en el rango reportado por Duque y col. 1998. (12.2%). Como se mencionó anteriormente estas ligeras variaciones se pueden deber a ciertos factores que modifican la composición química de la materia prima, también factores de tipo climáticos, estacionales, tipo de suelo, variedad de nopal.

En relación a la tortilla de maíz al realizar las comparaciones con la tabla 1 de composición química de la tortilla descrita por Serna Saldívar y col. (1990), se puede apreciar que no existen diferencias apreciables entre los valores reportados y los obtenidos.

Tabla 3. Caracterización bromatológica de la harina nopal, harina comercial y tortilla de harina de maíz en base seca.

Muestra	% H	% M.S.T.	% C	% P.C	% G	% F.C	% CHO'S
Harina de Nopal	8.26	91.73	29.53	17.15	3.06	11.55	38.71
Harina Comercial	10.94	89.05	26.51	8.33	2.47	14.65	48.04
Tortilla (Maíz)	7.89	92.10	1.59	10.17	3.57	1.29	83.38

H= Humedad, M.S,T = Materia Seca Total, C = Ceniza,, P.C = Proteína Cruda, G = Grasa, F.C = Fibra cruda, CHO`S= Carbohidratos. Los datos son reportados en base seca.

6.3 Determinación del proceso de extracción de clorofila y determinación de color de la harina durante la cinética de extracción (ETAPA II.)

6.3.1 Extracción de clorofila

Para determinar las condiciones del proceso de extracción de clorofila de harina de nopal se montó un experimento preliminar usando 3 diferentes relaciones de masa, un volumen de solvente y tiempo fijos, (10 mL y 24h. Respectivamente). Los resultados se aprecian en la Tabla 4, con estos resultados se decidió la relación masa / volumen a usar en la extracción.

Tabla 4. Valores de clorofila total en la harina de nopal

Tratamientos	Clorofila total de la harina de nopal
1 g/10 mL	0.1433 mg/g
2 g/ 10 mL	0.1509 mg/g
5 g/10 mL	0.0620 mg/g
10 g/10 mL	0.0530 mg/g

En la tabla 4 se puede observar que en los tratamiento de 1 y 2 g en 10 mL de etanol muestran una mayor extracción de clorofila, mientras que en los tratamientos de 5 y 10 g la extracción es menor, esto se debe a que la harina de nopal es altamente higroscópica y absorbe una gran cantidad del solvente lo cual no permite la formación de una dispersión fluida que permita la extracción de la clorofila, más bien se forma una mezcla con apariencia pastosa. Para el tratamiento de un kilogramo de harina de nopal se decidió usar 2 g /10mL, pero el escalamiento no produjo los mismos resultados por lo que se llevó a la relación 1:10 (m/v), obteniéndose mejores resultados.

6.3.2 Determinación de color de la harina de nopal durante la cinética de extracción de la clorofila.

Este experimento se diseñó para determinar el mejor tiempo de extracción de clorofila, además se comparó entre las dos harinas de nopal (laboratorio y comercial) para evaluar el efecto de la granulometría de las mismas ya que la harina comercial, presenta un tamaño de partícula más fino que la obtenida en el laboratorio.

Para la interpretación visual de los resultados se usa el diagrama de cromaticidad para el espacio de color L a b, Figura 4 que representa:

L= Indica luminosidad.

a y b = coordenadas de cromaticidad.

a (+) = indica color rojo

a (-) = Indica el color verde

b (+) = color amarillo

b (-) = color azul

A mayor valor numérico mayor coloración o luminosidad (brillo), a menor valor numérico menor intensidad de color o luminosidad (opaco) para cada caso.

Tabla 5. Resultados de color sobre la extracción de clorofila de harina de laboratorio

Hora	L	a	b
Normal	64.355	-4.755	29.345
0	63.315	-4.21	25.355
1	67.33	-3.21	23.26
2	68.845	-2.285	23.26
3	64.575	-1.795	22.745
4	68.65	-2.35	22.665
5	69.95	-1.38	22.03
6	67.53	-1.5	22.16
7	69.385	-1.12	21.81

8	68.53	-1.10	22.665
24	67.365	-1.095	22.39

NOTA: los valores en la tabla representan la media de dos repeticiones.

En la tabla 5 se presentan los valores de **L**, **a** y **b**, para la harina de nopal de laboratorio. En cuanto a los valores obtenidos para las coordenadas en **a** se aprecia que entre menor es el tiempo de extracción, la liberación de clorofila es menor. Tomando como referencia el valor de **a** (-4.21) al inicio de la cinética, el cual se encuentra en la región verde del diagrama de cromaticidad, se puede observar que este valor disminuye conforme avanza la cinética de extracción de la clorofila; sin embargo, puede asimismo observarse que las diferencias entre los valores **a** obtenidos a las 7, 8 y 24 h, ya no son considerables. Por este motivo, se seleccionó un tiempo de 7 – 8 horas para la extracción de clorofila. Debe tomarse en cuenta que el ahorro en este parámetro (tiempo) es considerable y que se reducen costos de procesamiento.

Los valores de las coordenadas de **b** muestran la misma tendencia que el anterior (**a**), el tiempo cero presenta un valor de (25.355) para al región amarilla del diagrama de cromaticidad, a los tiempo de 7 y 8 h, los valores son de 21.81 y 22.665 respectivamente, como podemos observar, existe disminución de los valores. Sin embargo, la disminución es menor que en el caso del valor **a**. Lo mismo puede observarse respecto al valor de luminosidad (**L**).

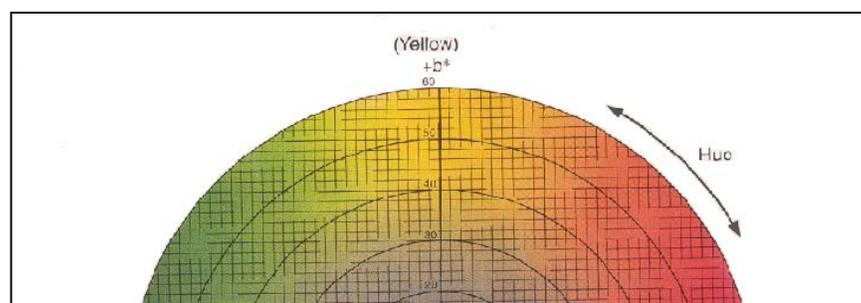


Figura 4. Diagrama de cromaticidad a, b

Tabla 6. Resultados de color sobre la extracción de clorofila de harina comercial

HORAS	L	a	b
Harina comercial	75.25	-10.545	29.055
0	69.06	-3.275	23.07
1	70.32	-2.465	22.41
2	70.87	-2.5	22.24
3	71.045	-2.085	22.225
4	70.64	-1.775	22.525
5	70.005	-1.53	22.36
6	69.12	-1.74	22.74
7	67.46	-1.673	22.22
8	71.445	-1.31	22.445
24	83.45	-1.032	20.995

NOTA: los valores en la tabla representan la media de las dos repeticiones.

En cuanto a los resultados de la extracción de clorofila de la harina comercial los valores obtenidos son muy similares a los datos de la extracción de harina de laboratorio, estos se muestran en la tabla 6. Los valores para las coordenadas en **a** muestran a tiempo cero un valor de -3.275 y para 7, 8 y 24 h, los valores son de -1.673 , -1.31 y -1.032 respectivamente.

Los valores para las coordenadas en **b**, son las siguientes, el tiempo cero presenta un valor de (23.07) , mientras que a los tiempo de 7, 8 y 24 h, los valores son de 22.22 , 22.445 y 20.995 respectivamente, se puede decir que existe ligera disminución de valores, aun que la disminución de factor b (amarillo) no representa un cambio notable para la calidad de la harina libre de clorofila, ya que el principal interés es la disminución de la intensidad del color verde.

Los resultados de la luminosidad presentan los siguientes valores: a los tiempos de 7, 8 y 24 h, $(67.46, 71.445$ y $83.45)$, estos son más luminosos que los obtenidos para la harina de laboratorio. Como se puede apreciar los resultados de los dos tipos de harinas son muy similares, solo encontramos ligeras diferencias en cuanto a la luminosidad. Sabemos que es necesario un estudio singular para determinar el efecto del tamaño de partícula, pero los resultados obtenidos muestran que una granulometría inferior a 1 mm, presenta buenos resultados para la extracción de clorofila, además se decidió utilizar harina comercial en el resto de la investigación.

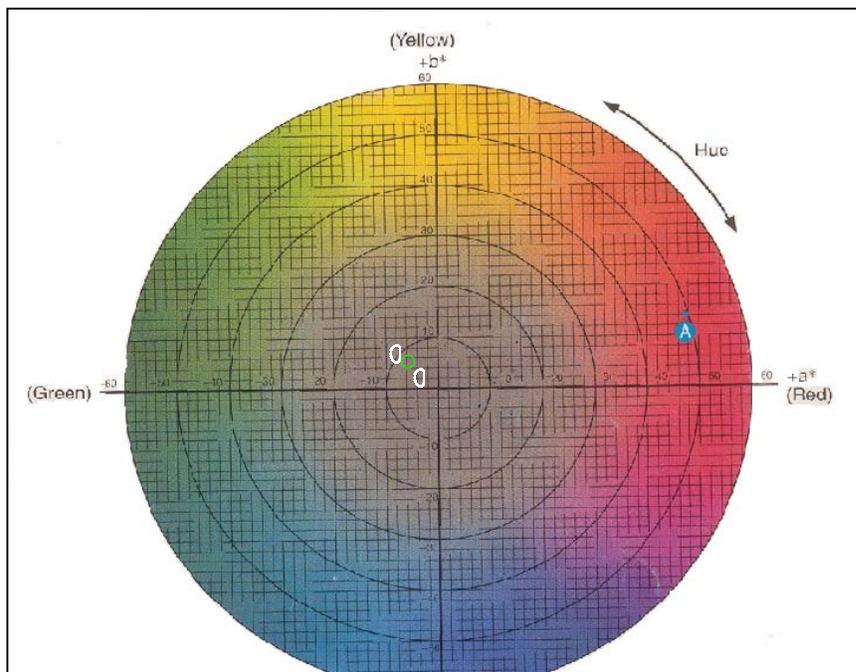


Figura 5. Diagrama de cromaticidad a, b

6.4 Caracterización y evaluación de tortilla (ETAPA III)

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la tercera etapa experimental de este trabajo de investigación los cuales se describen y discuten a continuación:

6.5 Resultados de caracterización bromatológico, análisis instrumental y sensorial de las tortillas formuladas.

6.5.1 Resultados de la prueba de humedad de la tortilla

Los resultados que se observan en la tabla 7, se puede notar que el porcentaje de humedad de las tortilla adicionadas con harina de nopal es mayor en relación al control.

Estos resultados indican que la harina de nopal contiene compuestos higroscópicos que retienen la humedad en el producto.

Tabla 7. Resultados de humedad y de sólidos en la tortilla (%)

Formulaciones	% Humedad	% Sólidos
Control	33.5	66.5
HLC 5 %.	39.7	60.3
HLC 10 %.	35.7	64.3
HLC 15 %	35.9	64.1
H CC 5 %	38.75	61.25
H CC 10 %	39	61
HCC 15 %	36.7	63.3

6.5.2 Resultados de la caracterización bromatológica de la tortilla

En la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos de la caracterización bromatológica de la tortilla. Puede observarse cuando se incrementa la concentración de harina de nopal, aumenta significativamente al ($p > 0.05$) la concentración de ceniza y fibra cruda. Puede decirse que la harina de nopal aumenta el contenido de fibra y minerales de la tortilla. La adición de 5 – 10% de HCC o de 5% de HLC no altera significativamente ($p < 0.05$) el contenido de proteínas de la tortilla de maíz

Los resultados de la caracterización bromatológica de la tortilla de la Tabla 8, calculados en base a la sustracción de los demás componentes. Puede observarse que a mayor es la concentración de harina de nopal mayor es la concentración de los componentes de ceniza y fibra cruda, por lo que se aprecia que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en relación al control. Puede decirse que la harina de nopal aumenta los componentes presentes, mientras que los demás componentes como la proteína y grasa no se ven alteradas.

Tabla 8. Valores de caracterización bromatológico de las Tortillas formuladas con harina de nopal libre de clorofila y con clorofila.

Formulación	Materia seca	% H	% C	% P.C	% G	%F. C
Control	95.693	4.308	1.59 ± 0.055^f	1.61 ± 0.0097^a	2.17 ± 0.008^b	1.06 ± 0.125^c
5% HLC	95.7425	4.257	2.53 ± 0.055^{ef}	1.6 ± 0.0097^{ab}	2.1 ± 0.008^d	1.67 ± 0.125^a
HLC 10%	95.2675	4.733	3.28 ± 0.055^{cd}	1.53 ± 0.0097^d	1.4 ± 0.008^g	1.89 ± 0.125^{cd}
HLC 15%	96.58	3.42	4.15 ± 0.055^a	1.54 ± 0.0097^{cd}	2.13 ± 0.008^c	2.54 ± 0.125^{ab}
HCC 5 %	95.3725	4.628	2.54 ± 0.055^{dc}	1.6 ± 0.0097^{ab}	1.82 ± 0.008^f	1.72 ± 0.125^d

HCC 10%	95.7025	4.298	3.32 ± 0.055 ^{bc}	1.6 ± 0.0097 ^{ab}	1.94 ± 0.008 ^c	2.21 ± 0.125 ^{bc}
HCC 15%	95.905	4.095	4.13 ± 0.055 ^{ab}	1.57 ± 0.0097 ^{bc}	2.32 ± 0.008 ^a	2.75 ± 0.15 ^a

H= Humedad, M.S,T = Materia Seca Total, C = Ceniza,, P.C = Proteína Cruda, G = Grasa, F.C = Fibra cruda, CHO`S= Carbohidratos. Los datos son en base seca .

6.5.3 Resultados de la determinación de azúcares totales y reductores de las tortillas

6.5.3.1 Azúcares totales

En la tabla 9 se indican los resultados de la prueba de azúcares totales de las tortillas.

Tabla 9. Contenido de azúcares totales de las tortillas con H.N.

Formulación	Control*	HLC 5 %.	HLC 10 %.	HLC 15 %.	HCC 5 %	HCC 10 %	HCC 15 %
mg/g	0.058	0.054	0.053	0.058	0.059	0.073	0.09

*Tortilla sin harina de nopal

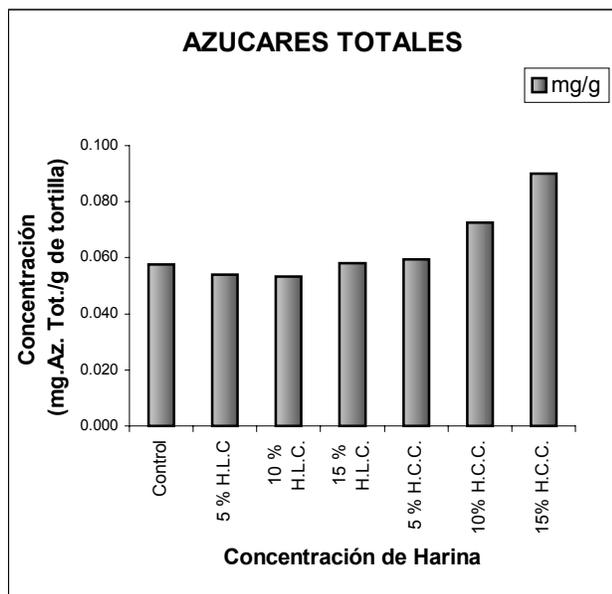


Figura 6. Contenido de azúcares totales de las tortillas (mg/g)

En la Figura 6 se observa que el contenido de azúcares totales de las tortillas adicionadas con HCC fue mayor que en las tortillas con HLC. La HN contribuye al contenido de

azúcares de la tortilla; sin embargo, el tratamiento de extracción de clorofila, aparentemente elimina parcialmente los azúcares contenidos en la harina.

6.5.3.2 Azúcares reductores

En la tabla 10 se indican los resultados de la prueba de azúcares reductores de las tortillas con diferentes tratamientos.

Tabla 10. Contenido de azúcares reductores de las tortillas adicionadas

Formulaciones	mg/g
Control	0.0013
HLC 5 %	0.0037
HLC 10 %	0.0039
HLC 15 %	0.0052
HCC 5 %	0.0037
HCC 10 %	0.0063
HCC 15 %	0.0109

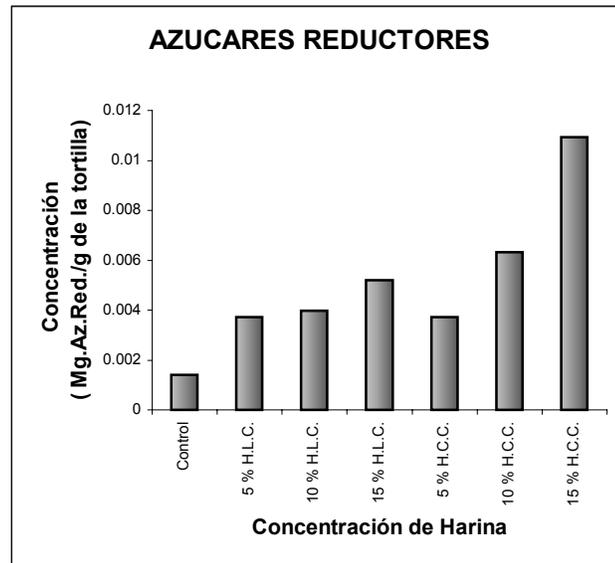


Figura 7. Contenido de azúcares reductores en las tortillas adicionadas (mg/g)

Al graficar estos resultados de la tabla 10 y figura 7 se observa que el contenido de azúcares reductores de los siete tratamientos es mayor en los tratamientos con HLC y HCC en relación al control, entre mayor es el porcentaje de harina mayor es la concentración de los azúcares presentes es notable que los tratamientos con HLC la presencia de azúcares es más bajo debido al tratamiento a que fue sometida la harina para la extracción de clorofila.

6.6 Determinación Instrumental de textura.

6.6.1 Resultados del análisis de tensión

En la tabla 11 se indican los resultados de la prueba de tensión haciendo uso de un analizador de textura T.A TX2i (Texture Technologies Corp., Scarsdale NY, USA)

Tabla 11. Fuerza máxima (N) de resistencia a la tensión de las tortillas

Formulación	
Control*	2.139 ± 0.1048 ^a
HLC.5%	1.635 ± 0.1048 ^{bc}
HLC 10 %.	2.229 ± 0.1048 ^a
HLC 15%	1.477 ± 0.1048 ^c
HCC.5%	1.924 ± 0.1048 ^{ab}
HCC 10%.	1.586 ± 0.1048 ^c
HCC 15%.	1.425 ± 0.1048 ^c

*= Tortilla sin harina de nopal

HLC = Harina libre de clorofila; HCC =Harina con color

Nota: En la tabla muestra los valores de la media de las repeticiones

En la Tabla 11 y en la Figura 8 se indican los resultados de tensión de los siete tratamientos (control, 5 %, 10 %, 15 % HLC Y 5 %, 10 %, 15 % HCC) de las tortillas adicionadas donde puede observarse que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. La tortilla control mostró una mayor resistencia a la tensión que las tortillas que contienen HLC o HCC.

En los tratamientos de 5 % y 15 % de HLC se observa la misma tendencia, mientras que en el tratamiento 10 % puede verse gráficamente que requiere de una mayor fuerza para romperse, tal vez esta se deba de algún factor externo en el manejo de la masa, por esta razón se recomienda repetir nuevamente esta prueba. Por lo tanto puede decirse que entre mayor es la concentración de harina de nopal menor es la resistencia al corte. Aunque en las tortillas adicionadas con HCC presentan una menor resistencia al corte, el cual es un atributo favorable y se debe a los componentes presentes en la harina de nopal natural tales como, mucílago, pectinas y fibra cruda, que no han fueron eliminados debido a que no

recibieron ningún tratamiento de extracción de clorofila. Con estos resultados podemos decir que las tortillas adicionadas tanto HLC y HCC son más suaves que la tortilla control (normal), a excepción de la 10% de HLC.

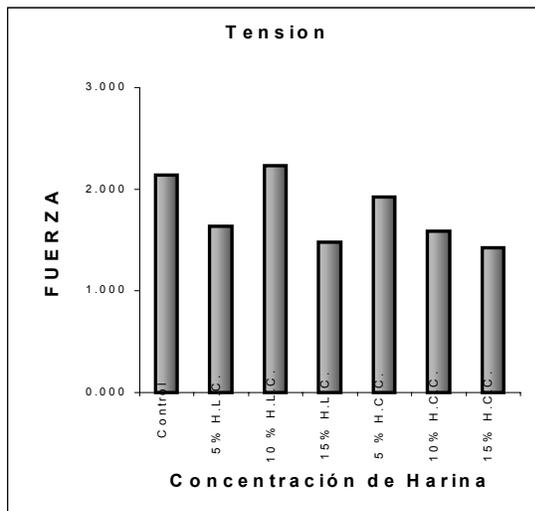


Figura 8. Efecto de la HLC y HCC adicionadas a las tortillas de maíz. Sobre la resistencia a la tensión

6.6.2 Resultados de análisis de punción

En la tabla 12 y figura 9 se muestran los resultados de resistencia a la punción de los siete tratamientos (control, 5%, 10%, 15 % HLC y 5%, 10 %, 15 % HCC) de las tortillas adicionadas, donde puede observarse que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos en relación al control. Se puede observar que el control

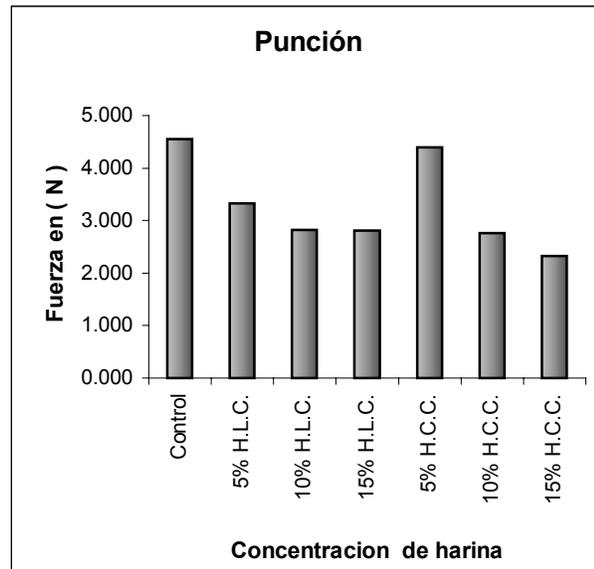
requiere de mayor fuerza para vencer la resistencia a la punción con un valor de (4.54 N.) para la deformación de la tortilla, mientras que los tratamientos con HLC Y HCC requieren de menor fuerza para vencer la resistencia a la punción, esto se puede apreciar gráficamente, (Figura 9) se observa una disminución en cuanto a la fuerza necesaria para la deformación en los diferentes tratamiento, además a medida que se incrementa la concentración de harina tanto HLC, como HCC, disminuye también la fuerza necesaria para la deformación. Por lo tanto la adición de harina promueve una menor resistencia a la fuerza de punción y con esto obtenemos tortillas más suaves que el control .

Tabla 12. Fuerza máxima (N) de resistencia a la punción de las tortillas de maíz

Formulación	
Control*	4.547 ± 0.1974 ^a
HLC 5%.	3.333 ± 0.1974 ^b
HLC 10%.	2.821 ± 0.1974 ^{bc}
HLC 15%.	2.807 ± 0.1974 ^{bc}
HCC .5%	4.399 ± 0.1974 ^a
HCC 10%	2.765 ± 0.1974 ^{bc}
HC.C.15%	2.32 ± 0.1974 ^c

*Tortilla sin harina de nopal

HLC = Harina libre de clorofila; HCC =Harina con color



HLC = Harina libre de clorofila; HCC = Harina con color

Nota: En la tabla muestra los valores de la media de las repeticiones

Figura 9. Efecto de la HLC y con HCC, sobre la resistencia a la fuerza de punción.

6.7 Efecto de color de las tortillas adicionadas (HLC) Y (HCC).

Los resultados obtenidos en la determinación de color instrumental de las tortillas se presentan en la Tabla 13. En los resultados obtenidos para las coordenadas de **a** se puede apreciar que las tortillas adicionadas con HLC presentan la misma coloración que la tortilla control, mientras que los demás tratamientos con HCC no presentan la misma intensidad de color en relación al control, para entender los resultados de cada tratamiento los valores se localizan en la Figura 10 y figura 11. Al ser analizadas las tortillas por el método instrumental se puede apreciar que las tortillas con HCC presentan mayor suavidad, pero el principal problema que presentan estas tortillas en cuanto a sus atributos

de calidad es el color verde de la tortilla, que es rechazada por parte de los consumidores, (en cambio la tortilla con HLC es aceptable por las mismos).

Tabla 13. Resultados de análisis de color de la Tortilla con HLC y HCC.

Tratamientos	L	a	b
Control	75.080	0.511	23.678
HLC 5 %	75.080	0.511	23.678
HLC 10 %	73.616	0.918	25.932
HLC 15 %	73.124	0.699	25.279
HCC 5 %	71.413	-2.347	30.208
HCC 10 %	68.705	-3.154	31.477
HCC 15 %	65.559	-2.644	33.973

L= Indica luminosidad; a y b = coordenadas de cromaticidad.

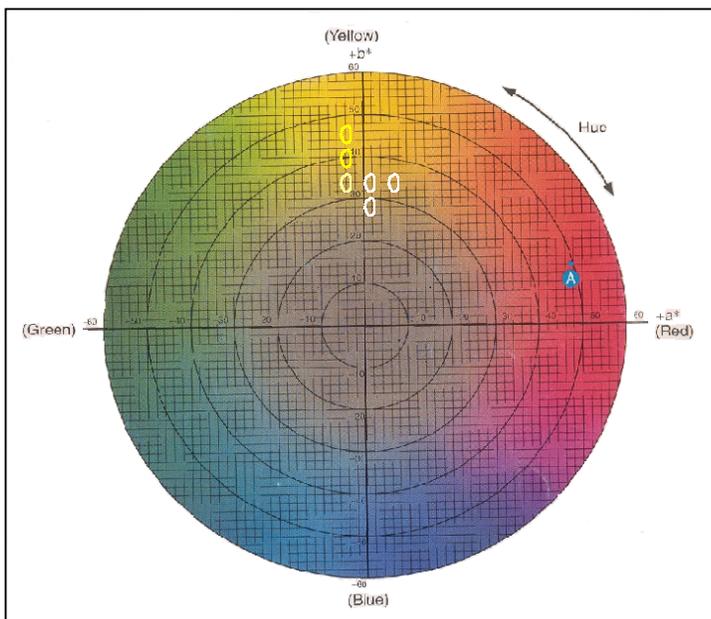


Figura 10. Diagrama de Cromaticidad de a,b

6.8 Análisis sensorial de las tortillas adicionadas con HLC y HCC.

6.8.1 Resultados de la prueba sensorial de ordenamiento por rangos de la dureza de la tortilla.

En las tablas 14 se indican los resultados de la prueba sensorial de ordenamiento por rangos de la dureza de la tortilla.

Tabla 14. Resultados de diferencias significativas entre medias de intensidad de dureza

Tratamientos	Suma de rangos
Control*	168 ^a
HLC 5%	135 ^a
HLC 10%	128 ^a
HLC 15%	148 ^a
HCC 5%	167 ^a
HCC 10%	135 ^a
HCC 15%	127 ^a

^aHLC= Harina libre de clorofila; ^aHCC = Harina con clorofila
*Tortilla sin harina

Los resultados de la tabla 14 muestran que no hay diferencias significativas ($P < 0.05$) con respecto a dureza entre el control y las muestras adicionadas con HLC y HCC. Los resultados indican aunque se observan menores valores de dureza en las tortillas con harina de nopal, los jueces no fueron capaces de percibir diferencias significativas en la dureza de las diferentes formulaciones de tortilla; sin embargo, comparando estos resultados con los de las pruebas instrumentales de tensión y punción, se observa la misma tendencia que la obtenida en las pruebas instrumentales; es decir, las tortillas adicionadas con harina de nopal son más suaves, aunque en el caso de las evaluaciones sensoriales, estos resultados no son estadísticamente significativos.

6.8.2 Resultados de la prueba sensorial de ordenamiento por rangos de la evaluación de sabor típico a tortilla de maíz.

En la tabla 15 se muestran los valores de la prueba sensorial de ordenamiento por rangos de la evaluación de sabor típico a tortilla de maíz.

Tabla 15. Resultado de diferencia significativa entre medias del sabor típico a tortilla de maíz

Formulación	Suma de rangos
Control *	93 ^c
HLC 5%	115 ^{bc}
HLC 10%	162 ^{ab}
HLC 15%	110 ^{bc}
HCC 5%	148 ^{ab}
HCC 10%	183 ^a
HCC 15%	198 ^a

Los superíndices con letras diferentes indican diferencia significativa (P<0.05)

*Tortilla sin harina de nopal

Los resultados de la Tabla 15 nos muestran los valores para el sabor típico a tortilla de maíz. Se puede observar que las tortillas tratadas con HLC de (5 % y 15 %) no muestran diferencias significativas (P<0.05) con respecto a la preferencia para sabor típico a tortilla de maíz (control). En términos generales, puede decirse que los jueces prefieren las muestras adicionadas con HLC, sobre aquellas que contienen HCC. Debido a que el color verde es un factor crítico de calidad para la aceptación de la tortilla. Aunque los resultados de tensión y punción muestran que son más suaves que las tortillas con HLC.

6.8.3 Resultados de la prueba sensorial de ordenamiento por rangos de la evaluación de preferencia de las tortillas de maíz adicionadas con HLC Y HCC.

En la Tabla 16 se muestran los valores de la prueba sensorial de ordenamiento por rangos de la evaluación de preferencia de las tortillas de maíz adicionadas con HLC Y HCC.

Tabla 16. Resultado diferencias significativas entre medias para la prueba de preferencia

Formulaciones	Suma de rangos
Control*	73 ^d
HLC 5%	102 ^{cd}
HLC 10%	145 ^{bc}
HLC 15%	133 ^c
HCC 5%	130 ^c
HCC 10%	198 ^{ab}
HCC 15%	223 ^a

Los superíndices con letras diferentes indican diferencia significativa (P<0.05)

*Tortillas sin harina de nopal

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla por diferencias absoluta de suma de rangos nos muestra que las tortillas adicionadas con HCC son menos preferidas que las tortillas tratadas con HLC por lo que existe una diferencia significativa (P<0.05) en los tratamientos. Es notable que la tortilla con HCC no son las menos preferidas, es decir no son aceptadas por los consumidores. Se considera que esto se debe principalmente a su coloración verde, como lo corroboran los datos indicados en la Tabla 17.

6.8.4 Resultados de la prueba de evaluación sensorial de color

En la tabla 17 se puede observar los resultados de la prueba de evaluación sensorial de color datos arrojados por los jueces, donde se nota claramente que los jueces prefieren

tortilla adicionada con HLC; por lo tanto existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. Estos resultados concuerdan con la prueba de preferencia, esto indica que el factor de calidad más importante en estas pruebas es la coloración de la tortilla.

Tabla 17. Frecuencia relativa y porcentaje de preferencia por el color de la tortilla

Formulación	Frecuencia	Frecuencia Relativa
Control*	17	47.22 %
HLC 5 %	12	33.33 %
HLC 10 %	3	8.33 %
HLC 15 %	3	8.33 %
HCC 5%	1	2.77 %
HCC 10%	0	0 %
HCC 15 %	0	0 %

HLC = Harina libre de clorofila; HCC = Harina con clorofila

* Tortilla sin harina nopal



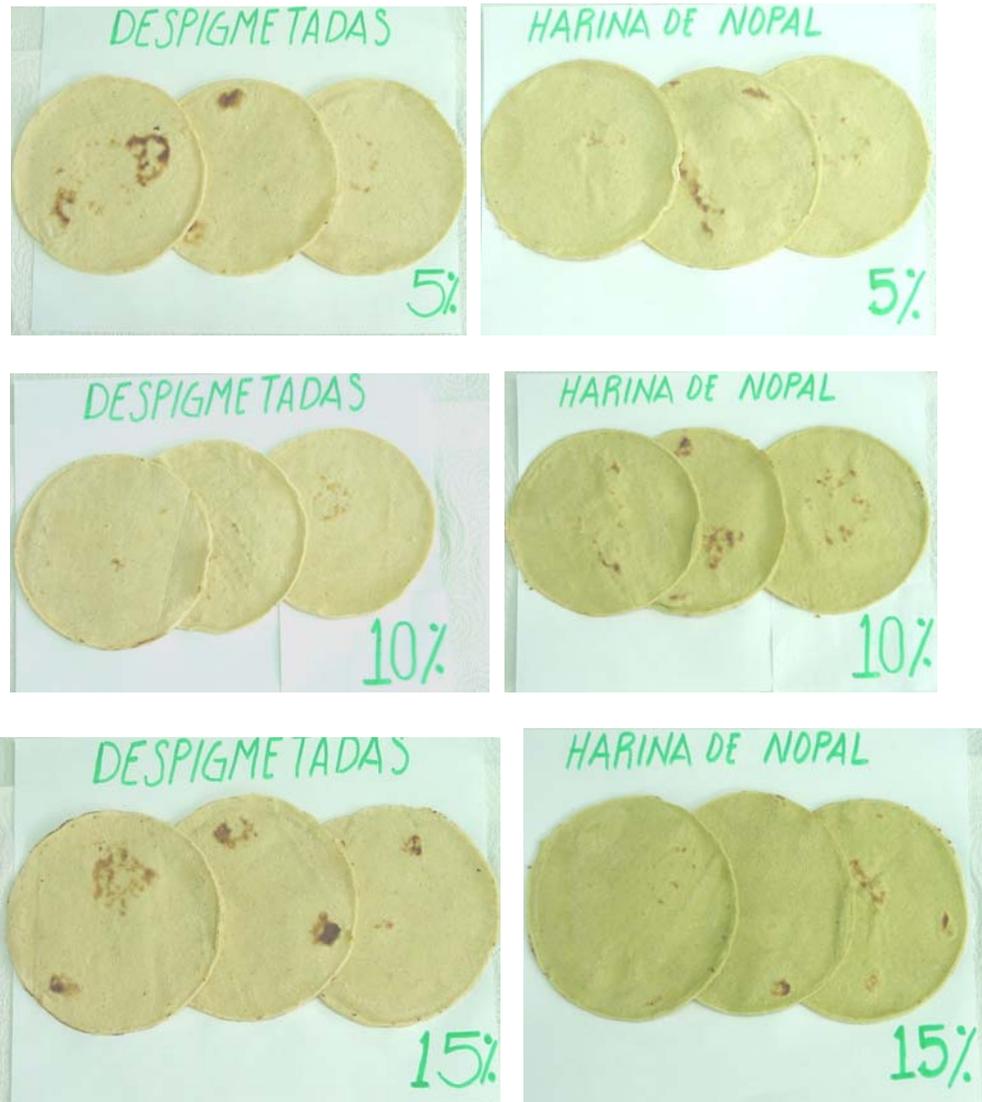


Figura 11. Tortillas adicionadas con harina de nopal.



CAPITULO 7

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en este estudio se concluye que las mejores características de la prueba de extracción de clorofila de la harina de nopal se obtuvieron empleando alcohol etílico en una relación de 1:10(m/v) durante un tiempo de 7 – 8 horas.

Los resultados obtenidos en el análisis bromatológico indicaron que la adición de la harina de nopal incrementa el valor de minerales y fibra cruda, mientras los componentes grasa y proteína no muestran un incremento con respecto al control.

Los resultados obtenidos en el análisis instrumental de tensión y punción muestran que la adición de HLC Y HCC mejora las características de textura de la tortilla, por ofrecer menor resistencia al corte. La evaluación sensorial de dureza mostró esta misma tendencia, aunque en este caso las diferencias percibidas por los jueces no son significativas ($p < 0.05$). En cuanto a color, sabor típico a tortilla de maíz y preferencia, los jueces prefirieron las tortillas con HLC.

Con la realización a este estudio se concluye que la harina de nopal libre de clorofila y con clorofila ayuda a mejorar las características de calidad en cuanto a color, textura e incremento de minerales y de fibra dietética de las tortillas de maíz.



CAPITULO 8

RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar este estudio en el proceso de extracción de clorofila, debido a que la granulometría de la harina afecta la extracción y sobre los componentes que se están eliminando.

Se sugiere evaluar la vida de anaquel del producto, ampliar el estudio sobre la evaluación sensorial con más jueces, además de añadir el análisis para textura de tensión y punción.

Realizar estudios sobre el uso de la clorofila de nopal. Usar cladodios de mayor madurez para su rendimiento en cuanto a fibra cruda.

Se recomienda no agregar cantidades mayores de harina de nopal, debido a que puede cambiar las características originales de la tortilla, como consecuencia del desagrado para los consumidores.



CAPITULO 9

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- 1.-**A.O.A.C. (1980) METODOS OFICIALES DE ANALISIS.** Association of Oficial Agricultural Chemists. Washington , D.C.U.S.A

- 2.-**Azaldua-Morales, A. 1995** La Evaluación Sensorial de los alimentos en la teoría y la practica. Editorial acribia, S.A. Zaragoza, España. EN PRENSA

- 3.- **Amerine, M.A.; R.M. Panhborn and E.B. Roessler. 1965.** Principles of Sensory Evaluation of Foods. Academic Press. New York.

- 4.- **Bressani, R. 1990.** Chemistry, Technology, and nutritive value of maize tortillas. Food Reviews Int. 6 (2):225-264.

- 5.- **Bendolla, S., De Palacios, M.G., Rooney, L.W., Dichl, K.C., and Khan, M.N. 1983.** Cooking characteristics of sorghum and corn for tortilla preparation by several cooking methods. Ceral Chem. 60(4): 263-268.

- 6.- **Barbera, C.O.;W.E. Carine and P, Inglese.1992.** Past and present role of the indian-fig prickly pear (*Opuntias ficus -indica* L. Miller, Cactaceae) in the agriculture of Sicily. Econ. Bot. 46 :10-20.

- 7.- **Borrego, E.F. ; M. Murillo, V. Flores, V. Parga and E. Guzman. 1990.** Industrial potential of fifteen varieties of nopal (Prickly pear, *Opuntia ssp*). In : H. Naqui, A. Estilai and I.P. Ting (eds), New industrial crops and products. Riverside, CA.

- 8.- **Billeb de Sinalbi, A.C. y Bressani, R. 2001.** Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. Archivo Latinoamericanos de nutrición. 51 (1) : 86-94.

- 9.- Bourne, C. Malcom. 1982.** Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. Academic Press, Inc. London.
- 10.-Carrillo-Pérez, E., Serna-Saldivar, S. And Rouzaud-Sandez, O. 1989.** Effect of storage conditions and packaging materials on the Physicochemical, microbiological, and sensory properties of corn dry masa flour .J.Food Processing and Preservation 13 (2):335-353.
- 11.-Chan, H.W.S. 1987.** The Mechanism of autoxidation. In: Autoxidation of Unsaturated Lipids. De. H.W.S. Chan. Academic Press. Pp 1-17.
- 12.- Delgado Ortegon Ma. Luisa ; U. Hernandez Yasmin Haydee. 1986.** Manual de practicas de bioquimica, Primera Edicion; Colegio de posgraduados, Chapingo, Mexico.
- 13.- Delahaye, P.E., Vázquez, H. Herrera, I. y Garrido, R. 1998.** Enriquecimiento de snack de maíz y queso con fibra dietética y caroteno de harina de zanahoria elaborados por extrusión. *Temas en Tecnología de Alimentos; Instituto Politécnico*, Vol. 2 Fibra Dietética, Ed. (CYTED), F. M. Lajolo y E. Wenzel de M. México, D.F.
- 14.-Drake, B.K. 1961.** An attempt at a geometrical clasification of rheological apparatus. Unpublished manuscript. Goteborg, Sweden.
- 15.-Dominguez – Lopez, A.1995.** Review: use of the fruits and stems of the prickly pear cactus (*Opuntia ssp*) in human food. *Food Science and Technology international* 1 :65-74.
- 16.- Douglas C. Montgomery, 1991;** Diseño y aanalysis de experimetos ; grupo editorial Iberamericana.

17.-Duque, R.L., Gallardo, N.Y., Santoyo, M.A., Sánchez, P. Ma. E. 1998. Efecto fisiológico de seis tipos de fibras dietéticas sobre el volumen fecal en ratas wistar. *Temas en Tecnología de Alimentos; Instituto Politécnico*, vol. 2 Fibra Dietética, Ed. (CYTED), F. M. Lajolo y E. Wenzel de M. México, D.F.

18.-Gamez Gaytan, L , C., Contreras Esquivel, J. , C., Reyes Vega, M. L. , Aguilera González, C. N.(2002). “Caracterización de la fibra dietética y Mucílago de Nopal (*Opuntia ficus-indica*) extraído enzimáticamente, para el desarrollo de una bebida de maracuya. Tesis de licenciatura. Departamento de investigación de alimentos. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila, México.

19.- García- Cañedo J.L., Reyes- Moreno C. Milan-Carrillo J. Cuen-Ojeda H.M., Gutiérrez-Dorado R. Ramírez-Wong B. Mora-Escobedo R. 2002. Tortillas elaboradas con harinas instantánea de maíz de calidad proteica (MCP). Opción para mejorar la Alimentación del Mexicano. IV Congreso del Noroeste en Ciencia Alimenticias y Biotecnológicas . Libro de Información y Resumen.

20.-García, M.N., 1994. Procesos no convencionales de elaboración de harinas instantáneas para tortillas. Tesis profesional. Dpto de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma de Chapingo.

21.- González Ramos, P., L ., Aguilera González, C. N. , Garza Toledo, H., Ruelas Chacon, X., Reyes Vega, M. L. (2001). "Mejoramiento de los Atributos de textura de la tortilla de maíz mediante la adición de harina de nopal (*Opuntia ficus-indica*) .Tesis de licenciatura. Departamento de investigación de alimentos. Facultad de ciencias químicas. Universidad Autónoma de Coahuila, México.

22.-Gomez, M.H. ; Rooney, L.W. ; Wanisk, R.D. and Pflugfelder, P.L. 1987. Dry corn masa flows for tortilla and snack food. *Cereal Foods World* 32 :.372-377.

- 23.- Gomez, M.H. ; Waniska, R.D. and Rooney, L.W.1990.** Effects of nixtamalization and grinding conditions on starch in masa. *Starch* 42 :475.
- 24.- Gomez, M.H.,Rooney, L.W., Waniska, R.D. and Pflugfelder, R.L.1987.** Dry corn masa flours for tortilla and snack food. *Cereal Foods World* 32:372-377).
- 25.- Gomez, M. H., Lee, J.K., McDonough, C.M., Waniska, R. D. and Rooney, L.W. 1992.** Corn Starch Changes During tortilla and tortilla chip processing. *Cereal Chem.* 69 (39 : 275 -279.
- 26.- Hegwood, D.A. 1990.** Human health discoveries with *Opuntia* sp (prickly pear). *Hort. Sciences* 25 : 1515-1516.
- 27.- Hernández-Ayala, E. ; Nieto-Villalobos, Z. y Duran de Bazua. 1996.** Determinación del efecto de la nixtamalización y la Extrusión Alcalina sobre el valor Nutricional en tortillas de maíz y sorgo. Parte 11: Contenido de triptofano y niacina Facultad de química, UNAM. Mayo/Junio 1996.
- 28.-Hernández X; E. (1972).** Consumo De Maíz y el aprovechamiento de tipos con alto valor nutritivo. In: simposio sobre el desarrollo y utilización de maíces de alto valor nutritivo. Colegio de posgraduados, Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo.
- 29.-Hernandez, M.; Chavez, a. ; Bourges, H. 1980.** *Valor nutritivo de los alimentos Mexicanos.* Tablas de Uso practico. Instituto Nacional de la Nutrición. Publicaciones de la División Nutrición -L-12, 8a. Edición.
- 30.-Hoseney, C.R.1986.** *Principles of Cereal Science and Technology.* American Association of Cereal Chemist. Inc. St. Paul, Minn

- 31.-INEGI. 1996.** Abasto y comercialización de productos básicos de maíz . CONASUPO, México.
- 32.-Karawaya , M.S, ; Wassel, G.M ; Baghdad, H. ; Ammar, N.m. 1980.** Mucilages and Pectins of *Opuntia* , *Tamarindus* and *Cydonia*. *Plants Med.*, (Suppl.) 68-75.
- 33.-Kent, N.L. 1983.** Technology of cereals. 3 rd. edTercera Edicion. Pergamon Press. Great Britain. P. 27.
- 34.-Khan, M.N., Desrosiers, M.C., Rooney, L.W., Morgan, R.C., and Sweat, V.E., 1982.** " Corn tortillas: evaluations of cooking procedures " . *Cereal CHEM.* 59(9) : 274 : 284.
- 35.-Labuza, T.1971.** Kinetics of lipid oxidation in foods. *Critical Review of Food Technol.* 1 (2):355-405.
- 36.- LARRAURI, J. A., (1999).** New approaches in the preparation of high dietary fibre powder from fruit by-products. *Trends Food Science and Technology* 10:3-8.
- 37.- Larmond, E. (1977).** “ Laboratory methods for sensory evaluation of foods”. *Dpt. Agr. Publ.* 1637.
- 38.- Lakshminaraya, S. 1980.** Sapodilla and prickly pear. In: S. Nagy and P.E. Shaw (eds.), *Tropical and subtropical fruits. Composition, properties and uses.* AVI, Westport, C.T.
- 39.-LEE, Y.- C. ; Shin, K.-A. ; Jeong, S.- W. ; Moon, Y.- I. Kim, S.-D. and Han, Y.- N. (1999).** Quality characteristic of wet noodle added with powder of *Opuntia Ficus-indica* . *Korean J. food sci. Technol.* ; 31 :1604-1612.

- 40.- Lionakis, S.M. 1994.** Presents status and future the plants : fig. First Meeting of the CIHEAM Cooperative Research Network on Underutilized Fruit Trees. Zaragoza, Spain.
- 41.- Lizarraga-Camacho J. N., Santiago-Opineda T., Anaya-Sosa I. ; Gutiérrez -López G.F.** Estudios hidrodinámicos y cinéticas de secado de lecho fluidizado. Memorias V Congreso Internacional sobre cocimiento y aprovechamiento del nopal, Monterrey , N. L. México, 15-19 septiembre 1997, pp204-205.
- 42.- L. Kathleen Mahan, MS, RD, CDE ; Sylvia Escott_ Stump, MA, RD; 1999;** Nutricion y dietoterapia de Krause. Interamericana.
- 43.- McGravie, D. and Parolis, H. 1981.** Methylation analysis of the mucilage of *Opuntia ficus-indica*. Carbohydr. Res 88 :305.
- 44. Olivares Saenz, Emilio. (1994).** Paquete de diseños experimentales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Versión 20.5.
- 45.- O'Mahony, Michael, 1986.** Sensory Evaluation of Foods. Statistical Methods and Productores Marcel Dekker, New York.
- 46.-Ordaz-Ortiz, J.J. 1994.** Tesis Profesional Universidad Autonoma Chapingo, Departamento de Ingenieria Agroindustrial . Chapingo, Mexico.
- 47.- Pflugfelder, L.R. Rooney, L.W. and Waniska, D.R. 1986.** Dry matter losses in commercial corn masa production. Cereal Chem. 65 (2) : 127-132.
- 48.-Pokorny, J.1987.** Major factors affecting the autoxidation of lipids. In: Autoxidation of Unsaturated Lipids. De. H.W-S. Chan. Academy Press. Pp141-207.

49.-Paredes-López, O. and Saharopulos-Paredes, M.E. 1983. Maize: A review of tortillas production technology. Bakers Digest 13 : 16-25.

50.-Ramirez-Wong, B., Sweat, V.E., Tores, P.I. and Rooney, L.W. 1993. Development of two instrumental methods for corn masa texture evaluation. Cereal Chem. 70(3): 286-290.

51.-Rombeau J et al : Dietary fiber : An Analysis of the role of fiber in proper nutrition . Evansville, IN. Meat Johnson Nutritional Group, 1990.

52.- Reyes- Vega M. de la L. 1998. Efecto del empaclado con películas plásticas sobre la calidad microbiológica, Bioquímica y sensorial de la tortilla de maíz. Tesis de Doctorado en ciencias. Departamento de biotecnología y Bioingeniería. Centro de investigación y estudios Avanzados del instituto Politécnico Nacional, M.F.

53.- Saenz, C. ; Pak, N. ; Sepulveda, E. ; Lecaros, M. 1997. Caracterización de harina de cladodio de nopal (*opuntia ficus-indica*). Presentado en el 111 Nacional, 11 Internacional congreso sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal Monterrey. N.L. 15-19 de septiembre de 1997.

54.-Saenz, C.; Arriagada, S.; Fizmman, S.; Calvo, C. (1996). Influence of pH and contents of carrageenan during the storage of cactus pear gels . Acta Horticulturae 4 :45-51.

55.-Saenz , C. ; Sepulveda, E.; Park, N. ; Vallegos, X. (1999). Formulación de un flan con la adición de fibra dietética de nopal. Memorias VI Congreso internacional sobre conocimiento y aprovechamiento de nopal, San Luis Potosí., SLP, México. Pp 121-122

56.- Saenz, C. ; Sepulveda, E. Moreno, M. ; Granger, D. Y Pak, N. 1995. Características funcionales de harina de nopal y su utilización en la formulación de galletas. In: Actas de 4º Congreso Internacional Conocimiento y aprovechamiento del Nopal. Guadalajara, México.24-27.

57.-Salvador Bandui Delgal; 1996; Química De Los Alimentos. De. Alambra Mexicana.

58.- Serna- Saldívar, S. O., M. H. Gomez, and L.W. Rooney, 1990. De. Pomeranz, Y. Advances in cereal Science and Technology. Chapter 4 : Technology, Chemistry, and Nutritional Value of Alkaline- Cooked Corn products. American Association of Cereal Chemists. Minn., U.S.A.

59.- Stephen A.M. 1982. Other plant polysaccharides. In : The Polysaccharides Vol. 2 G.O. Aspinall (De), Academic Press.

60.-Vidal-Quintanar, R .L .Love, J. And Johnson, L. A. 2000. Role of oil on physical properties of corn masa flours and sensory characteristics of corn tortillas. J. of Food Processing and Preservation. 35: (8):983-988.

61.-Vidal-Quintanar, Reyna L., Love Mark y Johnson., 2000. Estabilidad de harina de maíz Nixtamalizada mediante parámetros sensoriales. Revista dela división de ciencias biológicas y de la salud Universidad de Sonora, Volumen 2 , num.

62.- Vásquez-Lara F., Ramírez- Wong , B ; Cinco-Moroyoqui, F.J. y Mercado-Ruiz ; J.N. 2002. Efecto del tiempo de cocimiento alcalino sobre la textura de la masa y la tortilla de maíz. Biociencia . Revista de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad de Sonora. Vol. 2. Num. 3.

ANEXO I

Resultados estadístico del análisis de bromatológico de la tortilla adicionada con HLC Y HCC. Por el Método de Duncan

Medias del análisis bromatológico de la tortilla

Formulación	Y = % C	Y = % P.c	Y = G	Y = %F.C
Control	1.59	1.61	2.17	1.06
HLC 5%	2.53	1.6	2.1	1.67
HLC 10%	3.28	1.53	1.4	1.89
HLC 15%	4.15	1.54	2.13	2.54
HCC 5 %	2.54	1.6	1.82	1.72
HCC 10%	3.32	1.6	1.94	2.21
HCC 15%	4.13	1.57	2.32	2.75

Análisis de varianza

F.V	S.C.	Gl	MC	Fo
Trata	10.3165	6	1.7194	280.109
Error	0.0429	7	0.006138	
Total	10.3594	13		

ANALISIS DE CENIZA

Medias de las Formulaciones

y1=1.59	y2=2.53	y3=2.54	y4=3.28	y5=3.32	y6=4.13	y7=4.15
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Rangos Significativos

R= $r_{0.05}(p, gl)S_{yi}$	
R2=3.35*0.055	0.18
R3=3.47*0.055	0.19
R4=3.54*0.055	0.19
R5=3.58*0.055	0.20
R6=3.60*0.055	0.20
R7=3.61*0.055	0.20

Comparación de medias individuales

y7-y1	2.56	>0.20
y7-y2	1.62	>0.20
y7-y3	1.61	>0.20
y7-y4	0.87	>0.19
y7-y5	0.83	>0.19
y7-y6	0.02	<0.18
y6-y1	2.54	>0.20
y6-y2	1.6	>0.20
y6-y3	1.59	>0.19
y6-y4	0.85	>0.19
y6-y5	0.81	>0.18
y5-y1	1.73	>0.20

y5-y2	0.79	>0.19
y5-y3	0.78	>0.19
y5-y4	0.04	<0.18
y4-y1	1.69	>0.19
y4-y2	0.75	>0.19
y4-y3	0.74	>0.18
y3-y1	0.95	>0.19
y3-y2	0.01	<0.18
y2-y1	0.94	>0.18

ANÁLISIS DE PROTEÍNAS Análisis de Varianza

F.V	S.C.	gl	M.C.	Fo
Trata	0.0115	6	0.0019	10.0042
Error	0.00134	7	0.000192	
Total	0.0128	13		

Medias de las Formulaciones

y1=1.53	y2=1.54	y3=1.57	y4=1.60	y5=1.60	y6=1.60	y7=1.61
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Rangos Significativos De Duncan	Tabla	Syi	Resultado
R2	3.35	0.0097	0.03
R3	3.47	0.0097	0.03
R4	3.54	0.0097	0.034
R5	3.58	0.0097	0.03
R6	3.6	0.0097	0.03
R7	3.61	0.0097	0.03

Comparación de medias individuales

y7-y1	0.08	>0.03
y7-y2	0.07	>0.03
y7-y3	0.04	>0.03
y7-y4	0.01	<0.03
y7-y5	0.01	<0.03
y7-y6	0.01	<0.03
y6-y1	0.07	>0.03
y6-y2	0.06	>0.03
y6-y3	0.03	=0.03
y6-y4	0	<0.03
y6-y5	0	<0.03

y5-y1	0.07	>0.03
y5-y2	0.06	>0.03
y5-y3	0.03	=0.03
y5-y4	0	<0.03
y4-y1	0.07	>0.03
y4-y2	0.06	>0.03
y4-y3	0.03	<0.03
y3-y1	0.04	>0.03
y3-y2	0.03	<0.03
y2-y1	0.01	<0.03

ANÁLISIS DE GRASA
Análisis de Varianza

F.V	S.C.	gl	MC	Fo
Trata	1.1114	6	0.1852	1428.2206
Error	0.0009	7	0.00013	
Total	1.1123	13		

Medias de las Formulaciones

y1=1.40	y2=1.82	y3=1.94	y4=2.09	y5=2.13	y6=2.17	y7=2.32
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Rangos Significativos Tabla De Duncan		Syi	Resultado
R2	3.35	0.008	0.027
R3	3.47	0.008	0.028
R4	3.54	0.008	0.028
R5	3.58	0.008	0.029
R6	3.6	0.008	0.029
R7	3.61	0.008	0.029

Comparación de medias individuales

y7-y1	0.92	>0.029
y7-y2	0.5	>0.029
y7-y3	0.38	>0.029
y7-y4	0.23	>0.028
y7-y5	0.19	>0.028
y7-y6	0.15	>0.027
y6-y1	0.77	>0.029
y6-y2	0.35	>0.028
y6-y3	0.23	>0.028
y6-y4	0.08	>0.027
y6-y5	0.04	>0.026

y5-y1	0.73	>0.028
y5-y2	0.31	>0.028
y5-y3	0.19	>0.027
y5-y4	0.04	>0.026
y4-y1	0.69	>0.028
y4-y2	0.27	>0.027
y4-y3	0.15	>0.026
y3-y1	0.54	>0.027
y3-y2	0.12	>0.026
y2-y1	0.42	>0.026

ANÁLISIS DE FIBRA CRUDA

Análisis de varianza

F.V	S.C.	gl	MC	Fo
Trata	3.9576	6	0.6596	20.9686
Error	0.2201	7	0.0314	
Total	4.1777	13		

Medias de las Formulaciones

y1=1.06	y2=1.67	y3=1.72	y4=1.89	y5=2.21	y6=2.54	y7=2.75
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Rangos Significativos Tabla de Duncan		Sy _i	Resultado
R2	3.35	0.125	0.41
R3	3.47	0.125	0.43
R4	3.54	0.125	0.44
R5	3.58	0.125	0.44
R6	3.6	0.125	0.45
R7	3.61	0.125	0.45

Cmparación de medias individuales

y7-y1	1.69	>0.45
y7-y2	1.08	>0.45
y7-y3	1.03	>0.44
y7-y4	0.86	>0.44
y7-y5	0.54	>0.43
y7-y6	0.21	<0.41
y6-y1	1.48	>0.45
y6-y2	0.87	>0.44
y6-y3	0.82	>0.44
y6-y4	0.65	>0.43
y6-y5	0.33	<0.41
y5-y1	1.15	>0.44

y5-y2	0.54	>0.44
y5-y3	0.49	>0.43
y5-y4	0.32	<0.41
y4-y1	0.83	>0.44
y4-y2	0.22	<0.43
y4-y3	0.17	<0.41
y3-y1	0.66	>0.43
y3-y2	0.05	<0.41
y2-y1	0.61	>0.41

Diseño estadístico completamente al azar de la prueba de tensión por el método de Duncan

Tratam.	Resistencia a tensión observada en Fuerza (N)														Tot	Prom	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			15
Control	1.76	2.32	3.89	2.39	2.34	2.47	1.8	1.95	1.91	1.53	2.48	1.55	2.5	1.21	1.98	32.09	2.14
HLC 5%	1.31	1.63	2.07	1.31	1.47	1.48	1.87	1.31	1.38	2.01	1.73	1.55	1.6	1.85	1.97	24.53	1.64
HLC 10%	2.05	2.79	3.66	1.91	1.11	1.61	1.92	1.45	1.87	2.56	1.73	2.08	2.8	2.77	3.1	33.44	2.23
HLC 15%	1.53	1.41	1.33	1.6	1.24	1.31	1.92	1.27	1.41	1.91	1.3	1.28	1.8	1.27	1.59	22.15	1.48
HCC 5%	1.45	1.77	2.06	2.45	2.08	1.91	1.94	1.72	1.89	1.81	2.35	2.13	1.8	1.64	1.85	28.86	1.92
HCC 10%	2.28	1.92	1.48	1.73	1.75	1.29	1.33	1.72	1.7	1.7	0.86	1.63	1.2	1.15	2.03	23.79	1.59
HCC 15%	1.34	1.36	1.47	1.18	1.49	1.14	1.51	1.69	1.39	1.47	1.38	1.46	1.6	1.22	1.63	21.37	1.42
																186	1.77

Análisis de Varianza

F.V	S.C.	gl	MC	Fo
Trata	9.42	6	1.57	8.92
Error	17.26	98	0.17	
Total	26.69	104		

Coeficiente de variación C.V.=**23.74**

Error Estándar para media Syi=**0.1048**

Medias de las formulaciones

y1=1.42	y2=1.47	y3=1.58	y4=1.63	y5=1.92	y6=2.13	y7=2.22
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Rangos Significativos.

R=r0.05(p, gl)Sy y i	
R2=(2.80)(0.1048)	0.29
R3=(2.95)(0.1048)	0.31
R4=(3.05)(0.1048)	0.32
R5=(3.12)(0.1048)	0.33
R6=(3.18)(0.1048)	0.33
R7=(3.22)(0.1048)	0.34

Comparación de medias individuales

y7-y1	0.8	>0.34
y7-y2	0.75	>0.33
y7-y3	0.64	>0.33
y7-y4	0.59	<0.32
y7-y5	0.3	<0.31
y7-y6	0.09	>0.29
y6-y1	0.71	>0.33
y6-y2	0.66	>0.33
y6-y3	0.55	<0.32
y6-y4	0.5	>0.31
y6-y5	0.21	<0.29
y5-y1	0.5	>0.33
y5-y2	0.45	>0.32
y5-y3	0.34	>0.31
y5-y4	0.29	0.29
y4-y1	0.21	<0.32
y4-y2	0.16	<0.31
y4-y3	0.05	<0.29
y3-y1	0.16	<0.31
y3-y2	0.11	<0.29
y2-y1	0.33	>0.29

Diseño estadístico completamente al azar de la prueba de punción por el método de Duncan

Tratam.	Resistencia a punción observada en Fuerza (N)															Yi	yij
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Control	4.71	4.66	6.85	4.97	6.84	4.73	4.14	4.65	3	4.24	4.07	3.18	4.6	3.86	3.66	68.2	4.55
HLC 5%	3.19	2.55	3	2.91	2.84	3.77	2.88	3.37	2.82	4.39	3.06	3.34	4.2	3.76	3.9	50	3.33
HLC 10%	1.36	3.03	3.24	1.98	2.95	3.03	2.71	3.12	2.65	3.18	3.21	3.23	2.8	2.93	2.9	42.31	2.82
HLC 15%	3.15	1.83	2.37	2.77	2.87	2.99	2.54	3.29	3.47	2.65	3.77	2.78	2.7	2.12	2.86	42.11	2.81
HCC 5%	3.3	3.48	3.52	5.38	7.47	6.36	5.53	3.61	4.28	3.98	3.49	2.84	3.6	4.05	5.08	65.98	4.40
HCC 10%	2.65	4.07	2.91	2.2	2.31	2.59	2.74	3.13	2.51	2.26	3.58	1.69	3.4	2.68	2.75	41.48	2.77
HCC 15%	2.41	2.61	2.17	2.46	1.46	2.02	2.71	2.3	2.14	2.57	2.7	2.51	2.3	2.45	1.98	34.8	2.32
																345	3.28

Análisis de Varianza

F.V	S.C.	gl	MC	Fo
Trata	67.19	6	11.19	18.75
Error	58.5	98	0.59	
Total	125.69	104		

Coefficiente Variación =23.52

Error estándar Syi=0.1974

Medias de tratamientos

y1=2.32	y2=2.77	y3=2.81	y4=2.82	y5=3.33	y6=4.40	y7=4.45
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Rangos Significativos

R=r0.05(p, gl)Syi	Result.
R2=(2.80)(0.1974)	0.55
R3=(2.95)(0.1974)	0.58
R4=(3.05)(0.1974)	0.60
R5=(3.12)(0.1974)	0.62
R6=(3.18)(0.1974)	0.63
R7=(3.22)(0.1974)	0.64

Comparación de medias individuales

y7-y1	2.13	>0.64
y7-y2	1.68	>0.63
y7-y3	1.64	>0.62
y7-y4	1.63	>0.6
y7-y5	1.12	>0.58
y7-y6	0.05	<0.55
y6-y1	2.08	>0.63
y6-y2	1.63	>0.62
y6-y3	1.59	>0.60
y6-y4	1.58	>0.58
y6-y5	1.07	>0.55
y5-y1	1.01	>0.62
y5-y2	0.56	<0.60
y5-y3	0.52	<0.58
y5-y4	0.51	<0.55
y4-y1	0.5	<0.60
y4-y2	0.05	<0.58
y4-y3	0.01	<0.55
y3-y1	0.49	<0.58
y3-y2	0.04	<0.55
y2-y1	0.45	<0.55

¡GRACIAS POR SU COOPERACION!

Resultados de la prueba sensorial de ordenamiento por rangos de la dureza de la tortilla.

Prueba de ordenamiento para la evaluación de dureza de las tortillas de maíz adicionadas con HLC Y HCC y CC en diferentes concentraciones.

#aleatorio	FORMULACIONES						
	077	081	736	422	090	768	923
Jueces	Control	5%HLC	10%HLC	15%HLC	5%HCC	10%HCC	15%HCC
1	7	5	4	6	3	2	1
2	7	1	6	2	5	4	3
3	6	4	3	7	5	1	2
4	6	5	2	7	4	1	3
5	3	2	4	1	6	5	7
6	3	7	4	5	6	2	1
7	4	5	2	6	7	1	3
8	3	4	2	5	6	7	1
9	2	3	6	7	1	5	4
10	3	6	5	2	7	4	1
11	5	4	3	1	2	7	6
12	1	5	3	4	2	6	7
13	3	4	5	7	6	2	1
14	2	5	1	3	4	6	7
15	7	3	2	1	4	6	5
16	5	4	6	3	7	2	1
17	2	5	3	1	4	6	7
18	5	6	3	4	7	1	2
19	3	1	5	7	2	4	6
20	6	3	1	7	5	2	4
21	7	2	3	1	4	5	6
22	1	2	7	3	4	6	5
23	3	5	1	2	6	4	7
24	7	2	4	1	3	6	5
25	7	6	3	4	5	1	2
26	7	4	3	6	5	2	1
27	6	4	3	7	5	2	1
28	7	1	4	5	6	3	2
29	6	5	4	2	7	3	1
30	1	5	6	2	4	3	7
31	7	1	2	5	6	3	4
32	2	5	6	1	4	7	3
33	4	1	3	6	2	7	5
34	7	1	3	6	2	5	4
35	7	5	3	4	6	2	1

36	6	4	3	7	5	2	1
Suma de rangos.	168	135	128	148	167	135	127

Valores de diferencias absolutas entre suma de rangos de la tortilla tratada con diferentes concentraciones de harina

Par de muestras	Valores de sumas	Diferencia Absoluta
077-081	168-135	33
077-736	168-128	40
077-422	168-148	20
077-090	168-167	1
077-768	168-135	33
077-923	168-127	41
081-736	135-128	7
081-422	135-148	13
081-090	135-167	32
081-768	135-135	0
081-923	135-127	8
736-422	128-148	20
736-090	128-167	39
736-768	128-135	7
736-923	128-127	1
422-090	148-167	19
422-768	148-135	13
422-923	148-127	21
090-768	167-135	32
090-923	167-127	40
768-923	135-127	8

Resultados de diferencias significativas entre medias de intensidad de dureza

Formulación	Suma de rangos
Control	168 ^a
HLC 5%	135 ^a
HLC 10%	128 ^a
HLC 15%	148 ^a
HCC 5%	167 ^a
HCC 10%	135 ^a
HCC 15%	127 ^a

^aHLC= Harina libre de clorofila; ^aHCC = Harina con clorofila

Prueba de ordenamiento para la evaluación de sabor típico a tortilla de maíz

	FORMULACIONES						
# Aleatorio	077	081	736	422	090	768	923
Jueces	Control	5 %HLC	10 %HLC	15 % HLC	5 % HCC	10 % HCC	15 % HCC
1	1	3	5	2	4	6	7
2	6	4	7	3	5	2	1
3	2	3	5	1	4	7	6
4	2	4	5	1	3	7	6
5	2	3	1	5	4	6	7
6	3	1	2	4	7	5	6
7	1	2	3	5	4	6	7
8	1	3	4	2	6	7	5
9	1	5	4	2	3	6	7
10	3	5	2	1	4	6	7
11	1	2	3	5	4	6	7
12	2	1	6	3	4	6	7
13	7	5	1	4	3	6	2
14	4	1	2	3	5	6	7
15	1	3	4	2	5	6	7
16	2	3	4	1	5	6	7
17	5	3	7	6	4	2	1
18	4	1	6	3	2	5	7
19	2	3	5	1	4	6	7
20	3	1	5	2	4	6	7
21	1	3	4	7	6	2	5
22	6	5	4	3	7	2	1
23	1	5	4	6	3	2	7
24	2	4	6	1	3	5	7
25	1	2	5	4	3	6	7
26	1	2	3	4	5	6	7
27	3	4	7	1	5	6	2
28	1	4	5	3	2	6	7
29	4	6	7	2	5	3	1
30	7	4	3	6	5	1	2
31	3	4	5	1	2	6	7

32	1	5	7	2	3	6	4
33	1	3	4	2	5	6	7
34	2	1	5	3	4	6	7
35	4	3	7	6	5	1	2
36	2	4	5	3	1	6	7
Suma de rangos	93	115	162	110	148	183	198

Valores de diferencias absolutas entre suma de rangos de la tortilla tratada con diferentes concentraciones de harina

Par de muestras	Valor de sumas	Diferencia
077-081	93-115	22
077-736	93-162	69*
077-422	93-110	17
077-090	93-148	55*
077-768	93-183	90*
077-923	93-198	105*
081-736	115-162	47
081-422	115-110	5
081-090	115-148	33
081-768	115-183	68*
081-923	115-198	83*
736-422	162-110	52
736-090	162-148	14
736-768	162-183	21
736-923	162-198	36
422-090	110-148	38
422-768	110-183	73*
422-923	110-198	88*
090-768	148-183	35
090-923	148-198	50
768-923	183-198	15

* indica diferencia significativa (P<0.05) entre muestras

Resultado de diferencia significativa entre medias del sabor típico a tortilla de maíz

Tratamientos	Suma de rangos
control	93 ^c
HLC 5%	115 ^{bc}
HLC 10%	162 ^{ab}
HLC 15%	110 ^{bc}

HCC 5%	148 ^{ab}
HCC 10%	183 ^a
HCC 15%	198 ^a

Los superíndices con letras diferentes indican diferencia significativa (P<0.05)

Prueba de ordenamiento para la evaluación de Preferencia de las tortillas de maíz adicionadas con harina de nopal libre de clorofila y con clorofila

FORMULACIONES

# aleatorio	77	81	736	422	90	768	923
jueces	Control	5 %HLC	10 %HLC	15 %HLC	5%HCC	10%HCC	15%HCC
1	1	2	5	4	3	7	6
2	5	6	7	4	2	1	3
3	2	1	5	4	3	7	6
4	1	4	5	2	3	6	7
5	3	6	5	7	4	2	1
6	2	1	3	5	4	6	7
7	2	1	4	3	5	6	7
8	1	3	5	2	4	6	7
9	1	4	2	6	3	5	7
10	2	1	5	6	3	4	7
11	1	2	4	7	3	5	6
12	3	1	5	4	2	6	7
13	1	3	4	7	5	6	2
14	3	1	2	4	5	6	7
15	2	1	4	5	3	7	6
16	2	1	4	3	5	6	7
17	2	3	4	1	5	6	7
18	2	1	5	3	4	6	7
19	2	3	5	1	4	6	7
20	2	1	5	3	4	6	7
21	1	4	5	7	6	3	2
22	3	2	5	4	1	6	7

23	4	2	1	5	3	6	7
24	1	5	4	2	3	6	7
25	1	3	4	2	5	6	7
26	4	2	1	3	5	6	7
27	3	5	4	1	2	7	6
28	1	3	5	2	4	6	7
29	3	2	4	6	1	5	7
30	1	7	4	2	6	3	5
31	1	7	4	2	3	5	6
32	2	3	5	1	4	6	7
33	1	3	4	2	5	6	7
34	1	2	5	3	4	6	7
35	4	2	1	7	3	5	6
36	2	4	5	3	1	6	7
Suma de rangos	73	102	145	133	130	198	223

Valores de diferencias absolutas entre suma de rangos de la tortilla tratada con diferentes concentraciones de harinas

Par de muestras	Valor de sumas	Diferencia
077-081	077-081	29
077-736	077-736	72*
077-422	077-422	60*
077-090	077-090	57*
077-768	077-768	125*
077-923	077-923	150*
081-736	081-736	43
081-422	081-422	31
081-090	081-090	28
081-768	081-768	96*
081-923	081-923	121*
736-422	736-422	12
736-090	736-090	15
736-768	736-768	53
736-923	736-923	78*
422-090	422-090	3
422-768	422-768	65*
422-923	422-923	90*
090-768	090-768	68*
090-923	090-923	93*
768-923	768-923	25

*indica diferencia significativa (P<0.05) entre muestras

Resultado diferencias significativas entre medias para la prueba de preferencia

Tratamientos	Suma de rangos
control	73 ^d
HLC 5%	102 ^{cd}

HLC 10%	145 ^{bc}
HLC 15%	133 ^c
HCC 5%	130 ^c
HCC 10%	198 ^{ab}
HCC 15%	223 ^a

Los superíndices con letras diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$)